ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ»

На правах рукописи

МАРКОВА Нина Борисовна

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ

05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность

(транспорт)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Санкт - Петербург, 2016

Оглавление

Введение……..4

Глава 1 Состояние вопроса, обоснование цели и задач исследования……..8

1.1 Анализ применения пожарных автомобилей порошкового тушения…..9

1.2 Анализ методов и параметров оценки качества пожарных автомобилей порошкового тушения и их достаточности……18

1.3 Обоснование цели и постановка задач исследования……..23

Глава 2 Теоретическое обоснование комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения……24

2.1 Экономический аспект оценки эффективности техники ……24

2.2 Методический аспект оценки эффективности техники……...27

2.3 Обоснование метода оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения……28

2.4 Формирование комплексных показателей технической эффективности установок порошкового тушения…..47

2.5 Обоснование направления совершенствования пожарных автомобилей порошкового тушения……60

Выводы по главе……65

Глава 3 Оценка приспособленности пожарных автомобилей порошкового тушения к обучению личного состава……66

3.1 Сравнительная оценка технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения……66

3.2 Приспособленность пожарных автомобилей порошкового тушения для обучения и тренировок личного состава ……70

Выводы по главе……82

Глава 4 Оценка технической эффективности применения установок порошкового тушения при тушении пожаров на объектах транспорта……..83

4.1 Методический прием для оценки технической эффективности установок порошкового тушения……83

4.2 Тушение пожаров на газовых и нефтяных месторождениях ……87

4.3 Тушение пожаров на нефтебазах магистральных трубопроводов ……93
4.4 Тушение пожаров на объектах железнодорожного транспорта ……..102
Выводы по главе……..107
Заключение……..108
Список сокращений и условных обозначений……110
Литература……111
Приложение А. Методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения……119
Приложение Б. Акты о внедрении результатов исследования……...125

Введение

Диссертационное исследование обусловлено необходимостью выполнения Указа Президента РФ «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» от 31 декабря 2015 № 683 [1] и Постановления Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года № 1662-р «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» [2] в части разработки и реализации мер по повышению безопасности населения и защищенности критически важных объектов в условиях чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Количество чрезвычайных ситуаций, вызываемых пожарами на опасных производственных объектах России, достигает порядка 153 тысяч в год [3], из которых природные и техногенные пожары на транспорте составляют около 11 % [4]. Они, как правило, ведут к тяжёлым социальным и экономическим последствиям.

Для тушения пожаров на опасных промышленных объектах транспорта (магистральные трубопроводы, нефтепродуктопроводы на территории городов и населенных пунктов, железнодорожный транспорт и аэропорты России), помимо стационарных систем пожаротушения, привлекают пожарные автомобили порошкового тушения (АП) и пожарные автомобили комбинированного тушения (АКТ). Далее по тексту АП и порошковые системы АКТ обозначены как АП (для удобства изложения).

В настоящее время для защиты опасных объектов в подразделениях МЧС России количество АП составляет порядка 50 % от заявленной в них потребности. Фактический средний срок службы основной массы АП превышает 20 лет. Согласно статистическим данным по пожарам и их последствиям [5], за 5 лет (2010-2014 г.г.) они использовались около 150 раз.

Развитием и совершенствованием современных образцов пожарной и аварийно-спасательной техники занимаются учёные Академии ГПС МЧС России и ВНИИПО МЧС России, специалисты ОАО «Пожтехника», ООО «НПО «Современные пожарные технологии» и ряда других отечественных предприятий.

Обстоятельные теоретические и экспериментальные исследования по эффективности автомобилей порошкового тушения и огнетушащих порошков ранее проведены под руководством Курбатского О.М. и Исавнина Н.В., Абдурагимова И.М., Донского А.П., Захарова М.П., Щербакова М.Ф., Баратова А.Н., Безбородько М.Д. и других ученых. Вместе с тем, в их работах не рассмотрены методы комплексной оценки технических параметров АП.

В Америке порошковое пожаротушение очень актуально. Разрабатываются новые модели пожарных автомобилей, оснащённых установками порошкового тушения, что свидетельствует о наличии интереса к этому виду транспорта [6-8].

Наиболее близка к теме нашего исследования методика комплексной оценки технических параметров качества пожарных автоцистерн (АЦ) [9]. В ней, на основе метода анализа размерностей, сформированы комплексные безразмерные показатели, характеризующие эффективность насоса и шасси, как основных составных частей АЦ, и изделия в целом [9]. Однако методика не может быть полностью перенесена на АП, поскольку они имеют специфические особенности, вытекающие из свойств порошков и вытесняющих газов. Требуется более подробный анализ этой специфики с последующей разработкой методики комплексной оценки эффективности АП.

Таким образом, научная актуальность диссертации предопределена необходимостью установления закономерных связей между параметрами, характеризующими эффективность АП в целом и отдельно установок пожаротушения, которые могут быть положены в основу методики оценки их эффективности.

Известный термин «эффективность», трактуемый как «… достижение каких-либо определенных результатов с минимально возможными издержками или получение максимально возможного объема продукции из данного количества ресурсов» [10] в данной ситуации мало пригоден. Это вызвано экономической ситуацией в России, когда повсюду применяют принципы договорных цен, коммерческой тайны и другие способы ухода от указания подлинных затрат. Объективно зная потенциальные возможности каждого изделия, покупатель сам

определит экономическую целесообразность приобретения той или иной конкурирующей продукции. Поэтому принято отражать только техническую эффективность АП, т.е. потенциальные возможности изделия, без отнесения их к издержкам производства и эксплуатации.

Практическая актуальность исследования обоснована результатами анализа особенностей конструкции и использования АП, показавшими необходимость расширения конструкционных возможностей их установок порошкового тушения. В этой связи, в 2014 году в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России (с участием автора) разработана модель установки порошкового тушения АП, которая обеспечивает выполнение новых функций [11]:

диагностирование технического состояния оборудования, работающего на расчетных режимах применения по назначению;

контроль гранулометрического состава порошка, хранимого в сосудах установки;

эргономичность обучения и тренировок личного состава по совершенствованию практических навыков применения оборудования по назначению.

Таким образом, отсутствие теоретических закономерностей взаимосвязи параметров АП, недостаточная техническая оснащенность ими пожарных подразделений МЧС России, несовершенство конструкции АП и специфика их применения по назначению, обусловили выбор направления настоящего исследования, объекта и предмета исследования.

Цель исследования – совершенствование методики оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения.

Научная задача исследования – теоретическое обоснование закономерностей, применяемых для комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения.

Объект исследования – показатели назначения пожарных автомобилей порошкового тушения и методы их комплексной оценки.

Предмет исследования – методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения.

Методы исследования: аналогии, анализа размерностей, экспертной оценки и математической обработки результатов эксперимента.

Научная новизна результатов заключена:

- в теоретическом обосновании структуры комплексных показателей и расчетных зависимостей, оценивающих эффективность АП (в целом) и их установок порошкового тушения (УПТ);

- в теоретическом и экспериментальном обосновании модели установки порошкового тушения АП, отвечающей требованиям технического диагностирования оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава;

- в методике комплексной оценки эффективности АП на основе обобщённых безразмерных показателей.

Практическая значимость результатов состоит в повышении уровня пожарной безопасности пожароопасных объектов транспорта (за счёт определения области эффективного применения АП) и совершенствовании конструкции АП (модель установки порошкового тушения АП обеспечивает техническое диагностирование оборудования, контроль гранулометрического состава порошка и эргономичность освоения техники личным составом).

Достоверность научных результатов обеспечена:

формированием теоретических зависимостей с использованием известных базовых научных методов аналогии и анализа размерностей;

использованием современных методик сбора и обработки информации;

применением метрологических оценок результатов, определяющих эффективность АП.

На защиту вынесены следующие результаты:

структура комплексных показателей эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения;

структура комплексных показателей эффективности установок порошкового тушения;

модель установки порошкового тушения пожарного автомобиля порошкового тушения;

методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на 5-ти научных конференциях и семинарах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, из них 4 - в изданиях по перечню ВАК и 2 патента на полезные модели.

Реализация работы. Результаты диссертационного исследования учтены и использованы при проведении анализа работы пожарных автомобилей порошкового тушения в гарнизоне пожарной охраны г. Санкт-Петербурга. Применение этой методики позволило повысить объективность оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения при их эксплуатации. Кроме того, основные положения работы используются в учебном процессе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России при проведении занятий по дисциплине «Пожарная техника».

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, перечня использованных источников из 81 наименования и двух приложений. Общий объем работы 118 страниц, в т.ч. 26 рисунков, 30 таблиц.

Глава 1 Состояние вопроса, обоснование цели и задач исследования

Методика оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения (АП и порошкового модуля АКТ) должна учитывать особенности их применения по целевому назначению, отдельные и обобщенные характеристики установок порошкового тушения (УПТ).

В этой связи, далее последовательно изложены результаты изучения состояния вопроса в части:

эффективности применения пожарных автомобилей порошкового тушения;

применения методов и параметров оценки качества пожарных автомобилей порошкового тушения и их достаточности.

1.1 Анализ применения пожарных автомобилей порошкового тушения

В последние годы ведутся работы по созданию пожарно-технических автомобилей, перевозящих пожарные модули различной номенклатуры: порошковые, газового тушения, насосные станции, насосно-рукавные.

Известны работы И.М. Абдурагимова [12], А.Н. Баратова и Л.П. Вогмана [13], М.Д. Безбородько [14], А.И. Дворникова [9], А.П. Донского, М.П. Захарова, М.Ф. Щербакова [15] и Н.В. Исавнина [16], посвященные эффективности пожарных автомобилей и средств порошкового пожаротушения. Приспособленность пожарных автомобилей (ПА) основного назначения к работе пожарных дана у Ю.П. Самохвалова [17], в которой говорится о требованиях к размерам конструктивных элементов пожарных автомобилей основного назначения, обеспечивающих приспособленность ПА к работе на них пожарных различного роста.

В работах [14, 15] подробно рассмотрены устройства пожарных автомобилей и их технические характеристики. Установки порошкового тушения (УПТ) предназначены для тушения пожаров в системах охлаждения атомных электростанций (нагретых до высоких температур натрия и лития) и расплавленных алюминия, титана, магния и их сплавов (в конструкции летательных аппаратов), т.е. для веществ и материалов, горение которых было невозможно потушить с использованием известных ранее огнетушащих веществ. Затем область их применения распространена на тушение нефти, газа и иных жидких углеводородов.

В таблице 1.1 приведены сведения о наличии АП в Северо-Западном Федеральном округе. В таблице 1.2 отражена техническая оснащенность и качественный состав АП по всем региональным центрам МЧС России.

Таблица 1.1 - Сведения о наличии АП в Северо-Западном Федеральном округе

№ п/п	Марка пожарного автомобиля порошкового тушения	Местонахождение	Год выпуска	Коли-чество, ед.
1	АП-1000-40 (5301 БО) ЗИЛ	Главное управление МЧС России по г. Санкт- Петербургу (4 ОФПС, 16 ПЧ)	2003	1
2	АП-1000-40 (5301 БО) ЗИЛ	Главное управление МЧС России по Ленинградской области (19 ОФПС, г. Сосновый Бор)	2005	1
3	АП-5000-40 КАМАЗ (53215)	Главное управление МЧС России по г. Санкт- Петербургу (7 ОФПС, 3 ПЧ)	2003	1
4	АП-5 КАМАЗ 53213	Главное управление МЧС России по Республике Коми	1984, 1989, 1989	3
5	АП-5 КАМАЗ 53213	Главное управление МЧС России по Архангельской области	1987	1
6	АП-5 КАМАЗ 53213	Главное управление МЧС России по Калининградской области	1987	1
7	АП-5 КАМАЗ 53213	Главное управление МЧС России по Псковской области	1985, 1989	2
Итого	-	-	-	10

Таблица 1.2 – Техническая оснащенность и качественный состав АП в МЧС России

№ п/п	Региональные центры МЧС России	Количество АП (ед.) по срокам эксплуатации (лет)								
		Всего	на шасси КАМАЗ	на шасси УРАЛ	Другие шасси	в том числе по годам				
						до 5	6-10	11-15	16-20	свыше 20
1	Центральный	9	9	-	-	-	-	1	2	6
2	Северо-Западный, из них:	10	8	-	2	-	3	-	-	7
	Санкт - Петербург и Ленобласть	3	1	-	2	-	3	-	-	-
3	Южный	10	4	-	6	1	1	5	-	3
4	Северо-Кавказский	3	2	-	1	-	-	1	-	2
5	Приволжский	19	18	-	1	-	1	-	-	18
6	Уральский	23	19	2	2	2	9	3	-	9
7	Сибирский	7	6	-	1	1	-	-	2	4
8	Дальневосточный	4	4	-	-	-	-	-	1	3
9	Пожарные части ФПС ГУ МЧС России по г. Москве	3	2	-	1	-	2	-	-	1
10	Подразделения специальной пожарной охраны	21	12	1	8	1	3	12	1	4
Ито-го:		109	84	3	22	5	19	22	6	57

Из приведенных данных следует, что фактический средний срок службы основной массы АП превышает 20 лет, а их количество в гарнизонах – в 100 раз меньше, чем АЦ [18].

Как видно из таблицы 1.1, в подразделениях ФПС г. Санкт- Петербурга в боевом расчёте находятся 2 автомобиля АП. Из чего следует, что специалистам ФПС МЧС России (в том числе слушателям, курсантам и студентам университета

ГПС МЧС России) невозможно в полной мере изучить их применение в практической работе. Поэтому при отсутствии АП в подразделениях ФПС, их изучают на примере АЦ методом аналогии, возможность применения которого следует из таблицы 1.3, где представлены их основные сходственные и отличительные признаки (показатели).

Таблица 1.3 – Элементы конструкции и показатели пожарных автомобилей [19]

№ п/п	Элементы конструкции и показатели	Пожарные автоцистерны (АЦ)	Пожарные автомобили порошкового тушения (АП)
1	Огнетушащее вещество (ОТВ)	вода, пенообразователь	порошок
2	Ёмкость (резервуар)	цистерна, бак	цистерна, баллон
3	Агрегат для подачи ОТВ	насос центробежный	компрессор
4	Стволы	лафетные, ручные	лафетные, ручные
5	Полная масса	+	+
6	Распределение нагрузки на дорогу	+	+
7	Удельная мощность	+	+
8	Вместимость цистерны для воды	+	-
9	Вместимость пенобака	+	-
10	Масса вывозимого порошка	-	+
11	Подача насоса при номинальном числе оборотов	+	-
12	Напор насоса при номинальном числе оборотов	+	-
13	Расход стационарного водяного лафетного стола	+	-
14	Расход порошкового лафетного ствола	-	+
15	Дальность струи при подаче водяным лафетным стволом	+	-
16	Дальность струи при подаче порошковым лафетным стволом	-	+

№ п/п	Элементы конструкции и показатели	Пожарные автоцистерны (АЦ)	Пожарные автомобили порошкового тушения (АП)
17	Продолжительность заполнения насоса при наибольшей геометрической высоте всасывания	+	-
18	Расход ручного порошкового ствола	-	+
19	Дальность струи при подаче ручным порошковым стволом	-	+
20	Количество ручных порошковых стволов	-	+
21	Рабочее давление в емкости с порошком	-	+

Из таблицы 1.3 следует, что основное различие этих автомобилей состоит в применяемом огнетушащем веществе (ОТВ): в АЦ используют воду и пенообразователь, в АП – порошок.

Опыт показывает, что специалистам ФПС МЧС России недостаточно теоретического изучения устройства методом аналогии. Необходимо более детальное изучение основных пожарных автомобилей целевого применения в интересах привития навыков практической работы на этом виде техники.

Для слушателей, курсантов и студентов вузов МЧС России при прохождении учебной практики необходима отработка навыков непосредственно на АП, с отражением результатов в журналах проведения практик [20, 21].

Также к основным пожарным автомобилям целевого применения относятся автомобили комбинированного тушения (АКТ), где наряду с водой и пенообразователем, имеется порошок [14]. Порошковые системы этих автомобилей характеризуются следующими данными: количество сосудов для огнетушащего порошка - от 1 до 3-х единиц; масса вывозимого огнетушащего порошка - от 700 до 6300 кг; рабочее давление в сосудах с огнетушащим порошком – от 0,40 до 1,5 МПа. Заполнение цистерн огнетушащим порошком проводят вручную или с помощью вакуумной системы. Контроль состояния порошков в АП и АКТ осуществляют путем отбора проб из сосудов для хранения

порошка и последующим проведением их анализа в специализированных лабораториях.

Запас порошка может храниться непосредственно в емкости автомобиля или вблизи его, в заводской упаковке завода-изготовителя порошка [22]. Первый способ хранения наиболее перспективный, поскольку в случае необходимости применения АП по назначению исключается операция загрузки порошка из заводской упаковки в его емкость. Эффективность применения АП обусловлена свойствами применяемых огнетушащих порошков, одним из которых является неблагожелательная склонность к слеживанию и образованию комков при хранении под воздействием влаги и температуры окружающей среды.

Для борьбы с этим явлением в конструкции АП и АКТ применяют специальные устройства, которые переводят порошок в псевдоожиженное состояние, что обеспечивает текучесть и возможность транспортировать их по трубопроводам [14].

Известны три типа псевдоожижения порошка [14]: непрерывной подачей сжатого газа в сосуд через пористый элемент (первого типа), непрерывной подачей сжатого газа в сосуд через форсунки (второго типа) и с совместным хранением порошка и сжатого газа в сосуде (третьего типа).

Порошковая установка с непрерывной подачей сжатого газа в сосуд через пористый элемент состоит из: баллонов со сжатым газом, вентилей, редуктора, коллектора, обратного клапана, сосуда для порошка, пористого элемента, сифонного трубопровода, шарового крана, шарнира лафетного ствола, обратного клапана и крышки сосуда.

Порошковая установка с непрерывной подачей сжатого газа в сосуд через форсунки отличается от установки первого типа только тем, что в её составе есть форсунки, предохранительный клапан и система продувки.

Порошковая установка с совместным хранением сжатого газа и порошка в сосуде (её называют установкой закачного типа) отличается от первых двух тем, что имеет малогабаритный компрессор, фильтр, датчик давления и блок автоматики.

В установке первого типа псевдоожижение происходит при увеличении давления в сосуде. В процессе выдачи порошка подача газа в сосуд возобновляется и происходит непрерывно. В качестве аэрирующих устройств используются пористые перегородки или форсунки. Истечение порошкового аэрозоля из лафетных и ручных стволов происходит под постоянным давлением в сосуде.

В установке второго типа порошок и сжатый газ содержатся в одном сосуде под высоким давлением. При работе порошковой установки истечение порошка происходит под переменным давлением.

В процессе работы порошковой установки третьего типа истечение газопорошковой смеси осуществляется под переменным давлением [14].

Установки второго типа по режиму введения газа в сосуд аналогичны первому типу и отличаются только устройствами псевдоожижения порошка, представляющими собой форсунки. Форсуночный способ подачи газа в сосуд получил наиболее широкое распространение при создании АП как в нашей стране, так и за рубежом.

Достоинство установок третьего типа сводится к тому, что до конца работы установки давление обеспечивает аэрозольную струю со значительной огнетушащей способностью.

Сведения о применении установок псевдоожижения порошков на АП и АКТ представлены в таблице 1.4 [14, 23].

Таблица 1.4 – Порошковые установки основных пожарных автомобилей целевого применения

Пожарные автомобили	Установки псевдоожижения порошков		
	первого типа	второго типа	третьего типа
АП-3 (130)-148А	+		
АП-5 (23213)-196	+		
АП –5000-40 (53213) мод. ПМ-567		+	

Пожарные автомобили	Установки псевдоожижения порошков		
	первого типа	второго типа	третьего типа
АП-0,7(66)-122		+	
АП-5000 (53215) мод. ПМ-567			+
АП-4 (43105), мод. 222			+
АП-5 (53213), мод. 196			+
АП 5000-60 (53215)			+
АП 5000 (53215)			+
АКТ-1,0/1000-40/40		+	
АКТ-6/1000-80/20		+	
АКТ-6,0/1000-60/20		+	

Установки первого типа применялись в конструкциях устаревших образцов: АП-3 (130) – 148 А и АП-5 (53213) – 196.

Установка второго типа использована в более поздних конструкциях: АП-5000-40 (53213) мод. ПМ-567 и др. Наиболее современными являются установки второго и третьего типов, примененные в АП-5000 (53215), АП-4 (43105), АКТ-1,0/1000-40/40 и др.

Кроме того, рассмотренные системы псевдоожижения пожарных автомобилей не обеспечивают контроль гранулометрического состава порошка непосредственно в сосудах, что следует из рассмотрения, например, технологической схемы АП-5000-40 (53213) ПМ-567 [24] (рис.1.1).

