

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**Академия Государственной противопожарной службы**

*На правах рукописи*



**Фещенко Александр Николаевич**

**ВЛИЯНИЕ КРАТНОСТИ ПЕНЫ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ПОДСЛОЙНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ  
МОТОРНЫХ ТОПЛИВ**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(нефтегазовая отрасль, технические науки)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук  
Макаров Сергей Александрович

Москва – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ КРАТНОСТИ ПЕНЫ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ .....	11
1.1 Пожары в резервуарных парках.....	11
1.2 Пенное пожаротушение спиртосодержащих топлив .....	20
1.3 Методы образования пены и определения ее структурных параметров.....	29
1.4 Влияния кратности пены на параметры пожаротушения .....	34
ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ .....	43
2.1 Разработанные методики и вещества, используемые в работе .....	43
2.1.1 Вещества, используемые в работе.....	44
2.1.2 Определение поверхностного и межфазного натяжения рабочего раствора пенообразователя .....	45
2.1.3 Приготовление модельных топлив для проведения испытаний .....	45
2.1.4 Методика определения времени тушения спиртосодержащих моторных топлив пеной низкой кратности подслоиным способом.....	47
2.1.5 Методика определения кратности пены при тушении спиртосодержащих моторных топлив подслоиным способом.....	53
2.1.6 Методика экспериментального определения кратности пены в зависимости от концентрации спирта в рабочем растворе пенообразователя .....	62
2.2 Результаты экспериментальных исследований.....	67
2.2.1 Результаты экспериментальных исследований по определению поверхностного и межфазного натяжений рабочего раствора.....	67

2.2.2 Результаты экспериментальных исследований по определению пенообразующей способности раствора пенообразователя .....	69
2.2.3 Результаты экспериментальных исследований по определению времени тушения горючей жидкости пеной низкой кратности подслоиным способом .....	70
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ .....	79
3.1 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению поверхностного и межфазного натяжений рабочих растворов пенообразователей .....	79
3.2 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению пенообразующей способности раствора пенообразователя .....	81
3.3 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению времени тушения горючей жидкости пеной низкой кратности .....	84
3.4 Оценка минимальной величины кратности пены, необходимой для ее подъема на поверхность горючей жидкости .....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	103
Приложение А ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОТЕ .....	120
Приложение Б АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....	131

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Увеличение количества автотранспорта заметно осложняет экологическую обстановку в мире, что определяет необходимость проведения многочисленных исследований, направленных на совершенствование компонентного состава топлив двигателей внутреннего сгорания для снижения негативных воздействий на окружающую среду. Одним из наиболее известных способов улучшения экологического качества топлив является применение различных спиртосодержащих оксигенатов.

Низкомолекулярные спирты в качестве антидетонационной присадки позволяют уменьшить токсичность выхлопных газов. Применение оксигенатов регламентировано Техническим регламентом Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (ТР ТС-013-2011) [1]. Постепенное увеличение спирта в составе бензинов более высоких экологических классов сопровождается снижением эффективности их пенного пожаротушения. Спирт, как полярная жидкость, является сильным пеногасителем и обладает гораздо большим сродством к воде, чем к неполярной органической структуре бензина.

В процессе взаимодействия со спиртосодержащим бензином пена, основу которой составляет вода, будет абсорбировать спирт, инактивирующий растворенные поверхностно-активные вещества. В соответствии с Федеральным законом №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2] огнетушащее вещество должно обеспечить ликвидацию горения с использованием определенной тактики тушения и применяться для тушения пожара материалов, взаимодействие с которыми не приводит к опасности возникновения новых очагов пожара. Актуальность работы обусловлена широким распространением подслоной системы пожаротушения в вертикальных стальных резервуарах (РВС) и вопросами, связанными с возможностью ее применения для ликвидации пламенного горения топлив,

содержащих в своем составе спирт. Именно при подслоной подаче происходит существенное пеногашение, сопровождающееся снижением кратности. Поэтому требуется установить условия, при которых пена, обедненная активным компонентом, будет сохранять физическое состояние, достаточное для подъема на поверхность спиртосодержащего моторного топлива (СМТ) и его эффективного тушения.