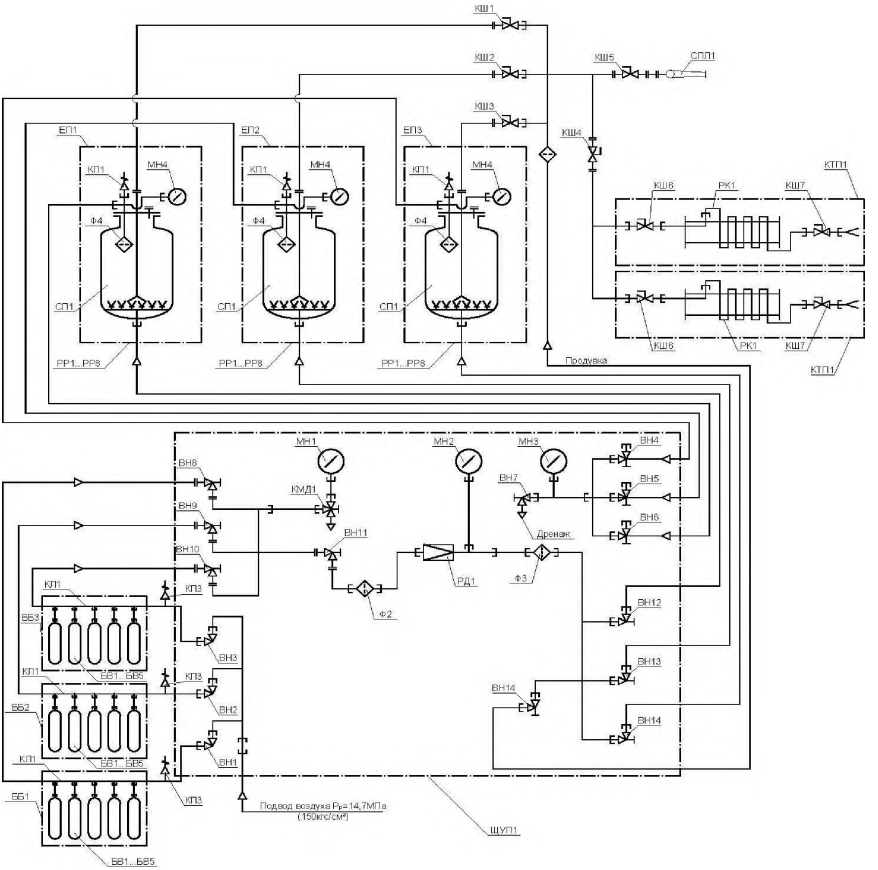


Рисунок 1.1 – Схема технологическая АП [24]:

КШ1…КШ7 – краны шаровые; РК1, РК2 – рукава; Ф1…Ф4 – фильтры; ЕП1…ЕП3 – емкости для порошка; КП1…КП3 – клапаны предохранительные; РР1…РР8 – распылители (форсунки); МН1…МН4 – манометры; КТП1, КТП 2 – катушки для порошка; СЛП1 – ствол лафетный порошковый; ББ1…ББ3 – блок баллонов ПМ-567; БВ1…БВ5 – баллоны для воздуха; КЛ1 – коллектор; ЩУП1 – щит управления пневматический; ВН1…ВН15 – вентили; КМД1 – кран манометровый с дренажем; РД1 – редуктор

С этой целью могут быть применены известные устройства измерения перепада давления и расхода аэрозоля в конструкции пожарных автомобилей целевого применения.

Одновременно эти изменения обеспечат диагностирование технического состояния оборудования, контроль гранулометрического состава порошка, эргономичность обучения и тренировок личного состава по совершенствованию практических навыков применения оборудования по назначению.

Совершенствование конструкции АП в указанном направлении является одной из технических задач, которые следует решить в рамках диссертационной работы.

1.2 Анализ методов и параметров оценки качества пожарных автомобилей порошкового тушения и их достаточности

Анализ проведен с целью выяснения перечня параметров, входящих в нормативные документы на АП, согласно которым дают оценку их качества комиссии при приемочных и иных видах испытаний.

Проблема комплексной оценки технической эффективности пожарных автомобилей стоит давно. Так, в работе [9] представлены комплексные показатели для оценки эффективности пожарных автоцистерн. Поскольку АЦ и АП имеют аналогичное конструктивное исполнение, это должно быть учтено нами при решении поставленной задачи. Вместе с тем, АП имеют ряд отличительных особенностей, отраженных ранее (п.1.1).

В области разработки новых огнетушащих порошковых составов и внедрения их в практику пожаротушения сыграли большую роль исследования А.Н. Баратова, Л.П. Вогмана и др. [13]. По их утверждениям механизм огнетушащего действия порошков остается ещё во многом неясным, однако большинство исследователей считают, что в случае с наиболее эффективными порошками основную роль играет их способность ингибировать пламя. Огнетушащий эффект таких порошков значительно превышает эффект

охлаждения или разбавления двуокисью углерода, выделяющейся, например, при разложении порошков на основе бикарбонатов щелочных материалов.

Ими проведены исследования, сопровождавшиеся стандартизацией методов определения пожаро- и взрывоопасных показателей веществ и материалов, установлением методов оценки сравнительной эффективности огнетушащих веществ, механизма ингибирования горения. Они разработали общую теорию тушения пожаров, обеспечения пожаро- взрывобезопасности и соответствующего категорирования объектов различного назначения; заложили основу для создания принципиально новых огнетушащих веществ и способов тушения пожаров (например, аэрозольный способ, основанный на сжигании пропеллентов).

И.М. Абдурагимов [12] рассматривает основные механизмы огнетушащего действия наиболее распространенных видов огнетушащих средств, применяемых для ликвидации пожаров. Он утверждает, что для огнетушащих средств, действующих по механизму разбавления, более существенную роль в механизме тушения пламени играет не столько механизм разбавления молекул горючего и окислителя, сколько механизм охлаждения зоны горения. Его анализ термодинамических параметров аргона и диоксида углерода показал, что отношения теплоемкости к коэффициенту теплопроводности отличаются в 2,1 раза. Следовательно, огнетушащая эффективность CO_2 примерно вдвое выше огнетушащей эффективности аргона. Таким образом, для эффективного тушения пожаров, важно более глубокое понимание механизма огнетушащего действия того или иного огнетушащего средства.

Известны также научные исследования И.М. Абдурагимова в области тушения газовых и газонефтяных фонтанов, горючих жидкостей на больших площадях. Им разработаны аэрозольный и аэродинамический методы тушения пожаров [25,81].

Особенность жизненного цикла АП в том, что на этапе эксплуатации преобладают длительные периоды ожидания применения по назначению, которое, как показывает опыт, может вообще не состояться из-за высокой степени

пожарной безопасности защищаемых объектов. Но в этот период накапливаются отказы базового шасси и специального оборудования АП разной природы [26-28]:

- скрытые (не обнаруживаемые визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования);

- деградационные (обусловленные естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости даже при соблюдении всех установленных правил, норм проектирования, изготовления и эксплуатации);

- эксплуатационные (возникшие по причине, связанной с нарушением установленных правил и условий эксплуатации, особенно на этапе хранения).

Исходя из специфики боевого применения, АП практически весь жизненный цикл находится в режиме ожидания, поэтому надежность в условиях эксплуатации (по аналогии с военной техникой) должна, очевидно, характеризоваться [28, 29]:

- коэффициентом оперативной готовности *Ког*, отражающим вероятность работоспособного состояния в любой произвольный момент времени (кроме длительности ремонтов и технических обслуживаний), начиная с которого, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени;

- коэффициентом готовности *Кг* - вероятности работоспособного состояния в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, когда применение объекта по назначению не предусматривается.

Связь между коэффициентами *Ког* и *Кг* выражается зависимостями [29]:

$$K_{ог} = K_{г} \cdot P(t), \qquad (1.1)$$

$$K_{г} = \frac{T}{T + T_{В}}, \qquad (1.2)$$

где

P(t)- вероятность безотказной работы в течение заданного интервала времени;

Т - наработка на отказ, ч;

Тв - среднее время восстановления работоспособного состояния, ч.

Учитывая возможность возникновения субъективных отказов, вызванных людьми (эксплуатирующих, обслуживающих и/или ремонтирующих АП), в предыдущую зависимость, видимо, следует ввести величину вероятности безошибочных действий личного состава (экипажа, боевого расчета) в течение заданного интервала времени *Рл(t)*. Тогда получим:

$$Ког = Кг \cdot P(t) \cdot Рл(t) \qquad (1.3)$$

С позиций теории метрологии, все эти величины должны быть измерены с доверительной вероятностью не менее 0,95 [30, 31]. В этом случае минимальное значение *Ког* составит 0,86. Следовательно, его нельзя признать достаточным для утверждения, что АП будет способно потушить пожар. Если даже принять 100 % уверенность в правильных действиях личного состава (в чем существует большое сомнение), то и тогда получим *Ког* = 0,90.

Обращение к справочно-информационным источникам показало, что сведения о показателях надежности АП либо полностью отсутствуют, либо характеризуются перечнем, неполно отражающим специфику их применения по назначению [23, 32]:

- гамма - процентный (γ=80%) ресурс работы специальных агрегатов до первого капитального ремонта, равный 1400 ч или не менее 600 срабатываний;

- гамма - процентная (γ=80%) наработка специальных агрегатов до первого отказа, равная 130 ч или не менее 70 срабатываний;

- средний срок службы – не менее 10 лет.

Приведенный перечень показателей надежности ничего практически не значит в условиях отсутствия реальной наработки специальных агрегатов. Кроме того, уровень гамма - процентной наработки при γ=80% не является достоверным по метрологическим правилам [30, 31].

Следовательно, необходимо принимать скоординированные действия заказчиков и производителей по выполнению требований к эксплуатационной

надежности АП, как к средствам обеспечения пожарной безопасности критически важных объектов.

Как известно, особенностью конструкции АП является наличие сосудов для хранения огнетушащего порошка, баллонов с газом или компрессорной установки, лафетных и ручных стволов, работающих под высоким давлением и требующими строгого соблюдения установленных правил безопасности. Поэтому при эксплуатации АП большое значение имеет своевременное техническое обслуживание [33].

Основу технического обслуживания порошковых средств тушения составляют периодические проверки состояния оборудования и качества огнетушащего порошка, часть которых выполняют дежурные караулы и другие специалисты ФПС МЧС России [14]. Сосуды и оборудование, работающее под давлением, контролируют специалисты Ростехнадзора согласно Правилам [34]. Только в этом случае возможна их успешная работа на пожарах.

Из всех опубликованных работ наиболее близкой по сущности рассматриваемого вопроса является методика комплексной оценки технических параметров АЦ [9], основанная на общепризнанных закономерностях теории анализа размерностей и π-теоремы. В ней получены обобщенные комплексы, характеризующие шасси и насосное оборудование АЦ. Давность выполнения этой работы (2001г.) предопределила необходимость подробного анализа ее положений и возможность применения их по новому назначению – для комплексной оценки эффективности АП (наряду с использованием единичных показателей). Применение многочисленных и зачастую противоположно направленных единичных показателей вызывает практические неудобства, требуется их комплексирование. Кроме того, особенности конструкции и эксплуатации АП требуют их учета при разработке новой методики.

Таким образом, при формировании безразмерных комплексов далее целесообразно рассмотреть вопросы, определяющие эффективность пожарных автомобилей порошкового тушения, т.е. нужно учитывать характеристики не только шасси в целом, но и отдельно установки порошкового тушения.

1.3 Обоснование цели и постановка задач исследования

Таким образом, можно утверждать, что существующая практика оценки качества АП мало опирается на комплексные показатели. В результате чего трудно дать однозначную и объективную оценку изделия в целом. Отсутствие метода комплексной оценки технических параметров качества АП затрудняет решение выбора конкретных марок при одновременном практически одинаковом уровне единичных показателей качества (массе, дальности подачи и давлении в сосуде и т.д.).

Поэтому целью настоящего диссертационного исследования является совершенствование методики комплексной оценки эффективности АП, которая может быть создана на основе общенаучных методов исследования. Следовательно, научная задача исследования должна заключаться в теоретическом обосновании закономерностей, применяемых для комплексной оценки эффективности АП.

Частные задачи исследования должны включать:

обоснование перечня и структуры показателей эффективности изделия в целом и установки порошкового тушения, комплексно учитывающих нормированные единичные технические показатели;

совершенствование модели АП в части приспособленности конструкции АП к требованиям технического диагностирования оборудования, контроля гранулометрического состава порошка, эргономичности обучения личного состава.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ

Для оценки технической эффективности АП используют до 40 единичных показателей, что практически неудобно, и требуется их комплексирование.

В нашем случае использованы только основные показатели, влияющие на работоспособность АП. Не учтены такие показатели как: угол поворота порошкового лафетного ствола в горизонтальной плоскости, число мест для боевого расчета, угол опрокидывания, наименьший радиус поворота, вид потребляемого топлива, освещенность рабочего места оператора, уровень звука в кабине боевого расчёта при движении и многие другие, т.к. они априори соблюдены на этапе приемочных испытаний в соответствии с ГОСТ Р 53328-2009 «Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний».

В этой главе рассмотрена техническая эффективность АП на этапе ввода в эксплуатацию. Обоснован выбор метода ее оценки и представлены сформированные на основе метода анализа размерностей безразмерные комплексные показатели для изделия в целом (с учётом шасси) и установки порошкового тушения [35].

2.1 Экономический аспект оценки эффективности техники

Для оценки эффективности техники применяют теорию полезности, в которой полезность – это удовлетворение, получаемое потребителем от использования продукции (товаров и услуг).

Сразу обратим внимание на тот факт, что синонимами полезности являются «ценность» и «эффективность».

Сущность теории полезности сводится к тому, что рациональный потребитель продукции должен максимизировать ожидаемую полезность [36].

Различают общую (TV) и предельную полезность (MV):

общая полезность (TV) – это совокупная полезность от потребления всех наличных единиц блага, она растет с увеличением единиц потребления блага. Применительно к теме диссертации под ней следует понимать возрастание способности подразделений МЧС России к тушению пожаров по мере роста их технической оснащенности;

предельная полезность (MV) – это дополнительная полезность, которую извлекает потребитель из каждой дополнительной единицы блага. Она выступает как прирост общей полезности блага на одну единицу. На основе этого положения может быть установлена предельная потребность подразделений МЧС России в технике порошкового тушения.

Правило потребительского поведения состоит в том, чтобы предельная полезность, получаемая в расчете на рубль, была бы равной полезности, получаемой на рубль, потраченный на другую продукцию.

Изложенные положения отражают экономическую суть вопроса, а техническое совершенство блага – неполно, поскольку не видно за счет каких параметров техники получено превосходство того или иного образца.

На основе таких положений разработана Академией Наук СССР и действует пока в России «Методика определения экономической эффективности внедрения новой техники, механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности» [37].

В контексте рассматриваемого нами вопроса видно, что они не применимы для оценки полезности единичного образца пожарной техники. Для подтверждения этого довода приведем некоторые данные об экономической эффективности АП.

Применительно к пожарным автомобилям порошкового тушения годовую экономическую эффективность можно рассчитать по формуле [38]:

$$Э = \frac{P}{З} \quad , \qquad (2.1)$$

где

Р – полученный результат за год;

З – затраты за год.

В качестве примера приведем следующие фактические данные по одному из подразделений 7 ОФПС ГУ МЧС России по г. Санкт- Петербургу:

1. Балансовая стоимость пожарного автомобиля АП-5000 ПМ 567 при вводе в эксплуатацию составляла 2 394 000 руб. (на декабрь 2003 года), а остаточная по истечении 10 лет – 236 409 руб., т.е. 10% от стоимости автомобиля.

2. Стоимость шасси КАМАЗ в среднем составляет от 1978 тыс. руб. до 3 368 тыс. руб. [39].

3. Согласно [40, ст.ст. 225, 340] эксплуатационные затраты на один автомобиль составляют от 66,70 тыс. руб. до 79,80 тыс. руб. в год. Один километр пробега при эксплуатации грузового автомобиля (с учетом расходов на запасные части и ремонт автомобиля) обходится от 4,45 руб. до 5, 32 руб. (при годовом расходе ресурса 15000 км).

4. Эксплуатационные расходы на дизельное топливо (на 100 км пути) составляют 7 руб. 50 коп.

Таким образом, годовой расход (на один автомобиль) составит от 179 250 руб. до 192 300 руб. (с учетом топлива).

Редкое боевое применение пожарных автомобилей порошкового тушения (иногда и полное простаивание их в пожарных частях) говорит о том, что числитель формулы (2.1) имеет минимальное значение.

Таким образом, известный термин «эффективность» как «… достижение каких-либо определенных результатов с минимально возможными издержками или получение максимально возможного объема продукции из данного количества ресурсов» [10], не может быть объективным из-за нынешней экономической ситуации в России, когда применяют принципы договорных цен, коммерческой тайны и другие способы ухода от указания подлинных затрат.

Поэтому (ввиду нецелесообразности отражения экономической составляющей) далее будем рассматривать только техническую эффективность, т.е.

потенциальные возможности изделия, без отнесения их к издержкам производства и эксплуатации.

Зная объективные потенциальные возможности каждого изделия, покупатель сам определит экономическую целесообразность приобретения той или иной конкурирующей продукции.

2.2 Методический аспект оценки эффективности техники

Существуют большие трудности методического характера в оценке качества продукции (и ее эффективности), которое измеряют не одним, а десятками показателей.

В этих случаях обычно применяют методы аддитивной и мультипликативной сверток единичных показателей (микрорейтингов) в один или несколько обобщенных (групповых) показателей (комплексов).

Аддитивная свертка имеет следующий вид [41, 42]:

$$R = \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot R_i . \qquad (2.2)$$

Мультипликативная свертка - в виде [41, 42]:

$$R = \prod_{i=1}^{n} R_i^{q} . \qquad (2.3)$$

В формулах 2.2 и 2.3 принято: R – групповой (обобщенный) рейтинг, R_i - частные рейтинги, q_i - показатель степени i –того рейтинга.

Методу экспертных оценок присущи свойства субъективизма и дороговизны (в связи с необходимостью привлечения большого числа квалифицированных специалистов в узкой профессиональной области) для определения весовых коэффициентов значимости i –тых показателей.

Как один из способов нахождения весовых коэффициентов значимости, может быть использован метод анализа размерностей [35].

2.3 Обоснование метода оценки технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения

Существует множество научных методов исследования технической эффективности промышленной продукции. Так в работе [43] использован метод математического компьютерного моделирования; метод аналогий применен Мороз Н.А. [44]. Выбранные методы анализа размерностей и метод-диаграмма Парето являются физически объективными в работе [45]. Для оценки эффективности огнетушителей также применялись методы анализа размерностей и аналогии [46].

Выбор метода определяется с учетом целей, задач и условий оценки значений показателей эффективности. Результаты должны быть обоснованными и воспроизводимыми данным или другим приемлемым методом. Выбранный метод должен обеспечить оценку показателей эффективности с необходимой точностью и полнотой на всех этапах жизненного цикла АП. По аналогии с [9], в настоящей работе для формирования комплексных показателей применён метод анализа размерностей.

Поскольку АЦ и АП имеют аналогичное конструктивное исполнение, это учтено при решении поставленной задачи. Вместе с тем, АП имеют некоторые отличительные особенности (поз. 6-10 в таблице 2.1).

Таблица 2.1 – Основные технические показатели АП [14, 47]

п/п	Обозначения и наименования показателей	Размерность показателей
1	M – полная масса автомобиля	$[M]$ = кг
2	L – длина автомобиля	$[L]$ = м
3	N – мощность двигателя	$[N]$ = кВт=(м^2·кг)/с^3
4	T – пробег автомобиля	$[T]$ = м
5	D – удельный расход топлива	$[D]$ = кг/(кВт·ч)= с^2/м^2
6	$M_п$ – масса огнетушащего порошка	$[M_п]$ = кг

п/п	Обозначения и наименования показателей	Размерность показателей
7	Q_n – расход огнетушащего порошка	$[Q_n]$ = кг/с
8	l_n – дальность подачи огнетушащего порошка	$[l_n]$ = м
9	p_n – рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка	$[p_n]$ = Па=кг/(м·с^2)
10	Δm – остаток огнетушащего порошка	$[\Delta m]$ = кг

Таблица 2.1 охватывает не все известные показатели, а лишь основные из них – главным образом, показатели назначения, заметным образом влияющие на работоспособность и техническую эффективность АП при применении по прямому назначению.

В соответствии с π – теоремой [35], получены следующие уравнения:

$$\pi_1 = Q_n \cdot N^{x_1} \cdot T^{y_1} \cdot D^{z_1}; \quad (2.4)$$

$$\pi_2 = p_n \cdot N^{x_2} \cdot T^{y_2} \cdot D^{z_2}; \quad (2.5)$$

$$\pi_3 = \Delta m \cdot N^{x_3} \cdot T^{y_3} \cdot D^{z_3}; \quad (2.6)$$

$$\pi_4 = M \cdot N^{x_4} \cdot T^{y_4} \cdot D^{z_4}; \quad (2.7)$$

$$\pi_5 = L \cdot N^{x_5} \cdot T^{y_5} \cdot D^{z_5}; \quad (2.8)$$

$$\pi_6 = L_n \cdot N^{x_6} \cdot T^{y_6} \cdot D^{z_6}; \quad (2.9)$$

$$\pi_7 = M_n \cdot N^{x_7} \cdot T^{y_7} \cdot D^{z_7}. \quad (2.10)$$

В уравнениях (2.4-2.10) показатели степени показателей АП являются величинами, определяющими степень влияния того или иного параметра.

При подстановке единиц измерения переменных получим следующие уравнения:

$$[\pi_1] = кг \cdot с^{-1} \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_1} \cdot (м)^{y_1} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_1};$$

$$[\pi_1] = кг^{1+x_1} \cdot с^{-1-3x_1+2z_1} \cdot м^{2x_1+y_1-2z_1}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$1 + x_1 = 0;$$

$$-1 - 3x_1 + 2z_1 = 0;$$

$$2x_1 + y_1 - 2z_1 = 0;$$

$$x_1 = -1;\ \ y_1 = 0;\ \ z_1 = -1.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_1 = \frac{Q_n}{N \cdot D} \quad . \tag{2.11}$$

$$[\pi_2] = \left(м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}\right) \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_2} \cdot (м)^{y_2} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_2};$$

$$[\pi_2] = кг^{1+x_2} \cdot с^{-2-3x_2+2z_2} \cdot м^{-1+2x_2+y_2-2z_2}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$1 + x_2 = 0;$$

$$-2 - 3x_2 + 2z_2 = 0;$$

$$-1 + 2x_2 + y_2 - 2z_2 = 0;$$

$$x_2 = -1;\ \ y_2 = 2;\ \ z_2 = -\frac{1}{2}.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_2 = \frac{p_n}{N \cdot D^{1/2} \cdot T^{-2}} \quad . \tag{2.12}$$

$$[\pi_3] = кг \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_3} \cdot (м)^{y_3} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_3};$$

$$[\pi_3] = кг^{1+x_3} \cdot с^{-3x_3+2z_3} \cdot м^{2x_3+y_3-2z_3}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$1 + x_3 = 0;$$

$$-3x_3 + 2z_3 = 0;$$

$$2x_3 + y_3 - 2z_3 = 0;$$

$$x_3 = -1;\ \ y_3 = -1;\ \ z_3 = -\frac{3}{2}.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_3 = \frac{\Delta m}{N \cdot T \cdot D^{3/2}} \quad . \tag{2.13}$$

$$[\pi_4] = кг \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_4} \cdot (м)^{y_4} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_4};$$

$$[\pi_4] = кг^{1+x_4} \cdot с^{-3x_4+2z_4} \cdot м^{2x_4+y_4-2z_4}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$1 + x_4 = 0;$$

$$-3x_4 + 2z_4 = 0;$$

$$2x_4 + y_4 - 2z_4 = 0;$$

$$x_4 = -1;\ \ y_4 = -1;\ \ z_4 = -\frac{3}{2}.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_4 = \frac{M}{N \cdot T \cdot D^{3/2}} \quad . \tag{2.14}$$

$$[\pi_5] = м \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_5} \cdot (м)^{y_5} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_5};$$

$$[\pi_5] = кг^{x_5} \cdot с^{-3x_5+2z_5} \cdot м^{1+2x_5+y_5-2z_5}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$x_5 = 0;$$

$$-3x_5 - 2z_5 = 0;$$

$$1 + 2x_5 + y_5 - 2z_5 = 0;$$

$$x_5 = 0;\ \ y_5 = -1;\ \ z_5 = 0.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_5 = \frac{L}{T} \quad . \tag{2.15}$$

$$[\pi_6] = м \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_6} \cdot (м)^{y_6} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_6};$$

$$[\pi_6] = кг^{x_6} \cdot с^{-3x_6+2z_6} \cdot м^{1+2x_6+y_6-2z_6}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$x_6 = 0;$$

$$-3x_6 - 2z_6 = 0;$$

$$1 + 2x_6 + y_6 - 2z_6 = 0;$$

$$x_6 = 0;\ \ y_6 = -1;\ \ z_6 = 0.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_6 = \frac{L_n}{T} \quad . \tag{2.16}$$

$$[\pi_7] = кг \cdot \left(м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}\right)^{x_7} \cdot (м)^{y_7} \cdot \left(с^2 \cdot м^{-2}\right)^{z_7};$$

$$[\pi_7] = кг^{1+x_7} \cdot с^{-3x_7+2z_7} \cdot м^{2x_7+y_7-2z_7}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$1 + x_7 = 0;$$

$$-3x_7 + 2z_7 = 0;$$

$$2x_7 + y_7 - 2z_7 = 0;$$

$$x_7 = -1;\ \ y_7 = -1;\ \ z_7 = -\frac{3}{2}.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_7 = \frac{M_n}{N \cdot T \cdot D^{3/2}} \quad . \tag{2.17}$$

На основе первых семи безразмерных комплексов, руководствуясь их сущностью, получены вторичные комплексы:

$$\pi_8 = \frac{\pi_7}{\pi_4} = \frac{M_n \cdot N \cdot T \cdot D^{3/2}}{N \cdot T \cdot D^{3/2} \cdot M} = \frac{M_n}{M} \tag{2.18}$$

$$\pi_9 = \frac{\pi_6}{\pi_5} = \frac{L_n \cdot T}{T \cdot L} = \frac{L_n}{L} \tag{2.19}$$

$$\pi_{АП} = \frac{\pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_8 \cdot \pi_9}{\pi_3} = \frac{Q_n \cdot p_n \cdot T^3 \cdot M_n \cdot L_n}{N \cdot M \cdot L \cdot \Delta m} \tag{2.20}$$

Сущность безразмерных комплексов, сформированных на основе метода анализа размерностей [35] и характеризующих техническую эффективность АП, раскрыта в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2- Физическая сущность первичных безразмерных показателей АП (для изделия в целом)

№ п/п	Обобщенные показатели	Соотношения размерностей показателей	Техническая сущность показателей	Теоретическая тенденция изменения показателей
1	2	3	4	5
1	$\pi_1 = \frac{Q}{N \cdot D}$	$[\pi_1] = \frac{кг/с}{кг/с} = 1$	Удельный расход порошка	За счет роста показателей эффективность АП возрастает
2	$\pi_2 = \frac{p_п}{N \cdot D^{1/2} \cdot T^{-2}}$	$[\pi_2] = \frac{Па}{Па} = \frac{кг/(м \cdot с^2)}{кг/(м \cdot с^2)} = 1$	Удельное давление истечения порошка	
3	$\pi_3 = \frac{\Delta m}{N \cdot T \cdot D^{3/2}}$	$[\pi_3] = \frac{кг}{кг} = 1$	Удельный остаток порошка	За счет снижения показателей эффективность АП возрастает
4	$\pi_4 = \frac{M}{N \cdot T \cdot D^{3/2}}$	$[\pi_4] = \frac{кг}{кг} = 1$	Удельная масса АП	
5	$\pi_5 = \frac{L}{T}$	$[\pi_5] = \frac{м}{м} = 1$	Удельная длина АП	
6	$\pi_6 = \frac{L_п}{T}$	$[\pi_6] = \frac{м}{м} = 1$	Удельная дальность полета порошка	За счет роста показателей эффективность АП возрастает
7	$\pi_7 = \frac{M_п}{N \cdot T \cdot D^{3/2}}$	$[\pi_7] = \frac{кг}{кг} = 1$	Удельная масса порошка	

Таблица 2.3- Физическая сущность обобщенных безразмерных комплексов эффективности АП (для изделия в целом)

№ п/п	Обобщенные комплексы	Отношение размерностей обобщенных комплексов	Сущность комплексов и симплексов	Теоретическая тенденция изменения показателей
1	2	3	4	5
1	$\pi_8 = \frac{\pi_7}{\pi_4} = \frac{M_n}{M}$	$[\pi_8] = \frac{кг}{кг} = 1$	Эффективная масса порошка	За счет роста показателей эффективность АП возрастает
2	$\pi_9 = \frac{\pi_6}{\pi_5} = \frac{L_n}{L}$	$[\pi_9] = \frac{м}{м} = 1$	Эффективная дальность полета порошка	
3	$\pi_{АП} = \frac{\pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_8 \cdot \pi_9}{\pi_3} = \frac{Q_n \cdot p_n \cdot T^3 \cdot M_n \cdot L_n}{N \cdot M \cdot L \cdot \Delta m}$	$[\pi_{АП}] = \frac{Дж}{Дж} = 1$	Эффективная работа АП	

Из данных таблицы 2.3 следует, что лучшему из сравниваемых образцов должно соответствовать большее численное значение обобщенного комплекса (или симплекса), определяющее функциональное назначение и работоспособность АП.

Численные значения отдельных параметров АП отечественного производства представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Технические параметры АП согласно конструкторской документации [14, 15, 23]

Параметры	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000 -60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
1	2	3	4	5	6	7	8
Год выпуска	2005	2005	2000	2003	1999	1991	1978
Полная масса автомобиля (M), т	20,00	19,65	18,70	6,60	17,75	15,87	9,27
Длина (L), м	9,0	8,5	8,2	6,2	8,8	7,9	6,7
Мощность двигателя (N), КВт	176,0	176,0	191,0	108,8	154,0	154,0	110,0
Пробег (T), км	350000	350000	350000	400000	350000	400000	350000
Удельный расход топлива ($D \cdot 10^{-8}$), $с^2/м^2$	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,9	8,1
Масса огнетушащего порошка ($M_п$), т	5,0	5,0	5,0	1,0	6,3	4,0	3,1
Расход порошка через лафетный ствол ($Q_п$), кг/с	40	50	50	40	40	80	40
Дальность подачи порошка лафетным стволом ($L_п$), м	40	30	50	35	30	45	32

Параметры	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000 -60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
Рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка ($p_н$), МПа	1,00	1,00	1,00	0,80	0,43	0,80	0,40
Остаток огнетушащего порошка после применения АП (Δm), кг	500	500	500	100	600	400	300

Расчёт численных значений обобщённых комплексов (таблица 2.5) выполнен согласно алгоритму оценки технической эффективности АП, представленному на рисунке 2.1.

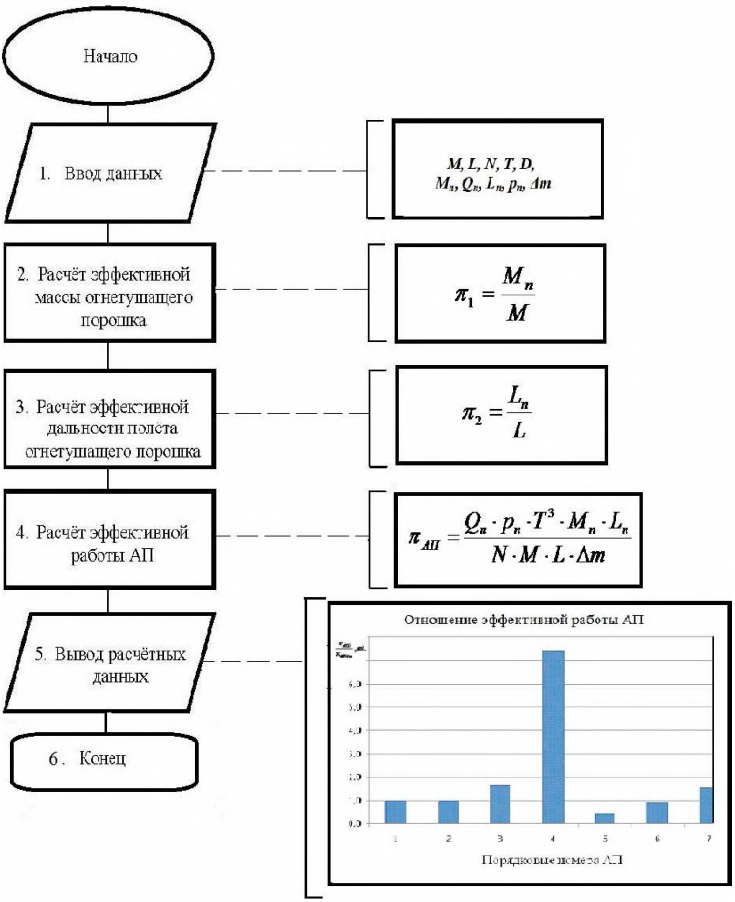


Рисунок 2.1– Блок – схема алгоритма оценки технической эффективности АП

Таблица 2.5 - Расчетные значения комплексных показателей АП

Безразмерные комплексные показатели (по табл. 2.2)	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000 -60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
1	2	3	4	5	6	7	8
π_1	4058	5073	4675	6565	4557	8805	4489
$\pi_2 \cdot 10^{-18}$	2941	2941	2710	4971	1433	1232	1565
$\pi_3 \cdot 10^{13}$	6,1	6,1	5,6	1,7	8,2	7,6	3,4
$\pi_4 \cdot 10^{11}$	2,5	2,4	2,1	1,1	2,4	2,9	1,0
$\pi_5 \cdot 10^{8}$	2,6	2,4	2,3	1,6	2,5	3,3	1,9
$\pi_6 \cdot 10^{8}$	11,4	8,6	14,3	8,8	8,6	18,8	9,1
$\pi_7 \cdot 10^{12}$	6,1	6,1	5,6	1,7	8,6	7,6	3,5
π_8	0,25	0,25	0,27	0,15	0,35	0,25	0,33
π_9	4,4	3,5	6,1	5,6	3,4	5,7	4,8
$\pi_{АП} \cdot 10^{-24}$	21,7	21,9	36,6	161,0	9,7	20,6	33,2

Расчетные значения комплексных показателей АП (таблица 2.5) могут быть трудно воспринимаемы для анализа (ввиду их малости или, наоборот – больших численных значений). Поэтому их следует представлять в сравнении с показателями базового образца, который в настоящее время не определен. Базовый образец АП должен выбираться в рамках решаемой задачи: для подразделений МЧС этим вопросом занимается отдел вооружения и техники, основной задачей которого является организация и осуществление технического обеспечения подразделений ФПС МЧС России; для частных задач выбором

базового образца занимается пользователь (покупатель) продукции. В связи с этим, далее за базовый образец условно принят АП-5000 (53215), являющийся, по признанию специалистов и в соответствии с годом выпуска, наиболее современным изделием. Для удобства сравнения предварительно проведена нормировка показателей всех АП по отношению характеристикам АП-5000 (53215), что наглядно позволяет установить во сколько раз они лучше или хуже относительно друг друга. Результаты расчетов представлены на рисунках 2.2-2.11.

Рисунок 2.2 – Отношения удельных расходов порошка ($\pi_{1i}/\pi_{1баз}$):
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

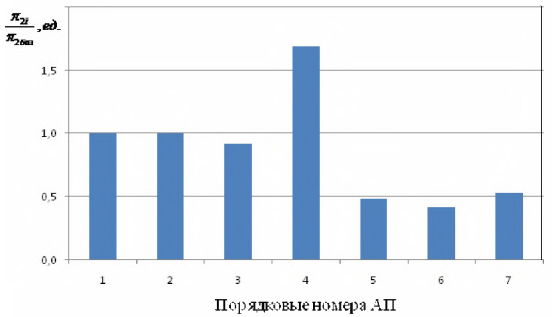


Рисунок 2.3 – Отношения удельных давлений истечения порошка ($\pi_{2i}/\pi_{2баз}$): 1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

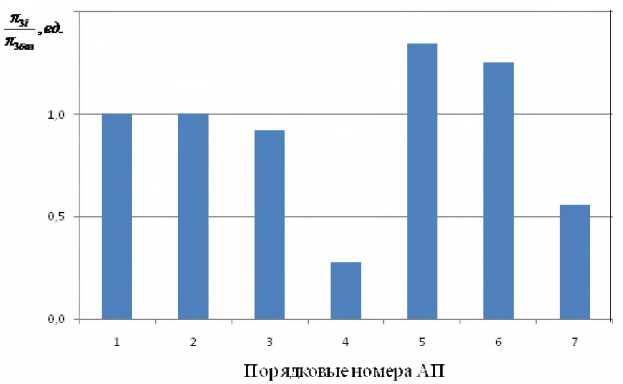


Рисунок 2.4 – Отношения удельных остатков порошка ($\pi_{3i}/\pi_{3баз}$): 1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

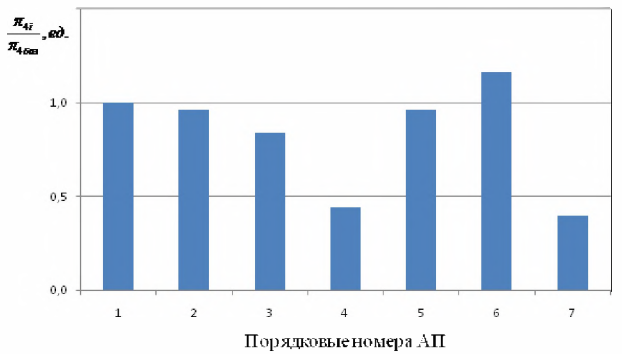


Рисунок 2.5 – Отношения удельных масс АП ($\pi_{4i}/\pi_{4баз}$):
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

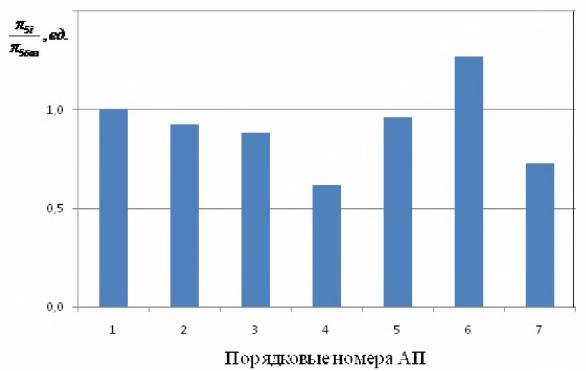


Рисунок 2.6 – Отношения удельных длин АП ($\pi_{5i}/\pi_{5баз}$):
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

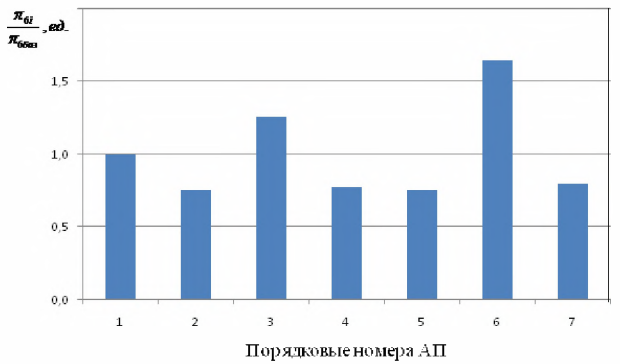


Рисунок 2.7 – Отношения удельных дальностей полёта порошка ($\pi_{6i}/\pi_{6баз}$): 1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

Рисунок 2.8 – Отношения удельных масс порошка ($\pi_{7i}/\pi_{7баз}$): 1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

Рисунок 2.9 – Отношения эффективных масс порошка ($\pi_{8i}/\pi_{8баз}$):
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

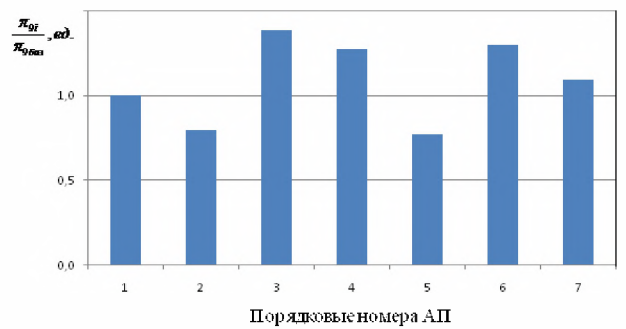


Рисунок 2.10 – Отношения эффективной дальности полета порошка ($\pi_{9i}/\pi_{9баз}$):
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

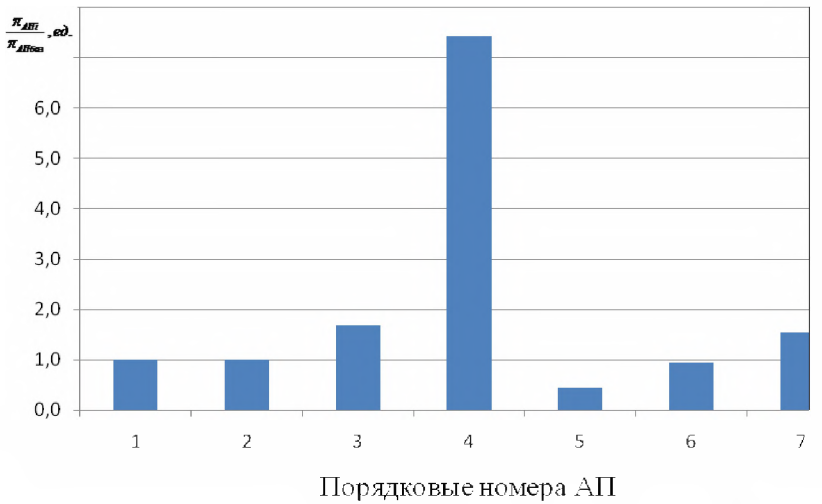


Рисунок 2.11 – Отношения эффективной работы АП ($\pi_{АПi}/\pi_{АПiбаз}$):
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

Из рассмотрения рисунков 2.2 – 2.11 следует, что лучшим АП (это видно из итогового рисунка 2.11) является АП-1000-40 (5301 БО)- образец 4, так как его эффективная работа оказалась наибольшей (в 7 раз больше базового). Этот факт обусловлен тем, что он имеет существенные преимущества по удельным значениям: длины АП, массы порошка и его остатка (таблица 2.5).

Аналогичная картина (рисунок 2.12) наблюдается и у пожарных автомобилей комбинированного тушения (АКТ) в части их порошковых систем.

На рисунке 2.12 представлена эффективная работа АКТ. За базовый образец условно принят АКТ-6,0/1000-80/20 (53229) мод. ПМ-570, так как он является наиболее современным (в соответствии с годом выпуска).

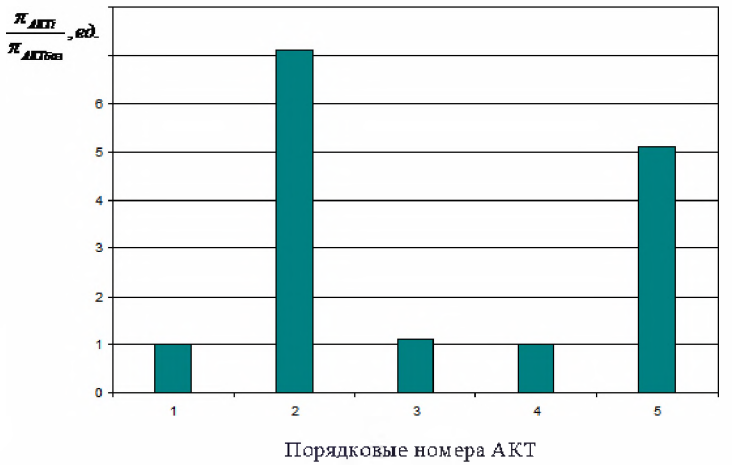


Рисунок 2.12 – Отношения эффективной работы АКТ ($\pi_{АКТ}/\pi_{АКТбаз}$):
1- АКТ-6,0/1000-80/20 (53229) мод. ПМ-570, 2- АКТ-1/1000-40/40 (433112) мод. ПМ-610, 3 – АКТ 5,8/1000-40/40 (53228), 4 – АКТ 5,8/1000-40/40 (53229), 5 – АКТ 6,0/1000-60/20 (65111). Образцы под №№ 1, 3, 4, 5 – шасси КАМАЗ, № 2 - шасси ЗИЛ

В группе анализируемых АП имеются образцы, технические параметры которых существенно различаются, в основном из-за типа шасси.

Поэтому в дальнейшем, целесообразно проводить раздельное сравнение эффективности пожарных автомобилей и их установок, поскольку у одинаковых установок могут быть разные шасси, или на одинаковых шасси установлены разные установки.

2.4 Формирование комплексных показателей технической эффективности установок порошкового тушения

Установки порошкового тушения (УПТ) реализованы с помощью технологического оборудования для хранения и вытеснения огнетушащих веществ (ОТВ), конструктивно размещенного на стационарных или транспортных платформах [12, 15].

Вполне очевидно, что эффективность тушения очага пожара определяется не только свойствами порошков, но и свойствами газов, применяемых для вытеснения их из сосудов УПТ.

Эффективность способов тушения пожара детально рассмотрена в работе И.М. Абдурагимова [12], где показано, что эффективность тушения некоторыми газами, например, углекислым газом и аргоном, отличается вдвое. Там же указаны причины, связанные с характеристиками газов.

В связи с этим, далее рассмотрено влияние физико-технических характеристик газов, применяемых для вытеснения порошков, на оценку эффективности только конструкции УПТ, без рассмотрения механизма пожаротушения очагов пожара. Кроме этого, результаты оценки технической эффективности УПТ здесь даны без учета характеристик шасси (массы, длины и пробега автомобиля, мощности двигателя и удельного расхода топлива), поскольку они могут наложить искажающий отпечаток на численные значения показателей эффективности.