**Степень разработанности темы исследования.** Настоящая работа является продолжением исследований, выполненных в Академии ГПС МЧС России и ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Первые опыты по изучению процесса тушения пламени нефти и нефтепродуктов на основе технологии перемешивания воздуха были выполнены в 1953 году сотрудниками ВНИИПО Я.В. Суховым и П.П. Павловым [3–6]. Воздух подавался непосредственно в основание резервуара. Технология показала настолько высокую эффективность, что в конце 1950-х годов к ее доработке подключились такие ученые, как В.И. Блинов, Г.Н. Худяков, В.Ч. Реутт и И.И. Петров [7–12]. Толчком для разработки системы подслоного пожаротушения явилось начало коммерческого выпуска фторорганических поверхностно-активных веществ в начале 1960-х годов. Система фактически объединила высокую огнетушащую эффективность фторсодержащих пенообразователей и охлаждающую способность технологии перемешивания, которое происходит в результате реализации самого способа. Научные работы по определению эффективности пенного пожаротушения различных горючих жидкостей начали проводиться во ВНИИПО МВД СССР под руководством А.Н. Баратова, А.Ф. Шароварникова, Ю.Н. Шебеко, И.А. Болодьяна, И.Ф. Безродного и др. Более детальными исследованиями вопросов подслоного пожаротушения занимались В.П. Молчанов, С.С. Воевода, Д.А. Корольченко [13–18]. Однако впервые на проблему подслоного пожаротушения спиртосодержащих топлив обратил внимание С.А. Шароварников. Под руководством А.Я. Корольченко им была выполнена работа, показывающая частичное сохранение огнетушащих свойств пены после

прохождения через слой спиртосодержащего топлива. Установлено, что эффективность тушения снижается пропорционально увеличению концентрации спиртового компонента в составе топлива. Более поздние работы, посвященные исследованиям пенного пожаротушения СМТ, выполнены Д.Л. Бастриковым и М.И. Саутиевым под руководством В.П. Молчанова.

В основе теории и разработанных требований к пенообразователям для подслоного пожаротушения лежит высокая пленкообразующая способность пены, которая, в свою очередь, усиливается при снижении кратности. Фактически, для реализации технологии, нужна минимальная кратность, при которой плотность пены меньше плотности нефтепродукта. Однако минимизация кратности допустима, если в горючей жидкости отсутствуют спиртовые компоненты, снижающие кратность пены и увеличивающие ее плотность. В противном случае подъемной силы может быть недостаточно для реализации подслоного способа подачи. Существующие в настоящее время методики не позволяют оценить пригодность применяемой пены для реализации подслоного тушения СМТ.

Таким образом, **целью работы** являлось определение требуемой кратности пены для подслоного тушения пожаров СМТ в РВС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

1. Выполнить экспериментальные исследования по определению времени тушения подслоным способом СМТ в зависимости от интенсивности подачи пены с оценкой влияния ее кратности на минимальный и максимальный удельный расход рабочего раствора пенообразователя.

2. Экспериментально определить кратность пены в зависимости от концентрации спирта в рабочем растворе пенообразователя с оценкой сохранения его пенообразующей способности.

3. Получить эмпирические зависимости для определения удельного расхода и требуемой кратности пены при подслоном способе пожаротушения СМТ в РВС.

**Объект исследования** – процесс подслоного пенного пожаротушения СМТ в РВС.

**Предмет исследования** – кратность пены.

**Научная новизна работы:**

– разработаны методика определения основных параметров тушения СМТ подслоным способом и экспериментальная установка, позволяющая контролировать кратность пены в течение всего времени проведения эксперимента;

– установлено влияние концентрации спирта в СМТ на кратность пены в зависимости от коэффициента разрушения пены. Повышение объемной доли спирта в СМТ на каждый процент приводит к снижению кратности пены на величину от 4 до 8 %;

– выявлено, что кратность пены, при которой достигается минимальный удельный расход рабочего раствора пенообразователя, изменяется пропорционально массовой доли кислорода в СМТ. С увеличением массовой доли кислорода от 0 до 2,7 % происходит смещение диапазонов оптимальной кратности с 3 до 6 единиц соответственно;

– впервые получены эмпирические зависимости для расчетов минимального удельного расхода рабочего раствора пенообразователя и кратности пены в зависимости от плотности СМТ, концентрации спирта в СМТ, коэффициента разрушения пены и высоты резервуара.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается:

– в расширении представлений о причинах снижения огнетушащей эффективности пены при подслоном тушении СМТ;

– в возможности использования разработанной методики измерения кратности пены внутри подводящих трубопроводов для испытаний высоконапорных пеногенераторов;

– в использовании полученных эмпирических зависимостей для определения основных параметров тушения и требуемой кратности пены.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач в работе использованы методы статистического анализа, наблюдения и сравнения, выявления закономерностей, экспериментального исследования, описания, обобщения, а также методы исследования, установленные нормативными документами.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты экспериментальных исследований по определению огнетушащей эффективности пены различной кратности, применяемой для подслоного тушения СМТ;
- результаты экспериментальных исследований по определению пенообразующей способности рабочих растворов, содержащих спирт;
- эмпирические зависимости по определению удельного расхода и кратности пены для тушения СМТ в РВС.