Комплексная оценка технической эффективности установок порошкового тушения, смонтированных на шасси автомобилей, рассмотрена выше, где принято, что все ОТВ одинаково эффективны, поскольку в технической документации их фактические характеристики игнорируются [48]. Реально характеристики огнетушащих порошков и вытесняющих их газов далеко неоднородны (таблицы 2.6, 2.7).

Таблица 2.6 – Характеристики огнетушащих порошков [48 - 50]

№№ п/п	Наименование порошков	Удельное теплопоглощение ($\lambda_{уд}$), кДж/кг	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м · К)	Удельная теплоемкость Ср, Дж/(кг · К)	Плотность ρ, кг/м^3
1	Карбамид гранулированный	2510	0,42	1552	1330
2	«Пирант-А» (96 % фосфаты и сульфаты аммония)	1622	0,45	1409	700 – неуплотненный порошок, 1000-уплотненный порошок
3	ПСБ-3М (90 % бикарбонат натрия)	1420	0,48	1300	
4	ПХК (90 % хлорид калия)	620	0,59	688	1990

Таблица 2.7 – Сравнительная оценка численных значений вязкости газов [12, 49]

Вытесняющий газ	По данным [12]				По данным [49]			
	Динамическая вязкость (μ_1), кг/(м·с)	Кинематическая вязкость (ν_1), м^2/с	Отношение вязкостей		Динамическая вязкость (μ_2), кг/(м·с)	Кинематическая вязкость (ν_2), м^2/с	Отношение вязкостей	
			$\mu_{1\,Ar}/\mu_{1\,CO2}$	$\nu_{1\,Ar}/\nu_{1CO2}$			$\mu_{2\,Ar}/\mu_{2\,CO2}$	$\nu_{2\,Ar}/\nu_{2CO2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Углекислый газ	0,06	0,086	2,2	2,4	$34\cdot10^{-6}$	$47{,}2\cdot10^{-6}$	1,3	1,5
Аргон	0,13	0,207			$45{,}2\cdot10^{-6}$	$72{,}0\cdot10^{-6}$		
Сухой воздух	-	-	-	-	$36{,}2\cdot10^{-6}$	$79{,}38\cdot10^{-6}$	-	-
Азот	-	-	-	-	$33{,}9\cdot10^{-6}$	$76{,}9\cdot10^{-6}$	-	-

Сведения, представленные в таблице 2.7, получены с учетом плотности газов (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Численные значения плотности газов [49]

Вытесняющие газы	Плотность ρ, кг/м^3
Углекислый газ	0,698
Аргон	0,627
Сухой воздух	0,456
Азот	0,442

Расчетные значения динамической и кинематической вязкостей газов (таблица 2.7) основаны на аналитических зависимостях, связывающих эти показатели [51]:

$$\mu = \frac{\lambda}{c_p}, \quad (2.21)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2.22)$$

где

λ - коэффициент теплопроводности;

c_p - удельная теплоёмкость;

μ - динамическая вязкость;

ν - кинематическая вязкость;

ρ - плотность вещества.

Из таблиц видно, что численные значения показателей огнетушащих порошков и газов могут отличаться до двух и более раз, поэтому они должны быть учтены в модели эффективности конструкции УПТ.

Исходя из вышеизложенного, при оценке технической эффективности конструкции установок порошкового тушения пожарных автомобилей, во внимание приняты показатели, представленные в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Показатели оценки технической эффективности установок порошкового тушения

Показатели	Обозначения	Единицы измерения
Кинематическая вязкость вытесняющего газа	ν	$м^2/с$
Масса огнетушащего порошка	$M_п$	$кг$
Расход огнетушащего порошка через стволы	$Q_п$	$кг/с$
Дальность подачи огнетушащего порошка через стволы	$L_п$	$м$

Показатели	Обозначения	Единицы измерения
Рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка	$p_н$	*Па*
Остаток огнетушащего порошка после применения по назначению	Δm	*кг*

В соответствии с π – теоремой [35], получены следующие уравнения:

$$\pi_{10} = \nu \cdot p_н^{x_{10}} \cdot Q_н^{\ y_{10}} \cdot M_н^{z_{10}}; \quad (2.23)$$

$$\pi_{11} = L_н \cdot p_н^{x_{11}} \cdot Q_н^{\ y_{11}} \cdot M_н^{z_{11}}; \quad (2.24)$$

$$\pi_{12} = \Delta m \cdot p_н^{x_{12}} \cdot Q_н^{\ y_{12}} \cdot M_н^{z_{12}}. \quad (2.25)$$

В уравнениях (2.23-2.25) показатели степени являются величинами, определяющими влияние того или иного параметра установки порошкового тушения на частные показатели эффективности.

При подстановке единиц измерения переменных получим следующие уравнения:

$$[\pi_{10}] = м^2 \cdot с^{-1} \cdot \left(кг \cdot м^{-1} \cdot с^{-2}\right)^{x_{10}} \cdot \left(кг \cdot с^{-1}\right)^{y_{10}} \cdot \left(кг\right)^{z_{10}};$$

$$[\pi_{10}] = кг^{\,x_{10}+y_{10}+z_{10}} \cdot с^{\,-1-2x_{10}-y_{10}} \cdot м^{\,2-x_{10}}.$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$x_{10} + y_{10} + z_{10} = 0;$$

$$-1 - 2x_{10} - y_{10} = 0;$$

$$2 - x_{10} = 0;$$

$$x_{10} = 2;\ y_{10} = -5;\ z_{10} = 3.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_{10} = \frac{\nu \cdot p_n^2 \cdot M_n^3}{Q_n^5} \quad . \tag{2.26}$$

$$[\pi_{11}] = м \cdot \left(кг \cdot м^{-1} \cdot с^{-2}\right)^{x_{11}} \cdot \left(кг \cdot с^{-1}\right)^{y_{11}} \cdot (кг)^{z_{11}} ;$$

$$[\pi_{11}] = кг^{x_{11}+y_{11}+z_{11}} \cdot с^{-2x_{11}-y_{11}} \cdot м^{1-x_{11}} .$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$x_{11} + y_{11} + z_{11} = 0;$$

$$-2x_{11} - y_{11} = 0;$$

$$1 - x_{11} = 0;$$

$$x_{11} = 1; \;\; y_{11} = -2; \;\; z_{11} = 1.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_{11} = \frac{L_n \cdot p_n \cdot M_n}{Q_n^2} . \tag{2.27}$$

$$[\pi_{12}] = кг \cdot \left(кг \cdot м^{-1} \cdot с^{-2}\right)^{x_{12}} \cdot \left(кг \cdot с^{-1}\right)^{y_{12}} \cdot (кг)^{z_{12}} ;$$

$$[\pi_{12}] = кг^{1+x_{12}+y_{12}+z_{12}} \cdot с^{-2x_{12}-y_{12}} \cdot м^{-x_{12}} .$$

Выпишем последовательно условия равенства показателей с обеих сторон уравнения. Это дает:

$$1 + x_{12} + y_{12} + z_{12} = 0;$$

$$-2x_{12} - y_{12} = 0;$$

$$-x_{12} = 0;$$

$$x_{12} = 0; \;\; y_{12} = 0; \;\; z_{12} = -1.$$

Окончательно имеем безразмерный комплекс:

$$\pi_{12} = \frac{\Delta m}{M_n} \tag{2.28}$$

$$\pi_{УПТ} = \frac{\pi_{11}}{\pi_{10} \cdot \pi_{12}} = \frac{L_n \cdot Q_n^3}{\nu \cdot p_n \cdot M_n \cdot \Delta m} \tag{2.29}$$

Сущность безразмерных комплексов, характеризующих установки порошкового тушения, раскрыта в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Безразмерные обобщенные комплексы и их сущность

№ п/п	Обобщенные комплексы (первичные)	Обобщенные комплексы (в преобразованной форме)	Отношения размерностей комплексов	Сущность комплекса
1	$\pi_{10} = \frac{\nu \cdot p_n^2 \cdot M_n^3}{Q_n^5}$	$\pi_{10} = \frac{Q_n^{-5}}{\nu^{-1} \cdot p_n^{-2} \cdot M_n^{-3}}$	$[\pi_{10}] = \left(\frac{кг/с}{кг/с}\right)^{-5} = 1$	Удельный расход аэрозоля
2	$\pi_{11} = \frac{L_n \cdot p_n \cdot M_n}{Q_n^2}$	$\pi_{11} = \frac{I_n}{Q_n^2 \cdot p_n^{-1} \cdot M_n^{-1}}$	$[\pi_{11}] = \left(\frac{м}{м}\right) = 1$	Удельная дальность полета аэрозоля
3	$\pi_{12} = \frac{\Delta m}{M_n}$	-	$[\pi_{12}] = \frac{кг}{кг} = 1$	Удельный остаток массы аэрозоля

№ п/п	Обобщенные комплексы (первичные)	Обобщенные комплексы (в преобразованной форме)	Отношения размерностей комплексов	Сущность комплекса
4	$\pi_{УПТ} = \frac{\pi_{11}}{\pi_{10} \cdot \pi_{12}} = \frac{I_n \cdot Q_n^3}{\nu \cdot p_n \cdot M_n \cdot \Delta m}$	-	$[\pi_{УПТ}] = \frac{м \cdot \left(\frac{кг}{с}\right)^3}{м \cdot \left(\frac{кг}{с}\right)^3} = 1$	Коэффициент технической эффективности УПТ

Таким образом, из таблицы 2.10 видно, что вязкость аэрозоля может оказывать влияние на удельный расход аэрозоля (π_{10}) и, в итоге, на коэффициент технической эффективности установок порошкового тушения ($\pi_{УПТ}$).

Из практической целесообразности следует, что более эффективна та установка АП, которая обеспечивает большие значения расхода аэрозоля (Q_n) и дальности его полета (I_n). Следовательно, чем большим значением обобщенного комплекса $\pi_{УПТ}$ (таблица 2.10) обладает оцениваемая установка АП, тем выше её эффективность.

На основании приведенных выше аргументов, дана оценка технической эффективности установок различных марок АП. При расчетах использованы известные технические параметры АП (таблица 2.4) и кинематическая вязкость газов (как вязкость соответствующего аэрозоля). Последнее допущение принято из тех соображений, что 1 м^3 вытесняющего газа, сжатого в УПТ до давления 0,8-1,6 МПа, содержит 0,5-0,6 кг огнетушащего порошка [16] и их примерное соотношение составляет 1 к 20 (в пересчете на массу). Таким образом, можно пренебречь влиянием характеристик порошков на вязкость аэрозоля, заменив их вязкостью вытесняющего газа (ν).

Результаты оценки технической эффективности установок порошкового тушения различных АП рассчитаны по алгоритму (рис. 2.13) и представлены в таблице 2.11.

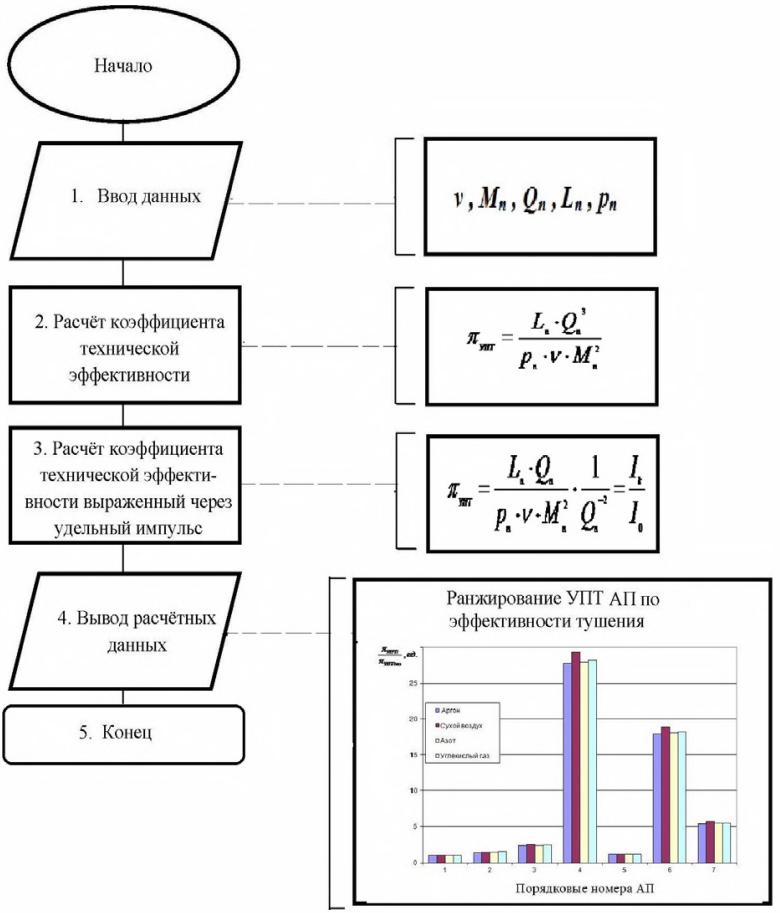


Рисунок 2.13– Блок-схема алгоритма оценки технической эффективности УПТ

Таблица 2.11 – Расчетные значения комплексных показателей установок порошкового тушения

Безразмерные комплексные показатели	Газ	Марки АП						
		АП-5000 (53215)	АП-5000 -60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
$\pi_{10} \cdot 10^{-8}$	Аргон	879	288	288	4,5	325	9	33,5
	Сухой воздух	969	318	318	4,9	358	9,9	36,9
	Азот	939	308	308	4,8	347	9,6	35,8
	Углекислый газ	576	189	189	2,9	213	5,9	21,9
$\pi_{11} \cdot 10^{-6}$	-	125	60	100	17,5	51	90	24,8
π_{12}	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,095	0,1	0,097
$\pi_{УПТ}$	Аргон	0,014	0,020	0,034	0,389	0,016	0,250	0,076
	Сухой воздух	0,012	0,018	0,031	0,353	0,014	0,227	0,069
	Азот	0,013	0,019	0,032	0,364	0,015	0,234	0,071
	Углекислый газ	0,021	0,032	0,053	0,593	0,025	0,381	0,116

Визуализация результатов оценки технической эффективности установок порошкового тушения (с учетом вязкости аэрозоля) представлена рисунками 2.14 и 2.15, где за базовое значение приняты характеристики УПТ того же базового образца 1, как и в АП, т.е. установки порошкового тушения современного АП-5000 (53215).

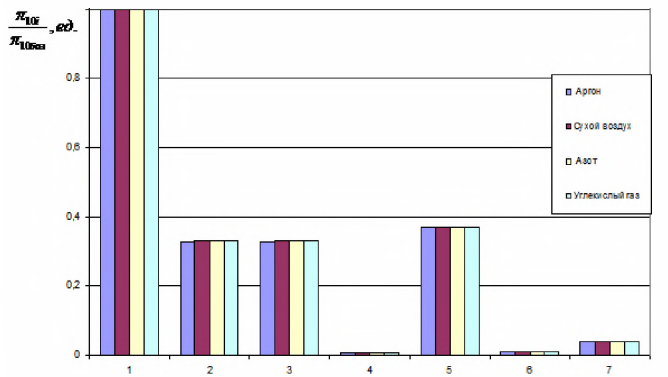


Рисунок 2.14 – Нормированные значения удельного расхода аэрозоля УПТ АП ($\pi_{10i}/\pi_{10баз}$) относительно базового образца:
1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

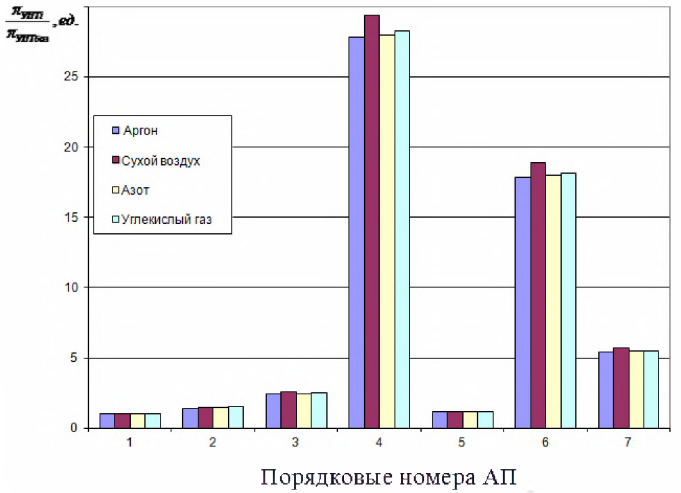


Рисунок 2.15 – Нормированные значения коэффициента технической эффективности УПТ ($\pi_{УПТ}/\pi_{УПТбаз}$) относительно базового образца: 1 - АП-5000 (53215); 2 - АП-5000 -60 (53215); 3 - АП-5000 (53215), модель ПМ-567; 4 - АП-1000-40 (5301 БО); 5 - АП-5 (53213), модель 196; 6 - АП-4 (43105), модель 222; 7 - АП-3 (130) модель 148-А

Из данных рисунка 2.15 следует не столь заметное влияние вязкости на итоговую оценку технической эффективности УПТ (на сухом воздухе прирост составляет 4-5%), которую можно отнести к погрешности $\delta_м$ рассматриваемой методики, определенной по зависимости:

$$\delta_м = \sqrt{\left(\delta_{L_п}\right)^2 + \left(\delta_{Q_п}\right)^2 + \left(\delta_{\nu_п}\right)^2 + \left(\delta_{p_п}\right)^2 + \left(\delta_{M_п}\right)^2 + \left(\delta_{\Delta m}\right)^2} \quad . \qquad (2.30)$$

где

$\delta_{L_н}, \delta_{Q_н}, \delta_{v_н}, \delta_{p_н}, \quad \delta_{Mf_н}, ; \ \delta_{\Delta m}$ - относительные погрешности, принятые с учетом класса точности соответствующих средств измерений и средних арифметических значений измеренных величин.

При расчёте относительных погрешностей использованы технические средства измерения с метрологическими характеристиками, представленными в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Характеристики технических средств измерения

№ п/п	Технические средства измерения	Диапазон измерений	Требования точности	
			Класс точности по документации средств измерений	Согласно ГОСТ Р 53328-2009
1.	Рулетка измерительная металлическая, Р10УЗГ	0-10 м	3	1
2.	Расходомер KEM Kuppers HM	4,5-60000 кг/ч	2	2
3.	Вискозиметр 7827	0,5-12 500 сПз (мПа·с)	1	-
4.	Манометр МП2-У	0-16 кг·с/см^2	4	3
5.	Весы автомобильные ВАТ «Станица»	0-20 т	3	0,5

Относительные погрешности измерений:

$$\delta_{L_н} = 3\%; \qquad \delta_{Q_н} = 2\%; \qquad \delta_{v_н} = 1\%;$$

$$\delta_{p_н} = 4\%; \qquad \delta_{Mf_н} = 3\%; \qquad \delta_{\Delta m} = 3\%.$$

$$\delta_м = \sqrt{\left(\delta_{L_н}\right)^2 + \left(\delta_{Q_н}\right)^2 + \left(\delta_{v_н}\right)^2 + \left(\delta_{p_н}\right)^2 + \left(\delta_{Mf_н}\right)^2 + \left(\delta_{\Delta m}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{3^2 + 2^2 + 1^2 + 4^2 + 3^2 + 3^2} = 7\%.$$

Результаты показали, что методическая относительная погрешность расчетов численных значений показателей составляет не более 7 %.

2.5 Обоснование направления совершенствования пожарных автомобилей порошкового тушения

Для достижения максимальной эффективности АП, прежде всего, необходимо уменьшение значений мощности двигателя, полной массы и длины автомобиля, остатка огнетушащего порошка (таблица 2.5, поз. 2).

Имеется возможность пренебрежения влиянием вязкости аэрозоля на техническую эффективность УПТ, и в дальнейшем сравнение эффективности их конструкции достаточно проводить только по сухому воздуху или азоту.

Лучшими показателями обладают УПТ автомобилей порошкового тушения АП-1000-40 (5301 БО) и АП-4 (43105) модели 222 (рисунок 2.15, образцы с номерами 4 и 6). Коэффициент технической эффективности этих УПТ существенно больше по сравнению с базовым значением образца АП-5000 (53215). Это объяснимо тем, что полезный эффект (расчетное значение числителя показателя $\pi_{УПТ}$) у сравниваемых образцов практически равнозначен с базовым значением (2560000 условных единиц - для АП-5000 (53215) и 2240000 условных единиц - для АП-1000-40 (5301 БО) соответственно). Одновременно отрицательное воздействие знаменателя - в 25 раз больше у АП-5000 (53215) за счет массы огнетушащего порошка и ее остатка.

Сравнение эффективности УПТ (рис. 2.15) и пожарных автомобилей порошкового тушения (рис. 2.11) показывает заметное влияние характеристик шасси на численные значения сравниваемых показателей.

В обоих случаях наблюдается существенное преимущество образца №4 (АП-1000-40 (5301 БО)), но при этом ранжирование образцов сохраняется. Отличие составляет образец №6 (АП-4 (43105), модель 222), у которого характеристики модуля превалируют над характеристиками шасси (таблица 2.4).

Для устранения отказов в работе из-за слеживаемости порошка, предложено изменить технологическую схему АП [11], включив в её структуру измеритель расхода и фильтр-калибратор. На рисунке 2.16 представлена технологическая схема перспективной порошковой установки АП.

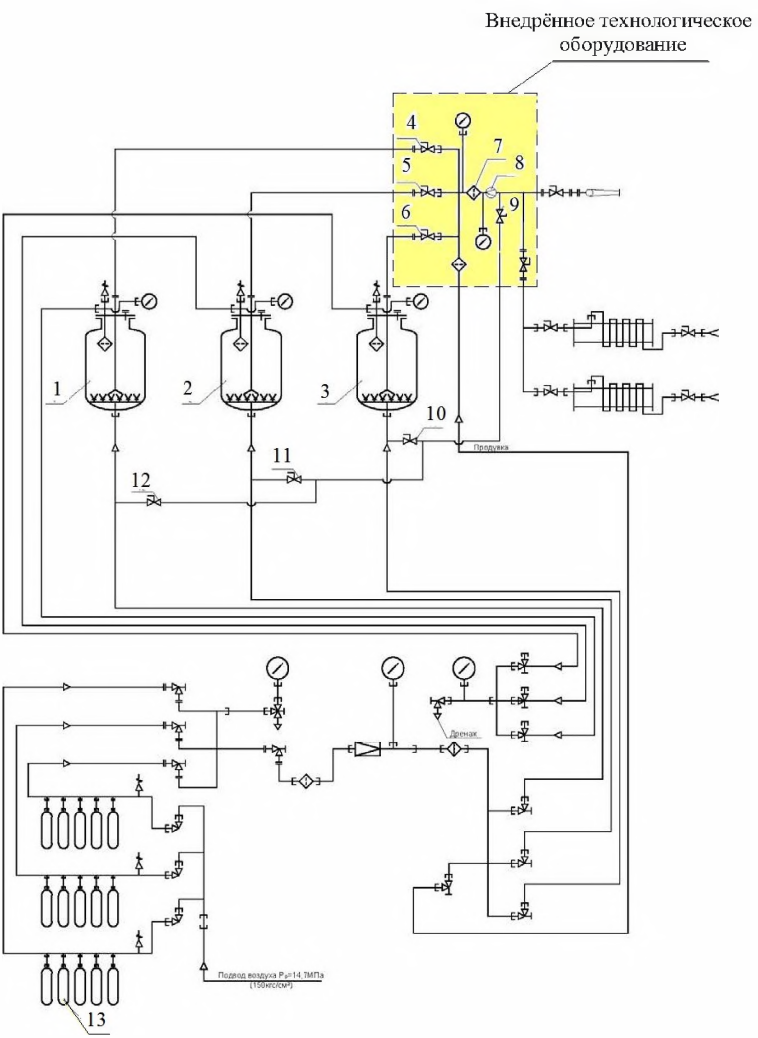


Рисунок 2.16 - Схема технологическая порошковой установки АП [11]:

1, 2, 3 - сосуды для хранения порошка; 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12 – шаровые краны; 7 – фильтр-калибратор частиц порошка (со встроенным сборником отсеянных частиц); 8 – измеритель расхода аэрозоля; 13 – баллоны со сжатым газом

Измеритель расхода обеспечивает контроль нормируемой величины расхода аэрозоля, отклонения от которой в меньшую сторону указывают на наличие неисправностей в порошковой установке и необходимость их устранения.

Фильтр-калибратор пропускает только те частицы порошка, размер которых соответствует установленным требованиям, и не пропускает частицы сверх установленного размера, направляя их во встроенный сборник отсеянных частиц порошка, с последующим периодическим удалением для восстановления качества или на утилизацию.

Проведенные исследования показали, что для этой цели пригодны сетки с величиной ячеек от 50 до 100 мкм [46].

Обязательным предварительным условием функционирования полезной модели [11] является полное или частичное отсутствие порошка в одном из сосудов установки.

Выполнение функций по диагностированию технического состояния оборудования, контролю гранулометрического состава порошка, с одновременным приобретением и совершенствованием навыков практической работы личного состава, осуществляется в описываемом далее порядке (при нормально закрытом положении запорной арматуры).

Движение потока аэрозоля при наличии в составе АП трех сосудов для хранения порошка

Вытеснение порошка из сосуда (1) в порожний сосуд (2). Газ из баллонов (13) под давлением подается в сосуд (1), образуя в нем аэрозоль, который далее проходит через открытый кран (4), фильтр-калибратор частиц порошка (7), измеритель расхода аэрозоля (8), затем, при открывании кранов (9) и (11), поступает в порожний сосуд (2).

Вытеснение порошка из сосуда (2) в порожний сосуд (3). Газ из баллонов (13) под давлением подается в сосуд (2), образуя в нем аэрозоль, который далее проходит через открытый кран (5), фильтр-калибратор частиц порошка (7), измеритель расхода аэрозоля (8), затем, при открывании кранов (9) и (10), поступает в порожний сосуд (3).

Вытеснение порошка из сосуда (3) в порожний сосуд (1). Газ из баллонов (13) под давлением подается в сосуд (3), образуя в нем аэрозоль, который далее проходит через открытый кран (6), фильтр-калибратор частиц порошка (7), измеритель расхода аэрозоля (8), затем, при открывании кранов (9) и (12), поступает в порожний сосуд (1).

Действия оператора порошковой установки (или иных должностных лиц) по техническому диагностированию в ходе вытеснения порошка из сосудов

Зафиксировать показания измерителя расхода аэрозоля (8) и возникшие отказы запорно-регулирующей арматуры, если таковые имеются. Если расход вытеснения порошка находится в норме, то это свидетельствует о положительных результатах технического диагностирования. В противном случае следует уточнить и устранить причину отказа в работе оборудования.

Зафиксировать показания манометров на фильтре-калибраторе частиц порошка (7) и сравнить с установленными нормативной документацией штатными значениями. Если перепад давления на заданном режиме вытеснения порошка находится в норме, то это свидетельствует о соответствии порошка требованиям, результаты технического диагностирования - положительные.

Превышение перепада давления указывает на наличие в составе порошка частиц с размером сверх установленных значений: необходимо принять меры по приведению качества порошка к норме.

Обучение и закрепление практических навыков оператора порошковой установки

Обучение и закрепление практических навыков оператора порошковой установки осуществляют путем многократного повторения действий, описанных выше. Степень подготовленности определяется в соответствии с действующими нормативами.

Далее была разработана модель установки порошкового тушения [52], которая усовершенствована за счёт выполнения новых функций, способствующих уменьшению остатка ОТВ в сосудах.

Конструкция порошковой установки (рисунок 2.16) устраняет недостатки существующих АП за счет применения измерительного оборудования (измерителя расхода аэрозоля, фильтра-калибратора со встроенным сборником отсеянных частиц порошка) и частичного изменения конфигурации технологических трубопроводов.

Частичное изменение конфигурации трубопроводов обеспечивает технологическую последовательность соединения оборудования, необходимую для осуществления технического диагностирования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава.

В совокупности, предлагаемая модель обеспечивает выполнение новых функций:

диагностирование технического состояния оборудования, работающего на расчетных режимах применения по назначению;

контроль гранулометрического состава порошка, хранимого в сосудах установки;

эргономичность обучения личного состава практическим навыкам применения оборудования по назначению.

Выводы по главе

1. Выбранный метод анализа размерностей позволил установить закономерности влияния основных параметров АП на оценку технической эффективности изделий в целом и их составных частей, с учетом разнонаправленного действия их единичных показателей на итоговую результативность оценки.

2. Сформированные безразмерные комплексные показатели эффективности АП в целом и их установок порошкового тушения могут быть приняты для объективного сравнения в процессе закупки техники для МЧС России и положены в основу методики оценки их эффективности.

3. Необходимо совершенствовать конструкции УПТ, обеспечивая новые функции встроенного диагностирования технического состояния оборудования, контроля гранулометрического состава порошка, эргономичности обучения и тренировок личного состава по совершенствованию навыков применения оборудования по назначению (особенно в условиях возможного длительного простоя АП).

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ К ОБУЧЕНИЮ ЛИЧНОГО СОСТАВА

В этой главе представлены результаты оценки приспособленности пожарного автомобиля порошкового тушения к эргономичности обучения личного состава. С этой целью использованы методы экспертных оценок и анализа иерархий [53, 54].

Основная идея экспертных методов состоит в том, чтобы использовать интеллект людей, их способность искать и находить решение слабо формализованных задач. В теории экспертных оценок разработан ряд методов проведения экспертизы. Часто затруднительно напрямую оценить важность некоторого объекта среди ряда других. Эксперт должен вынести суждение о том, насколько с точки зрения достижения цели один объект важнее второго. Анализируя совокупность объектов, эксперт определяет численное предпочтение одного объекта перед другим по некоторой заранее выбранной шкале отсчета. В нашем случае им является выбор операций, необходимых для эргономичности обучения личного состава на АП.

3.1 Сравнительная оценка технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения

Проблема эффективности тушения пожаров определяется, наряду с другими компонентами, уровнем технического состояния пожарной техники и степенью эргономичности обучения личного состава к полному использованию её возможностей. Особенно это характерно для опасных промышленных объектов (ОПО) транспорта (трубопроводного и железнодорожного) и объектов энергетики.

В Соединённых Штатах Америки за 5 лет (2000 – 2005 гг.) каждый год были смертельные случаи, во время учений погибало до 13 огнеборцев [55]. Были

проведены исследования, разработан план безопасности и изданы рекомендации, для того чтобы обезопасить пожарных во время обучения. Следовательно, при переходе на новые пожарные автомобили, необходимо обязательно проходить дополнительное обучение на этом виде техники [56].

Распределение ОПО по территории России крайне неравномерно, поэтому и численность АП по региональным центрам МЧС тоже неодинакова. Уровень технического состояния АП - крайне пестр. Наряду с новыми (до 5 лет) имеются автомобили морально устаревших конструкций или/и с давно истекшими сроками эксплуатации (таблица 1.2).

Как отмечено ранее, существующая в России численность пожарных автомобилей порошкового тушения составляют порядка 50 % от заявленной в них потребности. Следовательно, суммарная численность личного состава, задействованного при эксплуатации АП, составляет не менее 200 человек – в настоящее время, в перспективе может достигнуть 300 человек.

Степень подготовленности личного состава к практическим действиям по тушению пожаров на ОПО проверить объективно невозможно из-за неприспособленности конструкции АП для выполнения этой процедуры непосредственно в пожарных частях подразделений ФПС МЧС России. Принципиально такая возможность существует, но она требует доработки конструкции АП, поэтому может быть применена лишь в отдаленной перспективе.

Проверка только теоретических знаний недостаточна для твердой уверенности в практической подготовленности личного состава к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС).

В связи с отмеченными обстоятельствами, целесообразно рассмотреть возможность приобретения, закрепления и периодического повышения навыков практической деятельности личного состава АП на учебных полигонах.

Обучение специалистов регулируется программой ГПС МЧС России от 29.12.2003 г., которая включает индивидуальную подготовку водителей, специалистов по ремонту, обслуживанию, диагностированию и техническому

контролю АП в течение 60 часов (теоретический курс) и стажировку в течение 5 -10 дежурств (в зависимости от режима работы) [57].

Поскольку боевое применение АП очень редкое или отсутствует, то возникает необходимость замены его (полностью или частично) практическими тренировками личного состава на учебном полигоне. Такие тренировки не могут быть организованы и проведены в масштабах одной пожарной части по ряду причин, в первую очередь, по экономическим соображениям и из-за отсутствия подготовленных лиц из числа начальствующего состава, контролирующих ход учебного процесса. Наиболее целесообразным представляется для водителей АП планировать такие тренировки на полигонах в масштабе каждого регионального центра и проводить на базе одной из его пожарных частей.

Такая постановка вопроса требует юридической проработки ряда аспектов и закрепления их в форме, например, типового положения МЧС России об организации практических занятий на АП во временных летних полигонах региональных центров.

Более детальное рассмотрение сущности организационной и методической работы на учебных полигонах следует выполнить после принятия принципиального решения о введении такой формы обучения в подразделениях ФПС МЧС России. Однако уже на этом этапе рассмотрения поставленного вопроса следует учесть основные моменты функционирования полигона:

1. Целесообразно временный летний полевой лагерь (примерные размеры 100х50м) организовать с размещением объектов согласно рис. 3.1:

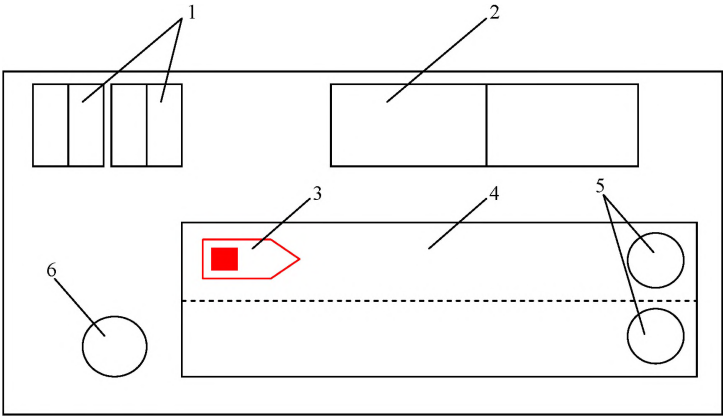


Рисунок 3.1 – Временный летний полевой лагерь:

1 – палатки для размещения личного состава; 2 – временный навес для размещения АП; 3 – положение АП на исходной позиции для тушения пожара; 4 – тренировочная площадка (примерная длина - 60 м); 5 – имитаторы пожара на ОПО; 6 – сборник порошка

2. Продолжительность обучения на полигоне должна быть эквивалентна 5 - 10 дежурствам, но не менее одной недели (36 учебных часов).

3. Перечень отрабатываемых учебных вопросов должен включать:

- проведение ТО АП после совершения марша из пункта постоянного базирования на полигон (по прибытию на полигон);

- тренировку по тушению пожара;

- тушение пожара (на имитационной модели);

- ознакомление с устройством и применением АП других пожарных частей, прибывших на полигон (возможно с привлечением специалистов заводов-поставщиков АП);

- техническое обслуживание АП после условного боевого применения, подготовка к маршу в расположение пожарных частей.

4. Обучение должно завершаться сдачей установленных нормативов по тушению пожаров.

5. Периодичность проведения тренировок (практических занятий) на полигоне каждым водителем АП должна определяться в зависимости от уровня его подготовленности и проводиться не реже 1 раза в 2-3 года.

При решении технических задач в области пожарной и промышленной безопасности широко используют разнообразные методы экспертных оценок, сущность которых состоит в объединении единичных показателей в одно целое с учетом весовых коэффициентов их значимости.

Обычно в методах экспертных оценок используют мультипликативную и аддитивную свертки, где весовые показатели (степени) определяют эксперты. Для выбора весовых коэффициентов они используют различные математико-статистические методы, опыт, понимание существа проблемы, чувство перспективы и интуицию.

Аддитивная функция слабо чувствительна к изменению свойств с малыми весами (малыми оценками полезности). Мультипликативная функция, наоборот, сильно зависит от изменения свойств с малыми значениями оценок полезности.

Успешное применение любой техники по назначению зависит от приспособленности ее конструкции к эргономичности обучения личного состава, который должен иметь навыки практического выполнения основных и вспомогательных функций [58].

3.2 Приспособленность пожарных автомобилей порошкового тушения для обучения и тренировок личного состава

Приспособленность пожарных автомобилей основного назначения к работе пожарных подробно рассмотрена Ю.П. Самохваловым [17]. Автор обосновал размеры конструктивных элементов ПА, обеспечивающих приспособленность к работе на них пожарных различного роста, определил величины

антропометрических признаков пожарных. В нашем случае рассматривается приспособленность АП для эргономичности обучения и тренировок личного состава (сотрудников ФПС МЧС России). К сожалению, некоторые АП недостаточно приспособлены для технического диагностирования состояния порошка и не в полной мере отвечают требованиям эргономичности обучения личного состава навыкам практической работы [24]. Для устранения этого недостатка предложено изменить технологическую схему АП [11], включив в её структуру измеритель расхода и фильтр-калибратор (рисунок 2.16).

Оценка приспособленности АП к функциям диагностирования технологического оборудования и эргономичности обучения личного состава выполнена на основе экспертных оценок 10-ти специалистов, обобщенные сведения о которых представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сведения об экспертах Санкт-Петербургского гарнизона МЧС России, привлеченных к опросу

Занимаемая должность	Стаж работы в ФПС МЧС России, лет		Кол-во
	Общий	С личным составом	
Начальник кафедры ВУЗа	23 - 33	8 - 20	3
Ст. инженер ПТЦ ФПС	8	8	1
Зам. начальника ОВТ региона	21	16	1
Зам. начальника ОВТ УМТО региона	22	17	1
Начальник пожарной части	14	9	1
Зам. начальника учебного центра	17	12	1
Зам. начальника пожарной части	18	13	1
Начальник отряда ФПС	15	13	1

В опросном листе представлены 16 операций, перечень которых сформирован на основании технической и нормативной документации по АП [18, 24, 60]. Эксперты, в зависимости от значимости операции для эргономичности обучения личного состава, проставили ранги (от 1 до 16). Первое место, и соответственно ранг 1, присвоен самой важной, по их мнению, операции, остальным операциям - от 2 до 16. Первичные результаты опроса представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Значимость операций для эргономичности обучения личного состава

№ п/п	Перечень операций, необходимых для эргономичности обучения личного состава	Ранги										
		Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4	Эксперт №5	Эксперт №6	Эксперт №7	Эксперт №8	Эксперт №9	Эксперт №10	Сумма рангов
1	Прием (загрузка) порошка в ПА вручную	8	6	4	15	6	10	16	3	1	4	73
2	Проверка работоспособности шаровых кранов и запорной арматуры	13	14	12	4	16	3	13	8	7	2	92
3	Прием (загрузка) порошка в ПА с использованием оборудования	3	5	7	3	1	5	6	2	2	5	39
4	Заправка баллонов сжатым воздухом	6	2	10	16	13	7	1	1	3	1	60

№ п/п	Перечень операций, необходимых для эргономичности обучения личного состава	Ранги										
		Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4	Эксперт №5	Эксперт №6	Эксперт №7	Эксперт №8	Эксперт №9	Эксперт №10	Сумма рангов
5	Проверка состояния рукавов, рукавных катушек, лафетного и ручных стволов, соединительных элементов, сетки загрузочного люка	15	16	16	5	15	1	14	4	10	3	99
6	Контроль наличия ОТВ в емкостях и расхода его	1	4	2	1	3	2	7	9	4	7	40
7	Контроль вакуумной системы (газоструйного вакуум-аппарата и пневмоцилиндра)	9	13	11	2	12	11	3	5	11	8	85
8	Проверка давления сжатого воздуха в баллонной секции	7	8	8	6	10	4	2	10	5	6	66
9	Контроль слёживаемости порошка в емкостях АП	2	3	3	12	2	6	4	16	6	11	65
10	Крепление емкостей для порошка и воздушных баллонов	14	15	13	13	11	9	5	15	12	15	122
11	Выдача порошка из ручного ствола	5	10	5	10	9	8	15	12	8	12	94
12	Выдача порошка из лафетного ствола	4	9	1	11	5	12	12	13	9	13	89
13	Срабатывание сигнализаторов уровня порошка в емкости	10	7	6	9	7	14	11	11	14	14	103

№ п/п	Перечень операций, необходимых для эргономичности обучения личного состава	Ранги										
		Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4	Эксперт №5	Эксперт №6	Эксперт №7	Эксперт №8	Эксперт №9	Эксперт №10	Сумма рангов
14	Работа пневмосистемы (редуктор давления, предохранительные клапаны)	16	1	15	7	14	16	8	6	15	10	108
15	Проверка герметичности соединения трубопроводов и рукавов	11	11	9	8	8	13	9	7	13	9	98
16	Крепление сигнализаторов уровня порошка в емкости	12	12	14	14	4	15	10	14	16	16	127

Из данных таблицы 3.2 виден существенный разброс мнений экспертов: по позициям №1, 2, 4, 5, 9, 14 он составляет от 1 до 16. В методе экспертных оценок при сравнении самолётов [61] сначала выбирались параметры, затем распределялись веса, таким образом, чтобы в сумме была единица. Применялась десятибалльная шкала. И далее определялся самый эффективный самолёт по количеству баллов. При оценке материалов с помощью функции желательности Харрингтона [62], эксперты устанавливают величины показателей свойств, отвечающие категориям «очень хорошо», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо», «очень плохо». В основе метода Т.Л. Саати [54] и шкалы желательности Е. Харрингтона [62] лежит сравнительный анализ показателей оценки чего-либо. По методу анализа иерархий проводят ранжирование показателей, а при использовании шкалы желательности Е.Харрингтона устанавливают соответствие между физическими и психологическими параметрами. В основе этих двух

методов лежит расчёт средней квадратичной погрешности S_X результата вычисления среднего арифметического значения $\overline{X}$:

$$S_{\overline{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \overline{X})^2}{n(n-1)}} \quad . \qquad (3.1)$$

Поэтому в нашем случае, ввиду неоднородности генеральной совокупности, с целью исключения предельных (ошибочных) мнений, рассчитаны случайные погрешности $\Delta x_{сл}$ на основе распределения Стьюдента [63]:

$$\Delta x_{сл} = S_x \cdot t\,(P, n), \qquad (3.2)$$

где

S_x - выборочное стандартное отклонение среднего арифметического значения мнения экспертов ($\overline{X}$) по каждой оцениваемой операции:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \overline{X})^2}{n(n-1)}}; \qquad (3.3)$$

X_i - значение мнения отдельного эксперта по каждой оцениваемой операции;

$\overline{X}$ - среднее арифметическое значение мнения экспертов по каждой оцениваемой операции;

n - количество мнений экспертов по каждой оцениваемой операции;

$t\,(P, n)$ - коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности P –0,95.

Все значения мнений X_i, не попавшие в диапазон $\overline{X} \pm \Delta x_{сл}$, исключены из дальнейшей оценки. Скорректированные результаты представлены в таблице 3.3, где меньшая сумма рангов соответствует большей значимости операции.