**Степень достоверности полученных результатов и выводов,** сформулированных в диссертации, подтверждается: использованием поверенных средств измерений и аттестованного испытательного оборудования на базе существующих стандартизованных методик; применением для обработки полученных экспериментальных данных апробированных методов статистического анализа; внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей.

**Материалы диссертации реализованы:**

- при разработке порядка применения фторсодержащих пенообразователей, выпускаемых на предприятии ООО «Компания «ЮГРОСПРОМ» для тушения пожаров автомобильных бензинов экологического класса К4 и К5;
- при разработке ООО «НИИ Транснефть» изменений к нормативным документам ПАО «Транснефть»:

1) изменение № 1 к ОТТ-13.220.10-КТН-115-12 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Пенообразователи



для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов. Общие технические требования»;

2) изменение № 1 к ОР-13.220.10-КТН-008-16 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Пенообразователи для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов. Порядок проведения испытаний»;

– при проведении ООО «СЕРВИССНАБГАЗ» испытаний генераторов пены низкой кратности «Феникс» для подслоного тушения резервуаров;

– при разработке учебно-методических материалов для проведения практических и лабораторных работ по дисциплине «Химия» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»;

– при оценке показателей качества пенообразователей целевого назначения, выпускаемых ООО «Эгида ПТВ», для тушения спиртосодержащих моторных топлив.

**Основные результаты диссертационной работы доложены на:** 2-ой Межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы естествознания» (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017); Двадцать шестой международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2017» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017); VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2018» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018); V научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 5 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России для публикации основных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Содержание работы изложено на 136 страницах машинописного текста, включает в себя 5 таблиц, 40 рисунков, список литературы из 137 наименований.

# ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ КРАТНОСТИ ПЕНЫ НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

## 1.1 Пожары в резервуарных парках

Важность нефтедобывающей отрасли для экономики России трудно переоценить. Этот сектор экономики вместе с добычей газа составляет значительную долю доходов бюджета. На него приходится, по оценке Всемирного банка, более 20 % ВВП страны [19]. За 2015 год добыча нефти в России по сравнению с предыдущим годом увеличилась на 1,4 % и составила более 534 млн т. Основной спецификой нефтегазовой отрасли является добыча, хранение и подготовка огромных объемов нефти и газа. При этом их размещение происходит на сравнительно небольшой площади. Нефть и газ являются чрезвычайно пожароопасными веществами. Высокая пожароопасность, скопление больших объемов нефтепродуктов может приводить к возникновению крупных пожаров и взрывов с катастрофическими последствиями. К сожалению, данные чрезвычайные ситуации приводят к человеческим жертвам, значительным экономическим потерям, загрязнению окружающей среды.

В июле 2007 года произошел крупный пожар на нефтебазе в округе Сержвик штате Канзас [20]. Пожар начался со взрыва РВС с нефтью во время работ по сливу топлива. Огонь распространился по всему резервуарному парку, вызвав многочисленные взрывы. Через 9 часов после начала пожара, огнем было охвачено 40 РВС, в которых хранилась нефть, бензин, дизельное топливо, ацетон, толуол. Пенообразователем типа AFFF, находящемся на нефтебазе, не удалось ликвидировать загорание на начальной стадии. Для предотвращения жертв, жителей, проживающих в соседних кварталах, эвакуировали. Пожарные в ходе тушения не пострадали.