Таблица 3.3 - Ранжирование значимости операций по скорректированным результатам опроса

№ п/п	Перечень операций, необходимых для эргономичности обучения личного состава	Сумма рангов	Приращение сумм рангов
1	2	3	4
1	Контроль наличия ОТВ в емкостях и расхода его	15	-
2	Контроль слёживаемости порошка в емкостях АП	16	1
3	Прием (загрузка) порошка в ПА с использованием оборудования	21	5
4	Проверка состояния рукавов, рукавных катушек, лафетного и ручных стволов, соединительных элементов, сетки загрузочного люка	24	3
5	Заправка баллонов сжатым воздухом	28	4
6	Проверка давления сжатого воздуха в баллонной секции	40	12
7	Прием (загрузка) порошка в ПА вручную	41	1
8	Срабатывание сигнализаторов уровня порошка в емкости	41	0
9	Выдача порошка из ручного ствола	45	4
10	Выдача порошка из лафетного ствола	53	8
11	Проверка работоспособности шаровых кранов и запорной арматуры	53	0

№ п/п	Перечень операций, необходимых для эргономичности обучения личного состава	Сумма рангов	Приращение сумм рангов
1	2	3	4
12	Контроль вакуумной системы (газоструйного вакуум-аппарата и пневмоцилиндра)	62	9
13	Крепление емкостей для порошка и воздушных баллонов	63	1
14	Проверка герметичности соединения трубопроводов и рукавов	65	2
15	Работа пневмосистемы (редуктор давления, предохранительные клапаны)	69	4
16	Крепление сигнализаторов уровня порошка в емкости	123	54
Сумма:		759	-

Замечено резкое изменение сумм рангов (табл.3.3, столбец 3). Использование данных таблицы 3.3 для комплексной оценки технической приспособленности АП затруднено ввиду большого количества операций, поэтому применен метод анализа иерархий [54]. Операции, необходимые для эргономичности обучения и тренировок личного состава, разделены на три группы: обязательные, рекомендуемые и дополнительные. Распределение операций по группам осуществлено с учетом приращения сумм рангов их значимости (таблица 3.3, столбец 4) и представлено в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Группировка функций эргономичности обучения и тренировок личного состава

№ п/п	Обязательные функции $N_{оф}$	Рекомендуемые функции $N_{рф}$	Дополнительные функции $N_{оф}$
1	Контроль наличия ОТВ в емкостях и расхода его	Проверка давления сжатого воздуха в баллонной секции	Контроль вакуумной системы (газоструйного вакуум-аппарата и пневмоцилиндра)
2	Контроль слёживаемости порошка в емкостях АП	Прием (загрузка) порошка в ПА вручную	Крепление емкостей для порошка и воздушных баллонов
3	Прием (загрузка) порошка в ПА с использованием оборудования	Срабатывание сигнализаторов уровня порошка в емкости	Проверка герметичности соединения трубопроводов и рукавов
4	Проверка состояния рукавов, рукавных катушек, лафетного и ручных стволов, соединительных элементов, сетки загрузочного люка	Выдача порошка из ручного ствола	Работа пневмосистемы (редуктор давления, предохранительные клапаны)
5	Заправка баллонов сжатым воздухом	Выдача порошка из лафетного ствола	Крепление сигнализаторов уровня порошка в емкости
6		Проверка рабОтоспособности шаровых кранов и запорной арматуры	
$\sum$	$N_{оф} = 5$	$N_{рф} = 6$	$N_{оф} = 5$

Итоговая оценка технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля

гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава дана по аналогичной методике [64]. С этой целью нами введен коэффициент технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава (КТП):

$$КТП = \frac{\gamma_j \cdot (N_{оф i} - x) + \gamma_k \cdot (N_{рф k} - y) + \gamma_m \cdot (N_{дф i} - z)}{\gamma_j \cdot N_{оф i} + \gamma_k \cdot N_{рф k} + \gamma_m \cdot N_{дф i}} \quad , \qquad (3.4)$$

где

$\gamma_j, \gamma_k, \gamma_m$ – веса значимости обязательных (γ_j –1), рекомендуемых (γ_k=0,75) и дополнительных (γ_m = 0,5) функций соответственно;

$N_{оф i}$, $N_{рф k}$, $N_{дф i}$ – соответственно количество обязательных, рекомендуемых и дополнительных функций (по данным таблицы 3.4);

x, y, z - количество соответственно обязательных, рекомендуемых и дополнительных функций, отсутствующих в конструкции АП.

Коэффициент веса $\gamma = 1$ означает безусловное выполнение обязательных функций, коэффициент веса для дополнительных функций $\gamma = 0,5$ (или 50% вероятность выполнения). Для рекомендуемых функций принят коэффициент $\gamma = 0,75$ (величина не может быть более значимости обязательных функций и менее значимости дополнительных функций).

Значения коэффициента технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчётные значения КТП

№ п/п	Марки АП	Коэффициенты веса			Количество невыполненных требований			Коэффициент технической приспособленности конструкции АП (КТП)
		γ_1	γ_2	γ_3	x	y	z	
1	АП-5000 (53215)	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92
2	АП-5000 - 60 (53215)	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92
3	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92
4	АП-1000-40 (5301 БО)	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92
5	АП-5 (53213), мод. 196	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92
6	АП-4 (43105), мод. 222	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92
7	АП-3 (130) мод. 148-А	1	0,75	0,50	1	0	0	0,92

№ п/п	Марки АП	Коэффициенты веса			Количество невыполненных требований			Коэффициент технической приспособленности конструкции АП (КТП)
		γ_1	γ_2	γ_3	x	y	z	
8	Порошковая установка пожарного автомобиля порошкового тушения (патент №140916)	1	0,75	0,50	0	0	0	1,00

Для рассматриваемых марок АП:

$$КТП = \frac{\gamma_j \cdot (N_{офi} - x) + \gamma_k \cdot (N_{рфk} - y) + \gamma_m \cdot (N_{офi} - z)}{\gamma_j \cdot N_{офi} + \gamma_k \cdot N_{рфk} + \gamma_m \cdot N_{офi}} =$$

$= 1 \cdot (5-1) + 0{,}75 \cdot (6-0) + 0{,}50 \cdot (5-0) / (1 \cdot 5 + 0{,}75 \cdot 6 + 0{,}50 \cdot 5) = 0{,}92.$

Для модели порошковой установки АП:

$$КТП = \frac{\gamma_j \cdot (N_{офi} - x) + \gamma_k \cdot (N_{рфk} - y) + \gamma_m \cdot (N_{офi} - z)}{\gamma_j \cdot N_{офi} + \gamma_k \cdot N_{рфk} + \gamma_m \cdot N_{офi}} =$$

$= 1 \cdot (5-0) + 0{,}75 \cdot (6-0) + 0{,}50 \cdot (5-0) / (1 \cdot 5 + 0{,}75 \cdot 6 + 0{,}50 \cdot 5) = 1{,}00.$

Выявлено, что у всех существующих марок АП не выполнено только одно, но очень важное требование – не предусмотрен контроль слёживаемости порошка

в емкостях АП, поэтому для них расчётное значение КТП = 0,92. В порошковой установке АП, согласно модели [11], это требование выполнено (КТП = 1,00): она имеет в своем составе измеритель расхода аэрозоля и фильтр-калибратор частиц порошка, что обеспечивает диагностирование технического состояния оборудования, контроль гранулометрического состава порошка, эргономичность обучения и тренировок личного состава по совершенствованию навыков применения оборудования по назначению.

Таким образом, предложенная (с участием автора) модель порошковой установки пожарного автомобиля порошкового тушения [11] более приспособлена к эргономичности обучения личного состава.

Выводы по главе

1. Приспособленность конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава может быть оценена коэффициентом (КТП), рассчитываемым на основе метода экспертных оценок по уравнению 3.4.

2. Имеется настоятельная необходимость в перспективе при разработке АП новых поколений использовать технологическую схему УПТ (рис. 2.16), разработанную в ходе выполнения настоящего исследования, которая одновременно повышает эксплуатационные возможности и создает условия для эргономичности обучения личного состава.

Глава 4 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА

Для тушения пожаров на предприятиях магистральных трубопроводов [65], нефтепродуктопроводов на территории городов и населенных пунктов [66], железнодорожного транспорта [67, 68] и в аэропортах России, помимо стационарных систем пожаротушения, привлекают автомобильные средства (АП и АКТ) [14].

В этой главе представлены результаты оценки границ применимости установок АП при тушении пожаров на объектах магистральных трубопроводов и железнодорожного транспорта. В качестве их приняты наиболее пожароопасные производственные объекты: резервуарные парки [65, п.5.9] и сливо-наливные железнодорожные эстакады [68], включая автоматические установки тактового налива железнодорожных цистерн [69].

4.1 Методический прием для оценки технической эффективности установок порошкового тушения

При оценке технической эффективности установок во внимание приняты показатели, представленные в таблице 2.9.

Для комплексной оценки их технической эффективности методом анализа размерности [35], по данным таблицы 2.9, сформированы безразмерные обобщенные комплексы (таблица 2.10).

Расчетные значения этих показателей получены по численным значениям единичных показателей установок ряда автомобилей порошкового тушения (таблица 4.1) с учетом вязкости вытесняющего газа (сухого воздуха), равной $79{,}38 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

Таблица 4.1 – Расчетные значения обобщенных комплексных показателей установок порошкового тушения

Обобщенные комплексы	Марки АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000 -60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
	1	2	3	4	5	6	7
$\pi_{10} \cdot 10^{-8}$	969	318	318	5	358	10	37
$\pi_{11} \cdot 10^{-6}$	125	60	100	18	51	23	25
π_{12}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$\pi_{УПТ} \cdot 10^{3}$	13	19	31	353	15	227	69

Из данных таблицы 4.1 видно, что у всех установок безразмерный комплекс $\pi_{12} = 0{,}1$. Показатели π_{10} и π_{11} имеют существенно другие численные значения.

Следовательно, входящая в комплекс π_{12} величина остатка массы Δm огнетушащего порошка (после применения установки по назначению), затмевает влияние других единичных показателей качества, представленных в таблице 2.9. Этот факт иллюстрируется рисунками 4.1-4.3, где отражена взаимосвязь коэффициента технической эффективности установок порошкового тушения $\pi_{УПТ}$ с другими комплексными показателями (π_{10}, π_{11}, π_{12}) при довольно высокой корреляции между ними (R^2 указан на рисунках 4.1- 4.3, не менее 0,7391).

Как видно из графиков (рис. 4.1 – 4.3), коэффициент технической эффективности установок порошкового тушения $\pi_{УПТ}$ не зависит от численных значений комплексного показателя π_{12}. Поэтому далее оценка эффективности дана только с использованием показателей π_{10} и π_{11}. Для этого, перемножив π_{10}^{-1} и π_{11}, получили:

$$\pi_{УПТ} = \frac{I_{уд} \cdot Q_{п}^{3}}{p_{п} \cdot \nu \cdot M_{п}^{2}} \quad . \qquad (4.1)$$

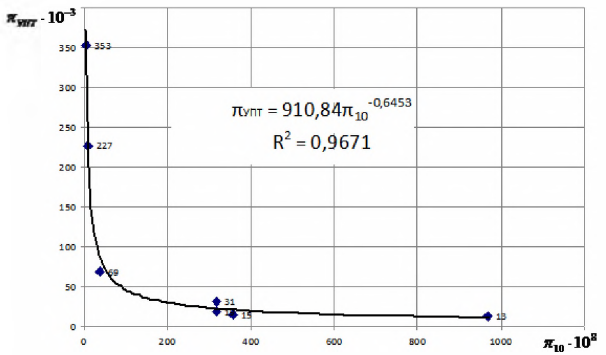


Рисунок 4.1 - Зависимость коэффициента технической эффективности установок порошкового тушения ($\pi_{УПТ}$) от удельного расхода аэрозоля (π_{10})

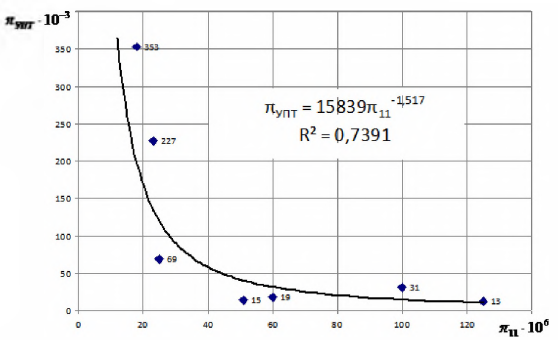


Рисунок 4.2 - Зависимость коэффициента технической эффективности установок порошкового тушения ($\pi_{УПТ}$) от удельной дальности полета аэрозоля (π_{11})

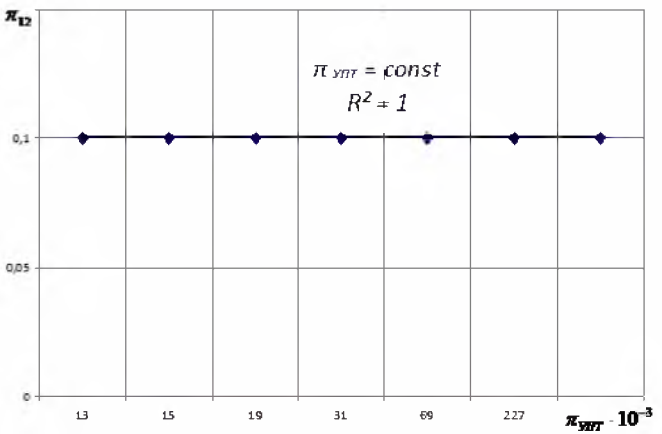


Рисунок 4.3 - Зависимость коэффициента технической эффективности установок порошкового тушения ($\pi_{УПТ}$) от удельного остатка массы аэрозоля (π_{12})

Уравнение 4.1, для понимания сущности процесса, преобразовано к следующему виду [70]:

$$\pi_{УПТ} = \frac{L_n \cdot Q_n}{p_n \cdot \nu \cdot M_n^2} + \frac{1}{Q_n^2} = \frac{I_k}{I_0} \quad (4.2)$$

В уравнении (4.2), в соответствии с сущностью механизма истечения ОТВ, представлены:

величина $I_n \cdot Q_n = I_к$, - импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени;

величина $\frac{p_n \cdot \nu \cdot M_n^2}{Q_n^2} = I_0$ - импульс ОТВ при истечении из УПТ (на срезе лафетного ствола).

В этом случае можно утверждать, что величина комплексного показателя $\pi_{УПТ}$ характеризует потенциальную возможность УПТ: и чем она выше, тем эффективнее УПТ.

Для практического применения уравнения 4.2 необходимо знать величины импульсов при истечении огнетушащего порошка из УПТ (на срезе лафетного ствола) и долетевшего в точку гашения пламени.

Первая величина может быть рассчитана на основе характеристик завода-производителя УПТ. Трудности возникают при определении импульса ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени. В этом случае необходимы экспериментальные данные. Такие данные известны нам только для случая тушения горящих фонтанов на нефтегазовых промыслах [71, 72]. Поэтому апробация предложенного подхода первоначально проведена для этого случая, а затем полученные результаты распространены на тушение пожаров на объектах транспорта.

4.2 Тушение пожаров на газовых и нефтяных месторождениях

В процессе бурения скважин на газовых и нефтяных месторождениях иногда происходит открытое фонтанирование, сопровождающееся пожарами.

На основе зависимости (4.2) и известных данных [71] о величинах импульса порошка для тушения факелов нефти и газа ($I_{ф}$ - $Q_{ф}$), путем сравнения установок пожарных автомобилей ($I_{п}$ - $Q_{п}$) решены две практические задачи:

- определены области возможного применения УПТ для тушения пожара факелов соответствующего дебита;
- проведена сравнительная оценка (ранжирование) технической эффективности УПТ.

В обоих случаях приняты значения характеристик факела (таблица 4.2) на основе следующих предпосылок:

$I_{ф}$= 60 м (по условиям безопасного удаления техники и людей от горящего факела) [72];

$Q_ф$ – необходимый расход ОТВ в точке гашения пламени при продолжительности тушения 30 с (по данным таблицы 4.2).

Таблица 4.2 – Потребность в ОТВ для тушения пожара горящих фонтанов газа и нефти [71]

Дебит фонтана газа (млн м^3/сут) или нефти (тыс.м^3/сут)	0,5	1	2	3	4	5	6	7
Требуемая масса порошка для тушения фонтана $M_п$, кг	55	130	250	430	690	1020	1460	2000
Необходимый расход порошка, $Q_ф$, кг/с	1,8	4,3	8,3	14,3	23	34	48,7	66,7
Требуемый импульс порошка на тушение пожара факела, $L_ф \cdot Q_ф$, (кг· м/с)	108	258	498	858	1380	2040	2922	4002

Величины $Q_п$ и $I_п$ марок АП приведены во второй главе диссертационного исследования (таблица 2.4.). В таблице 4.3 представлены расчетные значения импульса порошка УПТ пожарных автомобилей порошкового тушения.

Таблица 4.3 – Характеристики УПТ АП по величине импульса порошка [71]

Показатели	Характеристики УПТ АП						
	АП-5000 (53215)	АП-5000 -60 (53215)	АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	АП-1000-40 (5301 БО)	АП-5 (53213), мод. 196	АП-4 (43105), мод. 222	АП-3 (130) мод. 148-А
Запас порошка M_n, кг	5000	5000	5000	1000	6300	4000	3100
Импульс порошка $L_n \cdot Q_n$, (кг·м/с)	1600	1500	2500	1400	1200	3600	1280

Оценка технической эффективности УПТ АП представлена таблицей 4.4, в которой (на основе сравнения величин импульсов) показаны области возможного и нецелесообразного их применения.

Таблица 4.4 – Возможные области применения УПТ АП для тушения пожаров горящих факелов нефти и газа

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Характеристики УПТ АП</td><td colspan="8">Дебит фонтана газа (млн. м^3/сут) или нефти (тыс.м^3/сут)</td></tr>
<tr><td>0,5</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td colspan="8">Требуемый импульс порошка для тушения пожара фонтана, $I_{ф} \cdot Q_{ф}$, (кг ·м)/с</td></tr>
<tr><td>Марки АП</td><td>Импульс $I_{п} \cdot Q_{п}$, (кг ·м)/с</td><td>108</td><td>258</td><td>498</td><td>858</td><td>1380</td><td>2040</td><td>2922</td><td>4002</td></tr>
<tr><td>АП-5000 (53215)</td><td>1600</td><td colspan="5">Применение возможно</td><td colspan="3">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-5000 -60 (53215)</td><td>1500</td><td colspan="5">Применение возможно</td><td colspan="3">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-5000 (53215), мод. ПМ-567</td><td>2500</td><td colspan="6">Применение возможно</td><td colspan="2">Примене-ние нецелесо-образно</td></tr>
<tr><td>АП-1000-40 (5301 БО)</td><td>1400</td><td colspan="5">Применение возможно</td><td colspan="3">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-5 (53213), мод. 196</td><td>1200</td><td colspan="4">Применение возможно</td><td colspan="4">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-4 (43105), мод. 222</td><td>3600</td><td colspan="7">Применение возможно</td><td>не цел.</td></tr>
<tr><td>АП-3 (130) мод. 148-А</td><td>1280</td><td colspan="4">Применение возможно</td><td colspan="4">Применение нецелесообразно</td></tr>
</table>

Результаты сравнения УПТ АП по величине отношения импульсов дано на рисунке 4.4.

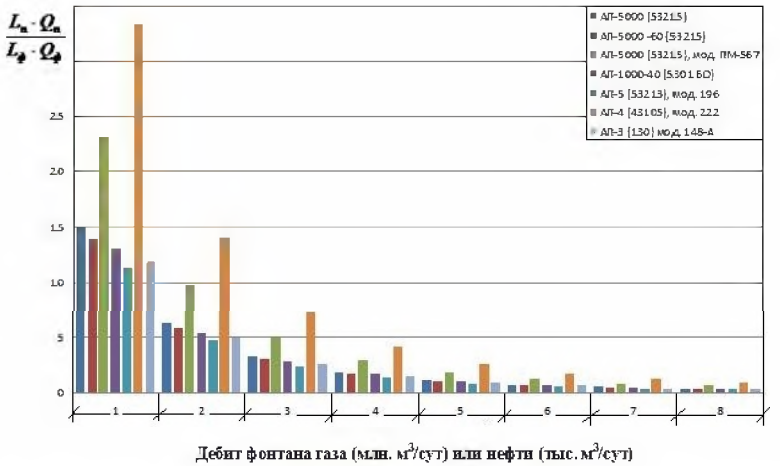


Рисунок 4.4 – Ранжирование УПТ АП по эффективности тушения газа (нефти)

Результаты расчётов $(L_n Q_n)/(L_\phi Q_\phi)$ различных марок АП представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчётные значения отношения импульсов УПТ пожарных автомобилей ($I_{п} \cdot Q_{п}$) и факелов нефти ($I_{ф} \cdot Q_{ф}$)

Марки АП	Дебит фонтана газа (млн. м^3/сут) или нефти (тыс.м^3/сут)							
	0,5	1	2	3	4	5	6	7
АП-5000 (53215)	14,81	6,20	3,21	1,86	1,16	0,78	0,55	0,40
АП-5000 -60 (53215)	13,89	5,81	3,01	1,75	1,09	0,74	0,51	0,37
АП-5000 (53215), мод. ПМ-567	23,15	9,69	5,02	2,91	1,81	1,23	0,86	0,62
АП-1000-40 (5301 БО)	12,96	5,43	2,81	1,63	1,01	0,59	0,48	0,35
АП-5 (53213), мод. 196	11,11	4,65	2,41	1,40	0,87	0,59	0,41	0,30
АП-4 (43105), мод. 222	33,33	13,95	7,23	4,20	2,61	1,76	1,23	0,90
АП-3 (130) мод. 148-А	11,85	4,96	2,57	1,49	0,93	0,63	0,44	0,32

4.3 Тушение пожаров на нефтебазах магистральных трубопроводов

Установки порошкового тушения предназначены для защиты опасных производственных объектов, в частности, резервуарных парков нефти и нефтепродуктов, оснащаемых резервуарами различных типов. Из них наиболее пожароопасными считают резервуары типа РВС со стационарной крышей (таблица 4.6). На наземных резервуарах типа РВС в России за 20 лет произошло 93,3% пожаров и аварий.

Таблица 4.6 - Геометрические размеры РВС со стационарной крышей [74]

№ п/п	Тип	Высота H, м	Диаметр, D, м
1	2	3	4
1	РВС-1000	9	10,43
2	РВС-2000	12	15,18
3	РВС-3000	12	18,98
4	РВС-5000	12	22,80
5	РВС-5000	15	20,92
6	РВС-10000	12	34,20
7	РВС-10000	18	28,50
10	РВС-20000	12	47,40
11	РВС-20000	18	39,90
12	РВС-30000	18	45,60
13	РВС-40000	18	56,90
14	РВС-50000	18	60,70

Согласно [75], РВС со стационарной крышей размещают группами, в замкнутых обвалованиях, допустимая общая номинальная вместимость которых

не должна превышать 80000 м^3 (с единичным номинальным объемом резервуара – 50000 м^3). Расчетный объем разлившейся жидкости в обваловании должен быть не менее объема наибольшего резервуара этой группы.

На рисунках 4.5-4.7 представлены варианты размещения резервуаров в обвалованиях.

Эти варианты считают основными, потому что из них формируют обвалования на 4 и более резервуаров.