В июле 2007 года произошел пожар на нефтеперерабатывающем заводе Sunoco's Eagle Point, расположенном в Уэствилле, штат Нью-Джерси (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Пожар на нефтеперерабатывающем заводе в Уэствилле, штат Нью-Джерси [21]

Причиной возгорания послужил удар молнии в РВС, в котором хранился ксилол. Диаметр РВС 30 метров, высота 11,5 метров. В результате произошедшего взрыва, в РВС оторвало крышу. Это позволило производить тушение пламени, подачей пены низкой кратности сверху. Для более успешной ликвидации горения руководитель тушения пожара проводил подачу пены, превышая нормативные значения в 2,5 раза. Подача осуществлялась одним монитором. Было проведено две пенных атаки. Первая длилась 10 минут, но из-за проблем с подачей воды, она была прекращена на 25 минуте. Вторая пенная атака продолжалась 15 минут, после чего пожар продолжительностью 3,5 часа был потушен. В результате пожара никто из пожарных и сотрудников завода не пострадал [21].

22 августа 2009 г. в резервуарном парке линейной производственно-диспетчерской станции (ЛПДС) «Конда» Ханты-мансийского автономного округа произошел пожар (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Пожар в резервуарном парке линейной производственно-диспетчерской станции (ЛПДС) «Конда»

Общая вместимость резервуарного парка составляла 160000 м<sup>3</sup>. В состав станции входило восемь РВС-20000, высотой 12,8 метров и внутренним диаметром 45,6 метров, каждый. Все РВС были оборудованы установками автоматического пенного пожаротушения; стационарными (неавтоматическими) системами подслоного пожаротушения; стационарными (неавтоматическими) системами охлаждения поверхности стенок резервуаров в виде колец орошения. На момент пожара в шести из восьми РВС-20000 происходило хранение нефти. Инициированием пожара послужил удар молнии. По прибытию на место пожара, руководитель тушения пожара устанавливает, что горит РВС №7. Стационарные пеногенераторы ГПСС-2000 системы пожаротушения РВС в результате взрыва

сорваны с мест крепления, деформированы и не могут быть применены для тушения. Площадь пожара составляет  $1632 \text{ м}^2$ , что соответствует площади зеркала РВС [22].

Через 25 минут, после сообщения о пожаре, происходит взрыв парогазовоздушной смеси соседнего РВС №8, в результате которого полностью разрушен РВС №8 и происходит воспламенение РВС №5. Личный состав прибывших подразделений попадает в зону поражения взрывной волны, площадь пожара увеличивается и составляет  $14500 \text{ м}^2$ . В период с 17 ч 35 мин 22 августа до 04 ч. 00 мин 23 августа происходит накопление сил и средств, эвакуация пострадавших, охлаждение РВС. Пенная атака не проводится. В 04 ч 02 мин происходит вскипание нефти в РВС №5, в результате этого площадь пожара увеличивается до  $40000 \text{ м}^2$ . К 5 часам 23 августа на пожаре сложилась следующая обстановка:

- РВС №5 и РВС №7 горят по всей площади зеркала;
- из поврежденных пенокамер РВС №4 происходит факельное горение;
- общая площадь пожара составляет около  $40000 \text{ м}^2$ .

Пенная атака с применением АКПП на РВС №4 проводится только 24 августа в период с 02 час 00 мин по 02 час 30 мин.

В 05 час 54 мин объявлена локализация. В результате пожара погибло 4 человека, травмировано 4 человека, уничтожено 2 единицы техники, ущерб превысил миллионы рублей.

В августе 2012 года в Венесуэле на нефтеперерабатывающем заводе Амуай произошел пожар, который стал крупнейшим в истории государственной компании "Петролес де Венесуэла" (рисунок 1.3) [23,24].



Рисунок 1.3 – Пожар на НПЗ в Венесуэле

При тушении было задействовано более 200 пожарных и специалистов. На ликвидацию пожара потребовалось несколько суток. В результате происшествия погибло 48 человек, пострадало более 200 жилых домов, причинен особо крупный ущерб.

21 августа 2013 года произошел пожар на нефтебазе в Ангарском районе Иркутской области в РВС с нефтью. В тушении принимало участие 153 пожарных и 53 единицы техники. На ликвидацию пожара потребовалось более суток. Отсутствие необходимого количества пенообразователя, послужило одной из причин длительной ликвидации пожара (рисунок 1.4) [25,26].



Рисунок 1.4 – Пожар на нефтебазе в Ангарском районе

8 июня 2015 года в 17 час. 29 мин произошел пожар на нефтебазе "БРСМ-нафта", расположенной в поселке городского типа Глеваха Васильковского района Киевской области. Загорелся резервуар с бензином объемом 900 м<sup>3</sup>. Пожар развивался стремительно: к 9 час. 00 мин 9 июня 2015 года происходило горение 16 резервуаров. В результате взрыва пострадали пожарные и работники нефтебазы, была выведена из строя специальная техника и оборудование. Специалистами пожарной охраны Украины данный пожар признан одним из самых тяжелых после чернобыльской трагедии. За время тушения производилось множество пенных атак. В ликвидации пожара было задействовано 939 человек и 117 единиц техники, посменно в круглосуточном режиме одновременно работали более 200 человек и 55 единиц техники. Полностью ликвидировать пожар удалось 20 июня 2015 года. В результате происшествия погибло 6 человек, травмировано 15 человек. Ущерб составил около миллиарда гривен (рисунок 1.5) [27].



Рисунок 1.5 – Пожар на нефтебазе «БРСМ-нафта»

20 апреля 2016 года произошел пожар в РВС с сырой нефтью, расположенном на нефтеперерабатывающем заводе в Сингапуре [28]. Резервуар, в котором произошел пожар, был с открытой плавающей крышей диаметром



40 м и высотой 20 м. Для тушения пожара использовались мониторы, которые осуществляли подачу пены низкой кратности сверху на горящую поверхность. В тушении принимало участие 150 пожарных. Пожар был ликвидирован через 5 часов после его начала.

16 июля 2016 года произошел пожар на нефтеперерабатывающем заводе «Башнефть-Уфанефтехим», объем производства которого превышает 6 миллионов тонн в год. На заводе производят более 50 различных продуктов, в том числе: бензин, авиационное топливо, мазут. В результате разгерметизации аппарата воздушного охлаждения произошел взрыв паровоздушной смеси с ее последующем возгоранием. Тушение производилось около 3 часов. Для ликвидации пожара было задействовано 78 единиц спецтехники и 212 пожарных. В результате пожара погибли 5 человек (рисунок 1.6) [29].



Рисунок 1.6 – Пожар на нефтеперерабатывающем заводе «Башнефть-Уфанефтехим»

5 октября 2017 года на ПАО «Лукойл Нижегороднефтеоргсинтез» в Кстовском районе Нижегородской области при проведении ремонтных работ

произошло возгорание с последующим взрывом РВС-10000 с бензином. Площадь пожара составила 900 м<sup>2</sup>. В результате пожара погибло 4 человека. В тушении было задействовано 237 человек и 50 единиц техники, в том числе от МЧС – 199 человек, 40 единиц техники. Причиной пожара послужило нарушение правил промышленной безопасности при подготовке к ремонту РВС (рисунок 1.7) [30,31].



Рисунок 1.7 – Пожар на нефтеперерабатывающем заводе «Лукойл»  
в Нижегородской области

26 апреля 2018 года произошел взрыв в установке жидкого каталитического крекинга на нефтеперерабатывающем заводе мощностью 38 000 баррелей в сутки Husky в Супериори, штат Висконсин, который спровоцировал дальнейший пожар. Из близлежащих домов было эвакуировано 27000 человек. Тушение производилось пеной низкой кратности, которую подавали с помощью мониторов. На ликвидацию пожара потребовалось 8 часов (рисунок 1.8) [32].



Рисунок 1.8 – Пожар на нефтеперерабатывающем заводе Husky в Супериори, штат Висконсин

Из имеющихся материалов по тушению пожаров в РВС с нефтепродуктами видно, что штатные системы пожаротушения обладают низкой эффективностью, не обеспечивая тушения пожара в момент загорания. В работах [15,33,34] проанализированы данные по применению автоматических систем подачи пены в РВС. Выявлено, что автоматические установки пожаротушения с использованием пены средней кратности не обеспечивают тушение пожара на начальном этапе по ряду причин, основной из которых (в половине случаев) является выведение из строя взрывом узлов ввода пены. Поэтому тушение пожара практически во всех случаях происходит от передвижной пожарной техники, что подвергает опасности личный состав пожарной охраны, находящийся в обваловании, либо рядом с ним. Стоит отметить так же, что если пожар не удалось ликвидировать в начале, то для того, чтобы его ликвидировать в дальнейшем, потребуется значительное время, которое, порой, превышает десятки часов.