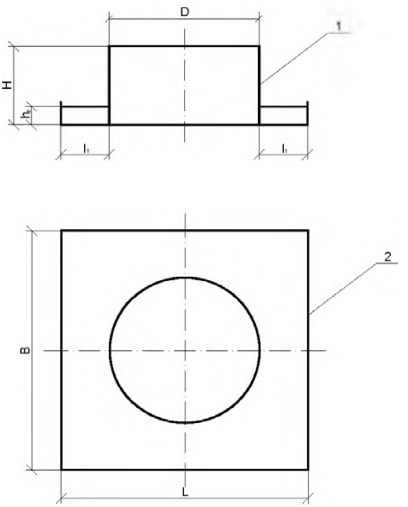


Рисунок 4.5 – Расположение одиночного резервуара в обваловании:

1- резервуар, 2- контур обвалования, D – диаметр резервуара, H –высота резервуара, h_p – расчетная высота обвалования, l_1 – расстояние от стенок резервуара до подошвы внутренних откосов обвалования, L – длина обвалования, B – ширина обвалования

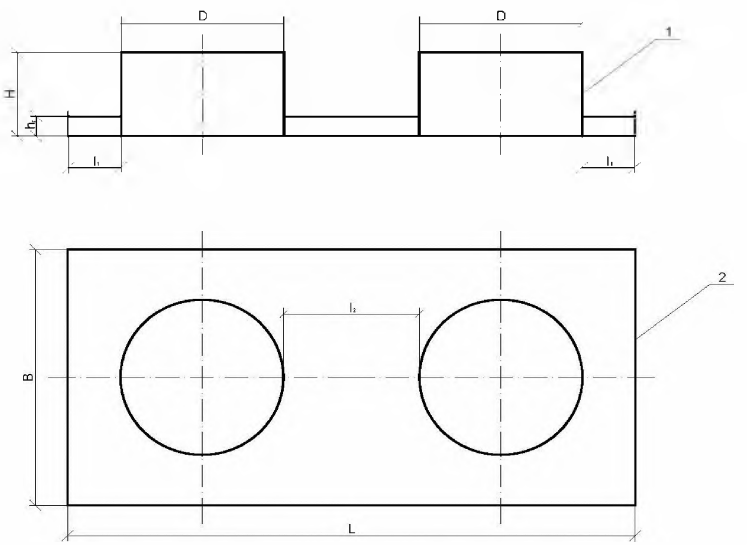


Рисунок 4.6 – Расположение двух резервуаров в обваловании:

1- резервуар, 2- контур обвалования, D – диаметр резервуара, H –высота резервуара, h_p – расчетная высота обвалования, l_1 – расстояние от стенок резервуара до подошвы внутренних откосов обвалования, l_2 – минимальное расстояние между резервуарами, располагаемыми в одной группе, L – длина обвалования, B – ширина обвалования

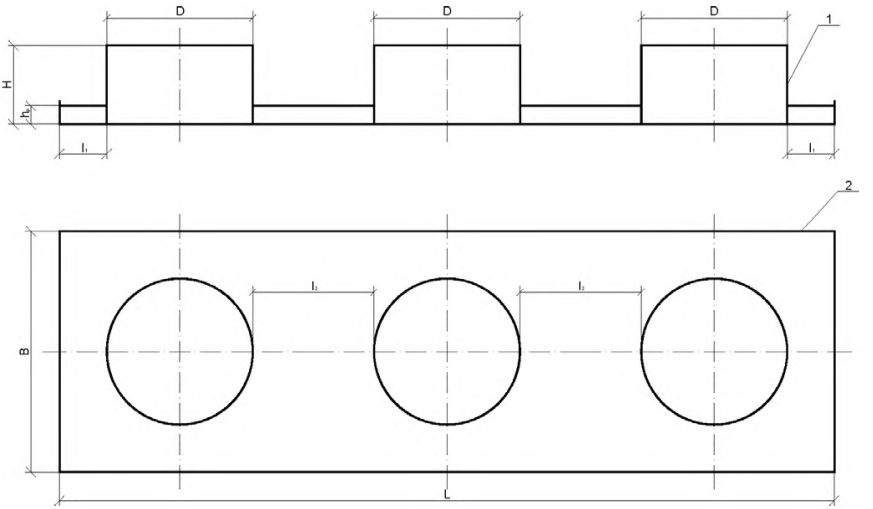


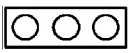
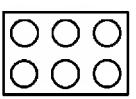
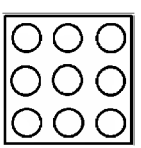
Рисунок 4.7 – Расположение трех резервуаров в обваловании:

1- резервуар, 2- контур обвалования, D – диаметр резервуара, H –высота резервуара, h_p – расчетная высота обвалования, l_1 – расстояние от стенок резервуара до подошвы внутренних откосов обвалования, l_2 – минимальное расстояние между резервуарами, располагаемыми в одной группе, L – длина обвалования, B – ширина обвалования

Расчетные характеристики обвалований для резервуаров представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Характеристики обвалований для резервуаров

Количество резервуаров в обваловании, ед	Схема расположения резервуаров в обваловании	Тип резервуара	Минимальная высота обвалования $h_{обв}$, м [74-75]	Минимальная расчетная площадь обвалования $S_{обв}$, м^2
1		РВС-1000	1,0	1000
		РВС-2000		2000
		РВС-3000		3000
		РВС-5000		5000
		РВС-10000	1,5	6667
		РВС-20000		13333
		РВС-30000		20000
		РВС-40000		26667
		РВС-50000		33333
2		РВС-1000	1,0	1085
		РВС-2000		2181
		РВС-3000		3283
		РВС-5000		5408
		РВС-10000	1,5	7585
		РВС-20000		15097
		РВС-30000		21632
		РВС-40000		29208

Количество резервуаров в обваловании, ед	Схема расположения резервуаров в обваловании	Тип резервуара	Минимальная высота обвалования $h_{обв}$, м [74-75]	Минимальная расчетная площадь обвалования $S_{обв}$, м^2
3		РВС-1000	1,0	1171
		РВС-2000		2362
		РВС-3000		3566
		РВС-5000		5816
4		РВС-1000		1256
		РВС-2000		25423
		РВС-3000		3848
		РВС-5000		6224
		РВС-10000	1,5	11257
		РВС-20000		20278
6		РВС-1000	1,0	1836
		РВС-2000		3549
		РВС-3000		5319,5
		РВС-5000		7461
9		РВС-1000	1,0	2802,
		РВС-2000		5523
		РВС-3000		8354
		РВС-5000		11794

Оценка эффективности УПТ АП проведена расчетным методом для сценария горения пролива в обваловании (вследствие полного разрушения в нем резервуара с нефтью или нефтепродуктом).

При реализации рассматриваемого сценария на основе зависимости (4.2), путем сравнения импульсов УПТ АП ($I_н \cdot Q_н$) и пожара пролива ($J_н \cdot V_н$) углеводородных топлив, можно определить области возможного применения УПТ АП для тушения проливов на соответствующей площади.

В расчетах приняты следующие значения величин:

$L_ф$ = 60 м – безопасное удаление техники и людей от горящего пролива [72];

$Q_ф$ – необходимый расход ОТВ (кг/с) в точке гашения пламени, при продолжительности тушения 30 с [73];

$V_н$ – номинальный объем резервуаров РВС со стационарной крышей, как наиболее пожароопасных, в соответствии с требованиями [74];

$J_н$ = 0,35 кг/(м^2·с) – интенсивность подачи порошка при тушении пожара пролива углеводородных топлив по [76].

Характеристики проливов нефти в обваловании и ОТВ представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Взаимосвязь объема пролива углеводородных топлив в обваловании и требуемого импульса порошка на его тушение (на примере размещенного в нем одного РВС)

Объем углеводородных топлив в обваловании $V_н$, м^3	1000	2000	3000	5000	10000	20000	30000	40000	50000
Требуемый импульс порошка на тушение пролива углеводородных топлив, $J_н \cdot V_н$, (кг·м)/с	350	700	1050	1750	3500	7000	10500	14000	17500

Технические характеристики УПТ АП (по величине импульса) приведены ранее в таблице 4.3.

Результаты оценки эффективности УПТ АП представлены в таблице 4.9, в которой (на основе сравнения величин импульсов) показаны области возможного и нецелесообразного применения УПТ АП для тушения пожара пролива нефти в обваловании резервуара.

Таблица 4.9 – Возможные области применения УПТ АП для тушения пожара пролива нефти в обваловании резервуара

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Характеристики УПТ АП</td><td colspan="9">Объем нефти в обваловании, м^3</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>2000</td><td>3000</td><td>5000</td><td>10000</td><td>20000</td><td>30000</td><td>40000</td><td>50000</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="9">Импульс порошка на тушение пожара пролива нефти, $J_n \cdot V_н$, (кг·м)/с</td></tr>
<tr><td>Марки АП</td><td>Им-пульс $L_n \cdot Q_n$, (кг·м)/с</td><td>350</td><td>700</td><td>1050</td><td>1750</td><td>3500</td><td>7000</td><td>10500</td><td>14000</td><td>17500</td></tr>
<tr><td>АП-5000 (53215)</td><td>1600</td><td colspan="3">Применение возможно</td><td colspan="7">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-5000 -60 (53215)</td><td>1500</td><td colspan="3">Применение возможно</td><td colspan="7">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-5000 (53215), мод. ПМ-567</td><td>2500</td><td colspan="5">Применение возможно</td><td colspan="5">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-1000-40 (5301 БО)</td><td>1400</td><td colspan="3">Применение возможно</td><td colspan="7">Применение нецелесообразно</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Характеристики УПТ АП</td><td colspan="9">Объем нефти в обваловании, м^3</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>2000</td><td>3000</td><td>5000</td><td>10000</td><td>20000</td><td>30000</td><td>40000</td><td>50000</td></tr>
<tr><td colspan="9">Импульс порошка на тушение пожара пролива нефти, $J_n \cdot V_n$, (кг·м)/с</td></tr>
<tr><td>Марки АП</td><td>Им-пульс $L_n \cdot Q_n$, (кг·м)/с</td><td>350</td><td>700</td><td>1050</td><td>1750</td><td>3500</td><td>7000</td><td>10500</td><td>14000</td><td>17500</td></tr>
<tr><td>АП-5 (53213), мод. 196</td><td>1200</td><td colspan="3">Применение возможно</td><td colspan="6">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-4 (43105), мод. 222</td><td>3600</td><td colspan="5">Применение возможно</td><td colspan="4">Применение нецелесообразно</td></tr>
<tr><td>АП-3 (130) мод. 148-А</td><td>1280</td><td colspan="3">Применение возможно</td><td colspan="6">Применение нецелесообразно</td></tr>
</table>

Из полученных данных видно, что оценка эффективности УПТ АП для тушения пожаров пролива нефти в обваловании резервуара дана в нечетких терминологических формулировках «Применение возможно» и «Применение нецелесообразно». Это объясняется тем, что импульс аэрозоля (движущегося ОТВ) оценен только по скалярной величине, но фактически он является векторной величиной. Поэтому в реальной обстановке (с учетом температуры и давления окружающей среды, направления ветра, качественного состояния и расположения техники на местности, навыков личного состава в тушении пожаров этого типа, правильности оценки руководителем тушения пожара степени опасности ситуации и др.) эффективность техники может быть иной и, как правило, меньшей.

4.4 Тушение пожаров на объектах железнодорожного транспорта

Экономическая целесообразность привела к необходимости осуществления налива нефтепродуктов в железнодорожные цистерны с применением автоматизированных установок тактового налива (АУТН) [69].

Поскольку процесс налива цистерн – пожароопасный, его защищают средствами пожаротушения. По этой причине в составе АУТН предусмотрены меры превентивного предупреждения аварийных и пожароопасных ситуаций:

пункт аварийного слива неисправных цистерн, включающий подземный резервуар, насосы, рукава нижнего и верхнего слива (по одному устройству на каждом пути эстакады). Слив неисправной цистерны осуществляют через нижний сливной прибор или через горловину цистерны, в зависимости от вида неисправности. Продукты откачивают из цистерны самовсасывающим винтовым насосом в резервуары с соответствующим продуктом;

контейнер пожаротушения с оборудованием и автоматикой управления пожаротушением. Защиту железнодорожных цистерн в зоне налива осуществляет автоматическая стационарная система газового (углекислый газ, азот или др. нейтральный газ) или порошкового пожаротушения (с подачей огнегасящего вещества непосредственно в горловину цистерны на слой нефтепродукта при закрытой герметичной крышке). Для охлаждения железнодорожных цистерн, конструкций станции, наливного коллектора и остекления помещения управления при пожаре используют автоматическую систему водяного орошения по всей наружной поверхности АУТН.

По официальным данным МЧС России в 2014 году на железнодорожном транспорте произошло 135 пожаров, вследствие чего было уничтожено 12 и повреждено 122 единицы железнодорожного подвижного состава [77].

По статистике в 2014 году на открытых технологических установках произошло 223 пожара, в том числе в наружных технологических установках – 118; в ёмкостях, резервуарах и бункерах – 90; на открытых эстакадах и галереях – 15 [5].

Эти данные показывают, что актуальной научной и производственной задачей является совершенствование систем пожарной безопасности и противопожарной защиты объектов транспорта и открытых технологических установок.

Для локализации и тушения пожаров на открытых технологических установках используют компактные и распыленные струи воды, воздушно-механическую пену низкой и средней кратности, газоводяные струи и порошковые составы.

Общий вид типовой АУТН железнодорожных цистерн представлен на рисунке 4.8. Как правило, АУТН имеют два пути подачи цистерн, что обеспечивает одновременный налив 4-х четырехосных цистерн грузоподъемностью 60 тонн (по две цистерны с каждой стороны) или 2-х восьмиосных цистерн грузоподъемностью 120 тонн (по одной цистерне с каждой стороны). Цистерны наливают одну за другой «на одном месте» (без отцепления).

Цистерны перемещают с помощью маневрового устройства в такт налива; при этом происходит точное позиционирование поданной под налив цистерны на середине соответствующей платформы вагонных весов каждого железнодорожного пути [69].

Расчётная оценка пожарного риска для эстакады тактового налива светлых нефтепродуктов подробно изложена в работе [78], где:

максимальное значение потенциального пожарного риска на площадке налива эстакады составило $2{,}9 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$;

максимальное значение потенциального пожарного риска для помещений производственного здания эстакады – $7{,}7 \cdot 10^{-6}$ год$^{-1}$;

максимальная величина индивидуального пожарного риска для персонала – $5{,}2 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

В этой же работе определен индивидуальный пожарный риск (обусловленный возможными пожарами на территории эстакады) для населения, который составил не более $3{,}6 \cdot 10^{-7}$ год$^{-1}$.

В нашем случае рассмотрена оценка опасности АУТН при разгерметизации железнодорожной цистерны и пролива нефтепродуктов с целью определения условий работы личного состава и эффективности тушения АП (с учетом соблюдения расстояний для подачи огнетушащего порошка в очаг пожара).

Расчётная схема для определения объема пролива нефтепродукта из железнодорожных цистерн представлена на рисунке 4.8.

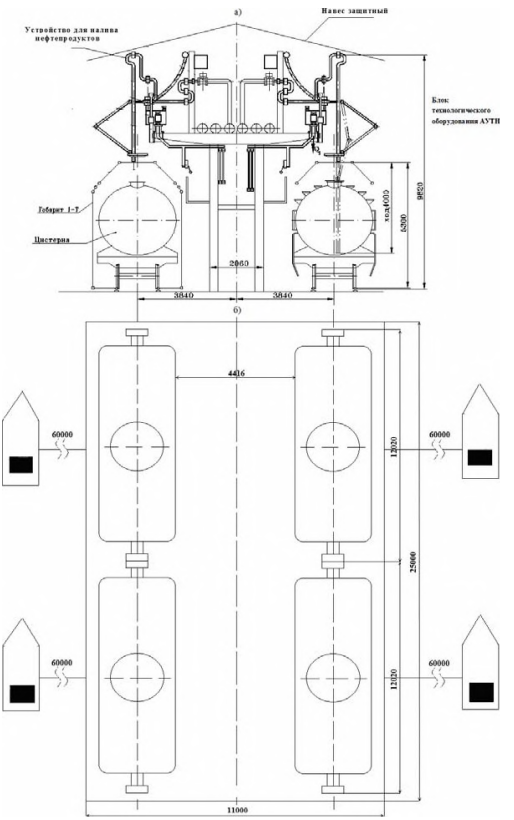


Рисунок 4.8. АУТН нефтепродуктов в железнодорожные цистерны (площадь тушения $S_{туш}$=275 м^2)

где

а) – поперечное сечение по горловине железнодорожной цистерны;

б) – вид сверху.

Для определения условной вероятности сценария аварии использован метод построения логических деревьев событий [79].

Частичное или полное разрушение цистерны, группы цистерн (в случае их схода) со светлыми нефтепродуктами → поступление нефтепродуктов в окружающую среду → образование и распространение пролива нефтепродуктов и его частичное испарение → образование взрывоопасной концентрации паров нефтепродукта в воздухе → воспламенение паров нефтепродукта и/или пролива нефтепродукта при наличии источника зажигания → сгорание топливовоздушной смеси → пожар разлития → попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя, токсичные продукты исходного выброса либо продукты горения) людей, оборудования, зданий, сооружений, соседних цистерн → последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества, в т.ч. взрывы соседних цистерн → локализация и ликвидация разлития (пожара).

При расчете критериев взрывопожарной опасности в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо -, паро-, пылевоздушных смесей участвует наибольшее количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей [80].

С учётом коэффициента заполнения (К=0,85) объем железнодорожной цистерны принимаем 60 м^3.

Для того чтобы оценить опасность АУТН, рассмотрим пожароопасную аварийную ситуацию, а именно полную разгерметизацию цистерны 60 м^3 с нефтепродуктами. Площадь тушения в таком случае, составит от 150 м^2 (при однорядном пути) до 275 м^2 (при двурядном пути).

Частоты реализации пожароопасных ситуаций для оборудования, входящего в состав АУТН, принимают согласно [79, таблицы *П* 1.1, *П* 1.2].

При расчёте избыточного давления и импульса в волне давления при взрыве одной из цистерн показало, что потери будут минимальными, так как значение пробит-функции оказалось отрицательным.

Интенсивность теплового излучения пожара для рассматриваемой ситуации, связанной с возникновением пожара пролива бензина рассчитывалась по методу, приведённому в [79, раздел *VI*, приложение 3]. Данный метод позволил рассчитать интенсивность теплового излучения q пожара пролива заданного горючего продукта с очагом (проливом) заданной площади S на различных расстояниях от очага пожара. При расстоянии от геометрического центра пролива до облучаемого объекта в 10 м величина q получилась более 4 кВт/м^2. Из чего следует, что при работе (в целях безопасности) нужно находиться в брезентовой одежде [79, приложение 4, табл. *П* 4.4]. При уменьшении расстояния (1 м) вероятность поражения человека тепловым излучением составляет 48 %.

При определении объема пролива нефтепродуктов железнодорожных цистерн принято:

$S_{туш} = 275\ м^2$ – площадь тушения, занимаемая 4-мя железнодорожными цистернами;

$J_п$ = 0,35 кг/(м^2·с) – интенсивность подачи порошка при тушении пролива нефтепродукта [76];

$\upsilon_{выг} = 0,3\ м/ч = 8,3 \cdot 10^{-5}\ м/с$ – линейная скорость выгорания нефтепродукта [71];

$\upsilon_{р.п} = S_{туш} \cdot J_п = 275 \cdot 0,35 = 96,3\ кг/с$ – требуемый расход массы порошка, подаваемый в очаг пожара;

L= 60 м - безопасное расстояние техники и людей от горящего факела [72].

Следовательно за 1 час выгорит: $M = \upsilon_{выг} \cdot S_{тушл} = 0,3 \cdot 275 = 83\ м^3/ч$, что соответствует суточному дебиту фонтана от 0,5 до 2 тыс.м^3/сут.

Таким образом, за сутки выгорит: $M = 83 \cdot 24 = 1992\ м^3/сут \approx 2\ тыс.\ м^3/сут$.

Согласно таблице 4.2 (п. 4.2) необходимый расход порошка для тушения АУТН составляет до 8,3 кг/с, требуемая масса порошка для тушения

железнодорожных цистерн - до 250 кг, а требуемый импульс порошка на тушение составит до 498 (кг·м/с).

Защиту железнодорожных цистерн в зоне налива осуществляет автоматическая стационарная система газового (углекислый газ, азот или др. нейтральный газ) или порошкового пожаротушения (с подачей огнегасящего вещества непосредственно в горловину цистерны на слой нефтепродукта при закрытой герметичной крышке).

Для охлаждения железнодорожных цистерн, конструкций станции, наливного коллектора и остекления помещения управления при пожаре используют автоматическую систему водяного орошения по всей наружной поверхности АУТН.

Исходя из выше изложенного, следует, что при тушении АУТН возможно применение всех марок АП, представленных в данной работе.

Выводы по главе

1. Для оценки эффективности установок порошкового тушения целесообразно использовать комплексный показатель $\pi_{УПТ}$, величина которого характеризует потенциальную возможность УПТ (чем выше этот показатель, тем эффективнее УПТ).

2. Определены области возможного и нецелесообразного применения УПТ АП, которые могут быть использованы при отработке типажа средств пожаротушения для горящих газовых и нефтяных фонтанов, пожаров проливов нефти и нефтепродуктов в обваловании, разработке технических требований на проектирование конкретных образцов УПТ и подборе образцов АП для защиты действующих опасных объектов нефтегазовой отрасли.

Заключение

На основе анализа и обобщения изложенных материалов сделаны следующие выводы и практические предложения:

1. Перечень и структура комплексных показателей технической эффективности, сформированные методами аналогии и анализа размерностей, могут быть применены ко всем существующим маркам АП и их УПТ. Для достижения максимальной эффективности АП, необходимо уменьшение значений мощности двигателя, полной массы и длины автомобиля, остатка огнетушащего порошка.

2. Перечень и структура комплексных показателей технической эффективности позволяют проводить сравнительную оценку (ранжирование) АП и определять области применения для тушения пожаров путём сравнения импульсов истечения порошка и горящей нефти (или нефтепродуктов).

3. Разработанная модель установки порошкового тушения АП обеспечивает выполнение новых, не свойственных ранее известным конструкциям, функций диагностирования технического состояния оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности совершенствования практических навыков личного состава, что подтверждено результатами ее оценки на основе методов экспертных оценок и анализа иерархий.

4. Полученные результаты использованы при разработке методики комплексной оценки эффективности АП, что обеспечит объективный выбор лучших из них для тушения пожара или устранения ЧС.

Научную новизну результатов автора исследования подтверждают:

ранее неизвестные теоретические обоснования структуры комплексных показателей и расчетных зависимостей, обобщенно оценивающих техническую эффективность пожарных автомобилей порошкового тушения в целом (таблица 2.3, п.3) и установок порошкового тушения (таблица 2.10, п.4);

патент на полезную модель порошковой установки АП (рис. 2.16), отвечающей требованиям технического диагностирования оборудования,

контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава (уравнение 3.4);

впервые разработанная методика комплексной оценки эффективности АП (приложение А).