## 1.2 Пенное пожаротушение спиртосодержащих топлив

Основным средством для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов является воздушно-механическая пена низкой и средней кратности. Ее огнетушащее действие основано на комбинировании нескольких механизмов, основными из которых являются: изолирующее действие и охлаждение зоны горения. Под первым понимается способность пены не пропускать горючие пары в зону горения. Изолирующая эффективность пены зависит от типа пенообразователя, природы горючей жидкости и структуры пены [15,34]. Пену подают либо на поверхность горючей жидкости, при помощи стационарных установок пожаротушения, передвижной пожарной техники, мониторов, либо в нижний пояс РВС, используя подслоиную систему пожаротушения. Преимущество и надежность подслоинной системы пожаротушения доказаны отечественными и зарубежными учеными [35–45]. В ее основу легли опыты по изучению процесса тушения пламени нефти и нефтепродуктов на базе технологии перемешивания воздуха. Исследования проводили в 1953 году под руководством Сухова Я.В. на РВС с диаметром 80 и 260 см. Время тушения фиксировали в зависимости от следующих параметров: расход воздуха, высота слоя горючей жидкости, различные размеры, количества и расположение насадок, из которых подавался воздух. Авторами выдвинуто предположение, что вихревые потоки в жидкости, вызванные струей воздуха, можно считать заключенными внутри конуса с углом при вершине, зависящим от горючей жидкости, скорости потока [3,4].

Результаты выполненных исследований настолько имели значительный успех, что работу в этом направлении продолжили и другие ученые. Установка тушения пожаров нефтепродуктов методом перемешивания их сжатым воздухом включает в себя выводы воздухопроводов, которые равномерно размещены в нижней части РВС. Воздуховоды имеют замкнутую кольцевую сеть из стальных газовых труб, проложенных с наружной стороны обвалования резервуарного парка.

Насадки для выпуска сжатого воздуха располагаются выше предполагаемого уровня подтоварной воды. Интенсивность подачи воздуха принимают равной от 0,5 до 1,0 л/(м<sup>2</sup>·с), в зависимости от вязкости нефтепродукта (чем выше вязкость – тем выше требуемый расход воздуха). Диаметры воздухопроводов определяют из условия допустимой скорости движения воздуха от 30 до 60 м/с. Скорость воздуха при выходе из насадок принимают равной 30-40 м/с, а необходимое давление у насадки должно превышать гидростатическое давление нефтепродукта на 2 кПа. По результатам исследований разработана модель, в основе которой лежит принцип действия Архимедовой силы, воздействующей на подъем воздушных пузырей. В результате определяется время перемешивания воздухом, за которое происходит снижение температуры нагретых слоев ниже температуры вспышки и, как следствие, прекращение пламенного горения [6–12].

За последующие годы учеными проделана большая работа в области развития средств и способов тушения пожаров нефти и нефтепродуктов. Сформирована нормативная база.

Согласно действующим нормативным документам [46,47] при подаче пены низкой кратности подслоным способом необходимо использовать фторсодержащие пленкообразующие пенообразователи. Основным требованием при выборе типа пенообразователя в зависимости от способа подачи является нормативная интенсивность подачи пены, которая изменяется в зависимости от температуры вспышки ( $T_{всп}$ ) горючего топлива. Для  $T_{всп}$  меньшей либо равной 28°C при подаче пены в слой нормативная интенсивность ( $I_n$ ) будет составлять 0,10 л·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> для пенообразователей фторсинтетических «пленкообразующих» и фторпротеиновых «пленкообразующих». При этом не конкретизируется необходимая кратность пены. Под термином «пена низкой кратности» понимается кратность в пределах от 3 до 20 единиц.

В 2008 г. были разработаны дополнительные рекомендации по тушению высокооктановых бензинов [48], согласно которым, пена, полученная на основе пенообразователей фторсодержащих пленкообразующих типа AFFF и AFFF/AR

неэффективна при тушении бензинов марки АИ-95 и АИ-98 и ее нельзя использовать при тушении подслоиным способом. Для бензина марки АИ-80 и АИ-92 нормативная интенсивность подачи пены, полученной из пенообразователя типа АFFF, должна быть равной 0,1 и 0,16  $\text{дм}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , соответственно. Для пенообразователя типа АFFF/AR – 0,1 и 0,13  $\text{дм}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , соответственно. Данные рекомендации запрещают применять подслоиный способ подачи пены при тушении бензинов АИ-95 и АИ-98.

Для тушения полярных жидкостей в РВС авторским коллективом ВНИИПО были разработаны Рекомендации, согласно которым основным средством тушения пожаров таких жидкостей является воздушно-механическая пена средней и низкой кратности, полученная из раствора пенообразователей типа АFFF/AR [49]. Подачу пены необходимо осуществлять только на поверхность горючей жидкости. Пенную атаку рекомендуется проводить после выполнения ряда условий, одним из которых является сосредоточение на месте пожара трехкратного запаса огнетушащих средств из расчетного времени тушения 15 минут.