Практическая значимость результатов заключена в повышении уровня пожарной безопасности пожароопасных объектов транспорта (за счёт определения области эффективного применения АП) и совершенствовании конструкции АП (модель порошковой установки пожарного автомобиля порошкового тушения обеспечивает техническое диагностирование оборудования, контроль гранулометрического состава порошка и эргономичность освоения техники личным составом).

Результаты исследования учтены и использованы при проведении анализа работы пожарных автомобилей порошкового тушения в гарнизоне пожарной охраны г. Санкт-Петербурга. Применение этой методики позволило повысить объективность оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения при их применении. Основные положения используются в учебном процессе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России при проведении занятий по дисциплине «Пожарная техника».

Список сокращений и условных обозначений

АП – пожарный автомобиль порошкового тушения;

АКТ – пожарный автомобиль комбинированного тушения;

АЦ – пожарная автоцистерна;

ГПС МЧС России – Государственная противопожарная служба Министерства чрезвычайных ситуаций России;

УПТ – установка порошкового тушения;

ПА – пожарный автомобиль;

ОФПС – отряд Федеральной противопожарной службы;

ФПС ГУ МЧС России - Федеральная противопожарная служба Главного управления Министерства чрезвычайных ситуаций России;

ОТВ – огнетушащее вещество;

ОПО – опасный промышленный объект;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ТО – техническое обслуживание;

ВУЗ – высшее учебное заведение;

ПТЦ ФПС – производственно-технический центр Федеральной противопожарной службы;

ОВТ – отдел вооружения и техники;

УМТО – управление материально – технического обеспечения;

КТП – коэффициент технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования и эргономичности обучения личного состава;

РВС – резервуар вертикальный стальной;

УТ – углеводородные топлива;

АУТН – автоматическая установка тактового налива.

Литература

1. Указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Москва. Кремль. 31 декабря 2015 года.

2. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 N 1662-р (ред. от 08.08.2009) «О Концепции долгосрочного социально- экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (вместе с "Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года"). – Москва, 2009.

3. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats (дата обращения 12.02.2015 г.).

4. Пожарная безопасность на транспорте. URL: http://studme.org/1350061428370/bzhd/pozharnaya_bezopasnost_transporte (дата обращения 04.03.2015 г.).

5. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий. ФГБУ ВНИИПО МЧС России, М.: 2015 г.

6. Vaccaro B. In Sharonville, Ohio, Preparedness Includes a Dry Chem Unit // *Fire Rescue*. –2012. – no. 12.URL:http://www.firefighternation.com/article/speccing-and-buying/sharonville-ohio-preparedness-includes-dry-chem-unit (дата обращения 28.01.2016).

7. Vaccaro B. Speccing a Rig for Refinery Firefighting // *Fire Rescue*. 2008. – no.8.URL:http://www.firefighternation.com/article/apparatus-innovations/speccing-rig-refinery-firefighting (дата обращения 29.01.2016).

8. Vaccaro B. At FDIC, Apparatus Manufacturers Introduce New Versions of Best-Selling Models // *Fire Rescue. –2014.* – No. 6.URL:http://www.firefighternation.com/article/speccing-and-buying/fdic-apparatus-manufacturers-introduce-new-versions-best-selling-models (дата обращения 30.01.2016).

9. Дворников А.И. Метод комплексной оценки технических параметров качества пожарных атоцистерн: дис. … канд. тех. наук: 05.26.03/ Дворников А. И. – СПб., 2001. – 145 с.

10. Экономика. Толковый словарь. – М.: «ИНФРА-М», Издательство «Весь Мир». Дж. Блэк. Общая редакция: д.э.н. Осадчая И.М., 2000.

11. Маркова Н.Б., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Порошковая установка пожарного автомобиля порошкового тушения. Патент 140916, Российская Федерация, МПК А 62 С 27/00, №2014100440/12; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.05.2014, Бюл. №14. – 5 с.: ил.

12. Абдурагимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения. Научно-технический журнал «Пожаровзрывобезопасность», № 4 -2012 г., с.60-82.

13. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы.-М.: Стройиздат, 1982. – 72 с., ил.

14. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько.- М.: Академия ГПС МЧС России, 2004.-550 с.

15. Донской А.П., Захаров М.П., Щербаков М.Ф. Пожарные автомобили. Учебное пособие для пожарно-технических училищ. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1975, 336 с.

16. Исавнин Н.В. Средства порошкового пожаротушения. – М.: Стройиздат, 1983. – 158 с.

17. Самохвалов Ю.П. Приспособленность пожарных автомобилей основного назначения к работе пожарных: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.26.03/ Самохвалов Юрий Петрович. – М., 2007. – 24 с.

18. Приказ МЧС России от 05.05.2008 №240 года «Об утверждении порядка привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, гарнизонов пожарной охраны для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (приложение №1), М., 2008.

19. ГОСТ Р 53248-2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей – М: Стандартинформ, 2009 с.2.

20. Методические рекомендации по организации практик (стажировок) профессорско-преподавательского состава, слушателей, курсантов и студентов образовательных учреждений Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, утверждённые заместителем Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, М., 2011.

21. Стандарт организации. Положение о практике курсантов, слушателей и студентов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, СПб У ГПС МЧС России, 2016 г.

22. Проблемы пожарной безопасности. Сборник научных трудов. – СПб.: СПб ВПТШ МВД РФ, 1992.

23. Национальная справочно-информационная служба в области пожарной безопасности, №1 (52), 2014 г.

24. Автомобиль порошкового тушения пожарный АП-5000-40 (53213) ПМ-567. Руководство по эксплуатации ПМ-657.00.00.00 РЭ. ОАО «Пожтехника», г. Торжок, 2000.

25. Абдурагимов И.М., Куцин П.В., Налётов В.С. и др. Тушение пожаров горючих газов и жидкостей // Газовая промышленность. – 1987. – Вып.6.

26. ГОСТ 27.001-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Основные положения.

27. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения.

28. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

29. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий М.: Институт испытаний и сертификации вооружений и военной техники, 2004 - 472 с.

30. ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

31. ГОСТ Р 54500.3-2011./Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределённости измерения.

32. Автомобиль порошкового тушения пожарный АП-5000-40(53213) ПМ-567 (ОАО «Пожтехника», Формуляр ПМ-567.00.00.00 ФО), г. Торжок, 2000 г.

33. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения.

34. ПБ 03-567-03. Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением. М.: ПИО ОБТ, 2003.

35. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1968. – 440 с.

36. Чепурин М.Н., Киселева Е.А. (ред.) Курс экономической теории. 6 – е исправленное, дополненное и переработанное издание – Киров: АСА, 2009. – 848 с.

37. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: 1977 г.

38. Попова Т.К., Кусмарцева Н.В. Методические указания по расчету экономической эффективности. М.: 2003 г.

39. URL: http://www.kamaz.ru/ (дата обращения 06.04.2016 г.).

40. Приказ Минфина России от 06.12.2010 N 162н (ред. от 30.11.2015) "Об утверждении Плана счетов бюджетного учета и Инструкции по его применению" (Зарегистрировано в Минюсте России 27.01.2011 N 19593) (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.01.2016).

41. Математико-статистические методы экспертных оценок.-2-е изд., перераб. и доп.-М.:Статистика, 1980.- 263с., ил.

42. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. II Всероссийская конференция пользователей MATLAB, 25-26 мая 2004 года.

43. Медведева О.М. Оценка техногенной безопасности станций заправки жидким моторным топливом наземных транспортных средств: дис. … канд. тех. наук: 05.26.03/ Медведева Ольга Марленовна. - СПб., 2012. - 132 с.

44. Мороз Н.А. Методика анализа и обработки информации при экспертной оценке проектов резервуаров для нефти и нефтепродуктов: дис. … канд. тех. наук: 05.13.01 / Мороз Наталья Александровна. - СПб., 2009. - 122 с.

45. 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.

46. 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.

47. ГОСТ Р 53328-2009. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.

48. НПБ 170-98. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний.

49. Казанцев Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, дополненное и переработанное, М., «Металлургия», 1975. – 368 с.

50. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по взрывозащите горных выработок (для студентов специальности 7.090303). Сост.: Шевцов Н.Р. – Донецк: ДонГТУ, 2001. – 52 с.

51. Михеев М.А, Михеева И.М. Основы теплопередачи. Учебник для вузов. М., «Энергия», 1977, 343 с.

52. Крылов Д.А., Кожевин Д.Ф., Маркова Н.Б., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Установка порошкового тушения. Патент 150430, Российская Федерация, МПК А 62 С 13/00, №2014124877/12; заявл. 18.06.2014; опубл. 20.02.2015, Бюл. №5. – 11 с.: ил.

53. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980, 263 с.

54. Т. Саати. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе. Москва «Радио и связь», 1993.

55. URL: http://www.firefighternation.com/article/training-0/preventative-measures (дата обращения 30.04.2016 г.).

56. URL: http://www.firefighternation.com/article/apparatus-innovations/latest-arff-apparatus-technology (дата обращения 30.04.2016 г.).

57. Программа подготовки личного состава подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России, М., 2003 г.

58. Приказ ГУГПС МВД России от 28 декабря 1995 года №40 «Об утверждении Программы подготовки личного состава подразделений ГПС МВД России».

59. ГОСТ 4.107-83 СПКП. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей (с Изменением №1).

60. Приказ МВД России от 24.01.1996 №34 «Об утверждении Наставления по технической службе государственной противопожарной службы МВД России».

61. Метод экспертных оценок. URL: http://www.4analytics.ru/metodi-analiza/metod-ekspertnix-ocenok.html (дата обращения 23.08.2015 г.).

62. Выбор материала с помощью функции желательности Харрингтона: Методическое указание/ Сост.: В.Д. Секерин, В.Н. Ясонов, Д.В. Секерин; М.: МГУИЭ. – 21 с.

63. В.С. Звонов, А.Н. Иванов, А.С. Поляков и др. Физика. Физические измерения: Учебно-методическое пособие / Под общей редакцией В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2004.

64. Мороз Н.А., Иванов А.Н., Поляков А.С. Методика экспертной оценки техногенной безопасности проекта резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Вестник СПб института ГПС МЧС России №4 (15), 2006.

65. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*.

66. СП 125.13330.2012 Нефтепродуктопроводы, прокладываемые на территории городов и других населённых пунктов. Актуализированная редакция СНиП 2.05.13-90.

67. СП 153.13130.2013 Инфраструктура железнодорожного транспорта. Требования пожарной безопасности. М.:2013.

68. ВУП СНЭ-87. Ведомственные указания по проектированию железнодорожных сливо-наливных эстакад легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и сжиженных углеводородных газов. М.: 1987.

69. УП АУТН-96. Указания по проектированию автоматизированных установок тактового налива светлых нефтепродуктов в железнодорожные и автомобильные цистерны, утв. Госгортехнадзором РФ 28.05.1996, Минтопэнерго РФ от 03.06.1996.

70. Поляков А.С., Звонов В.С., Трубилко А.И. Физика для инженеров пожарной безопасности. Механика. Часть 1. – СПб ИПБ МВД России, 1997.

71. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожара. М., 2004. – 361 с.

72. Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности: ППБО-85 // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ) 2014. № 2 (53).

73. Иванников В.П., Клюс П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат,1987.- 288 с.: ил.

74. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия: ГОСТ 31385-2008 // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБДНСИС ПБ) 2014. №2 (53).

75. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности: // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБДНСИС) 2014. №2 (53).

76. Теребнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожтехника, 2004. С.248.

77. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats (дата последнего обращения 23.03.2016 г.).

78. Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Малкин В.Л., Леончук П.А. Расчетная оценка пожарного риска для эстакады тактового налива светлых нефтепродуктов. Журнал «Пожарная безопасность». 2014. № 2. С. 72-82.

79. Приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. №404 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах» (с изменениями и дополнениями от 14.12.2010 г.).

80. Приказ МЧС России от 25.03.2009 №182 (ред. от 09.12.2010 «Об утверждении свода правил «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

81. Абдурагимов И.М., Куприн Г.Н. Методы, средства и технологии взрывопожаропредотвращения на объектах производства и транспортировки горючих криогенных жидкостей. Журнал «Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация». 2015. № 3. С. 14-25.

Приложение А

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ

(Проект)

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика (далее – Методика) предусматривает комплексную оценку технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения (АП) в целом и его установки порошкового тушения, которая может выпускаться как независимое от шасси промышленное изделие.

1.2 Методика устанавливает порядок комплексной оценки технической эффективности АП на основе единичных показателей сравниваемых образцов техники, указанных в их конструкторской и эксплуатационной документации.

1.3 Методика имеет факультативный характер, ее применяют в дополнение к существующему порядку, установленному ГОСТ Р 53328-2009 «Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний», когда возникают трудности в сравнении образцов техники по единичным показателям.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей методике использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 53247-2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения.

ГОСТ Р 53248-2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей – М: Стандартинформ, 2009.

ГОСТ Р 53328-2009. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.

3 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Единичный показатель- показатель, характеризующий одно из свойств шасси и установки пожарного автомобиля порошкового тушения (АП).

Комплексный показатель- показатель, характеризующий несколько свойств шасси и установки пожарного автомобиля порошкового тушения (АП).

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ

4.1 Показатели комплексной оценки технической эффективности АП

Для комплексной оценки технической эффективности АП применяют следующие показатели:

- удельную массу порошка $\pi_1 = \frac{M_n}{M}$. (А.1)

- удельную дальность полета порошка $\pi_2 = \frac{L_n}{L}$. (А.2)

- эффективную работу АП $\pi_{АП} = \frac{Q_n \cdot p_n \cdot T^3 \cdot M_n \cdot l_n}{N \cdot M \cdot L \cdot \Delta m}$. (А.3)

Наиболее эффективным АП считают тот, у которого значение показателя $\pi_{АП}$ будет наибольшим.

4.2 Исходные данные для расчетов технической эффективности АП

Перечень параметров, необходимых для выполнения расчетов технической эффективности АП:

M – полная масса автомобиля, кг;

L – длина автомобиля, м;

N – мощность двигателя, кВт;

T – пробег, м;

D – удельный расход топлива, $с^2/м^2$;

$M_п$ – масса огнетушащего порошка, кг;

$Q_п$ – расход огнетушащего порошка, кг/с;

$l_п$ – дальность подачи огнетушащего порошка, м;

$p_п$ – рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка, Па;

Δm – остаток огнетушащего порошка, кг.

4.3 Оценка технической эффективности АП

Техническую эффективность АП оценивают по следующему алгоритму:

4.3.1 Рассчитать величину эффективной массы огнетушащего порошка по зависимости А.1.

4.3.2 Рассчитать величину эффективной дальности полета огнетушащего порошка по зависимости А.2.

4.3.3 Рассчитать величину эффективной работы АП по зависимости А.3.

Наиболее эффективным АП следует считать тот, у которого значения показателей будут наибольшими.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ

5.1 Показатели комплексной оценки технической эффективности УПТ

Для комплексной оценки технической эффективности УПТ АП применяют:

- коэффициент технической эффективности

$$\pi_{УПТ} = \frac{l_п \cdot Q_п^{\,3}}{p_п \cdot \nu \cdot M_п^{\,2}} \quad . \qquad (А.4)$$

- коэффициент технической эффективности, выраженный через удельный импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени

$$\pi_{УПТ} = \frac{I_n \cdot Q_n}{p_n \cdot \nu \cdot M_n^2} \cdot \frac{1}{Q_n^{-2}} = \frac{I_k}{I_0} \quad . \qquad (A.5)$$

5.2 Исходные данные для расчетов

ν - кинематическая вязкость аэрозоля, м^2/с;

M_n – масса огнетушащего порошка, кг;

Q_n – расход огнетушащего порошка через лафетный или ручные стволы, кг/с;

L_n – дальность подачи огнетушащего порошка лафетным или ручными стволами, м;

p_n – рабочее давление в сосуде для огнетушащего порошка, Па;

величина $I_n \cdot Q_n = I_k$, - импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени горящего нефтепродукта;

величина $\frac{p_n \cdot \nu \cdot M_n^2}{Q_n^2} = I_0$ - импульс ОТВ при истечении из УПТ (на срезе лафетного ствола).

5.3 Оценка технической эффективности установок порошкового тушения

Эффективность УПТ АП оценивают по следующему алгоритму:

5.3.1 Рассчитать величину коэффициента технической эффективности установок порошкового тушения по зависимости А.4.

5.3.2 Рассчитать по зависимости А.5 величину коэффициента технической эффективности, выраженную через удельный импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени.

Величина комплексного показателя $\pi_{УПТ}$ характеризует техническую эффективность УПТ: и чем она выше, тем эффективнее УПТ.

По величине коэффициента технической эффективности $\pi_{УПТ}$, выраженной через удельный импульс ОТВ, долетевшего в точку гашения пламени (зависимость А.5) можно судить о возможности применения УПТ различных марок АП для тушения пожаров.

6 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОРОШКОВОГО ТУШЕНИЯ К ФУНКЦИЯМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, КОТРОЛЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКА И ЭРГОНОМИЧНОСТИ ОБУЧЕНИЯ ЛИЧНОГО СОСТАВА

6.1 Коэффициент технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава

Для оценки технической приспособленности АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава применяют:

- коэффициент технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава

$$КТП = \frac{\gamma_j \cdot (N_{офi} - x) + \gamma_k \cdot (N_{рфk} - y) + \gamma_m \cdot (N_{офi} - z)}{\gamma_j \cdot N_{офi} + \gamma_k \cdot N_{рфk} + \gamma_m \cdot N_{офi}} \quad (А.6)$$

6.2 Исходные данные для расчетов

$\gamma_j, \gamma_k, \gamma_m$ – веса значимости обязательных (γ_j –1), рекомендуемых (γ_k=0,75) и дополнительных (γ_m = 0,5) функций соответственно;

$N_{офi}$, $N_{рфк}$, $N_{дфi}$ – количество обязательных, рекомендуемых и дополнительных функций соответственно (по данным таблицы 3.4);

x, y, z - количество соответственно обязательных, рекомендуемых и дополнительных функций, отсутствующих в конструкции АП (данные берутся на основе применения технологической схемы АП, путём сравнения различных марок пожарных автомобилей порошкового тушения).

6.3 Оценка технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава

6.3.1 Рассчитать коэффициент технической приспособленности конструкции АП к функциям диагностирования технологического оборудования, контроля гранулометрического состава порошка и эргономичности обучения личного состава по зависимости А.6.

Наиболее эффективным АП следует считать тот, у которого значение показателя будет наибольшим.

Приложение Б

УТВЕРЖДАЮ
Начальник ГУ МЧС России
по г. Санкт-Петербургу
генерал-майор внутренней службы
_____ А.Г. Аникин
«26» апреля 2016 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования Марковой Н.Б. на тему «Методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения» по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (транспорт)

Комиссия в составе –

Председателя:

Заместителя начальника ГУ МЧС России по г. Санкт-Петербургу полковника внутренней службы Козырева Сергея Александровича;

Членов комиссии:

начальника управления материально-технического обеспечения ГУ МЧС России по г. Санкт-Петербургу подполковника внутренней службы Ломтева Павла Ивановича;

заместителя начальника отдела вооружения и техники управления материально-технического обеспечения ГУ МЧС России по г. Санкт-Петербургу подполковника внутренней службы Жданова Сергея Юрьевича

настоящим подтверждает, что результаты диссертационного исследования Марковой Нины Борисовны (Методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения) учтены и

использованы при проведении анализа работы пожарных автомобилей порошкового тушения в гарнизоне пожарной охраны г. Санкт-Петербурга.

Применение этой методики позволило повысить объективность оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения при их применении.

Председатель комиссии:
Заместитель начальника
ГУ МЧС России по г. Санкт-Петербургу
полковник внутренней службы С.А. Козырев

Члены комиссии:
Начальник УМТО
ГУ МЧС России по г. Санкт-Петербургу
подполковник внутренней службы П.И. Ломтев

Заместитель начальника
отдела вооружения и техники УМТО
ГУ МЧС России по г. Санкт-Петербургу
подполковник внутренней службы С.Ю. Жданов

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника ФГБОУ ВО
Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России по учебной работе
доктор педагогических наук, профессор
_____ Ю.Г. Баскин
«_28_» _апреля_ 2016 г.

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования Марковой Н.Б. на тему «Методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения» по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (транспорт) в учебный 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, полковника внутренней службы Марченко Михаила Анатольевича;

Членов комиссии:

заместителя начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента, полковника внутренней службы Королевой Людмилы Анатольевны;

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук Скрипки Александра Владимировича

настоящим подтверждает, что результаты диссертационного исследования Марковой Нины Борисовны внедрены в учебный процесс кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России.

Результатами диссертационного исследования являются:

1. Структура комплексных показателей эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения.
2. Структура комплексных показателей эффективности установок порошкового тушения.

3. Модель установки порошкового тушения пожарного автомобиля порошкового тушения, отвечающая требованиям технического диагностирования оборудования и эргономичности обучения личного состава.
4. Методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения на основе обобщённых безразмерных комплексов.

Первый результат использован при изучении дисциплины «Пожарная техника» (специальность 20.05.01 – «Пожарная безопасность») в теме 9 «Базовые транспортные средства для пожарных автомобилей и их силовые агрегаты».

Результаты 2-3 использованы при изучении дисциплины «Пожарная техника» (специальность 20.05.01 – «Пожарная безопасность») в теме 11 «Основные пожарные автомобили: назначение и область применения; общие устройства, механизмы, компоновка и условия эксплуатации».

Результаты 3-4 использованы при изучении дисциплины «Пожарная техника» (специальность 20.05.01 – «Пожарная безопасность») в теме 20 «Перспективы развития пожарных автомобилей. Порядок разработки и постановки на производство изделий пожарной техники, сертификация продукции».

Председатель комиссии-
начальник кафедры ПАСТиАХ
кандидат технических наук, доцент,
полковник внутренней службы М.А. Марченко

Члены комиссии:
заместитель начальника кафедры ПАСТиАХ
кандидат технических наук, доцент,
полковник внутренней службы Л.А. Королева

доцент кафедры ПАСТиАХ
кандидат технических наук А.В. Скрипка

«27» апреля 2016 г.