Таким образом, по существующим нормативным документам, которые были разработаны до 2008 года, подслоиный способ подачи пены считается неэффективным при тушении бензинов марок АИ-95 и АИ-98 и при тушении полярных горючих жидкостей.

Состав бензинов в настоящее время изменился, в них добавляют различные кислородсодержащие соединения (оксигенаты): этанол, изопропанол, третбутанол и др. [1]. Главным достоинством таких бензинов является улучшение экологических свойств и высокие антидетонационные характеристики. При добавлении спиртов значительно снижается количество оксидов азота, сажи и монооксида углеводорода [50]. Однако, как показывают предыдущие исследования, содержание таких соединений значительно снижает эффективность огнетушащих составов [15,16].

Подача пены сверху и контактное разрушение пен, были основным направлением исследований процессов тушения полярных горючих жидкостей

до середины 1990 годов [51–59]. Авторами были установлены закономерности при взаимодействии различных полярных жидкостей с огнетушащими веществами. Установлены наиболее агрессивные полярные жидкости.

В работе [60] были проведены исследования по тушению бензина, дизельного топлива, толуола. Горючие жидкости тушили, подавая пену, получаемую из различных пенообразователей, на поверхность. По результатам экспериментов было установлено, что наиболее высокую эффективность показывает пена, получаемая из фторсинтетических пенообразователей. Так же, авторами работы было установлено, что на эффективность тушения влияет и способ подачи пены, и количество ее вводов, в результате которых пена распределяется по поверхности горючей жидкости.

В работах [61–64] авторами установлено, что при контакте воздушно-механической пены с органическими растворителями происходит ее разрушение вследствие потери молекулами пенообразователей поверхностной активности. В качестве органических растворителей использовались низкомолекулярные спирты, ацетон, диметилсульфоксид и диоксан. В качестве пенообразователя – ПО-3А. Предложена классификация агрессивности различных органических жидкостей к пенам в зависимости от величин энергии активации ( $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ) процесса их контактного взаимодействия. Установлено, что при увеличении энергии активации происходит снижение агрессивности растворителя по отношению к пене. Стоит отметить, что величина энергии активации зависит только от природы соприкасающихся фаз. Неполярные органические растворители были разделены на три группы:

1. Агрессивная. Значения энергии активации до  $25 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ .
2. Умеренная. Значения энергии активации от 25 до  $80 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ .
3. Пассивная. Значения энергии активации от  $80 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ .

По данной системе классификации к первой группе будут отнесены органические растворители, например, при взаимодействии с пеной, полученной из раствора углеводородного пенообразователя ПО-3А, простейшие спирты, содержащие от 1 до 7 атомов углерода в цепи, а также пропанон и этиловый эфир.

В работе [65] проведено исследование тушения смесевых топлив подачей пены подслоиным способом. Было установлено, что при снижении значений межфазного натяжения между горючей жидкостью и раствором пенообразователя, происходит увеличение времени тушения. При значении межфазного натяжения 2,5 мН/м происходит значительное загрязнение пены горючей жидкостью (сорбирование).

На уровень капиллярного всасывания влияют такие параметры как плотность, вязкость и тепловой эффект смешения компонентов [66]. Причина, по которой происходит смешение полярного растворителя и водного раствора пенообразователя в пенных каналах, является наличие пониженного давления в каналах Плато-Гиббса, которое в свою очередь ниже атмосферного [67–69].

В настоящей работе значение межфазного натяжения исследуемых СМТ ниже 1 мН/м, следовательно, пена, при подъеме через слой жидкости, высота которой превышает 8 м (например, для РВС 10000 высота стенки РВС превышает 10 м), будет в значительной мере загрязняться, т.е. сорбировать в себя компоненты СМТ.

Проблемы, возникающие при подслоином пожаротушении СМТ, впервые в нашей стране рассмотрены авторами в работах [70–73]. Показана принципиальная возможность применения подслоиной системы пожаротушения РВС со смесевыми углеводородно-спиртовыми топливами пеной низкой кратности, полученной на основе фторсинтетических пенообразователей. Эксперименты проводились на экспериментальной установке в лабораторных условиях, при этом высота столба горючей жидкости составляла 0,15 м, высота сухой стенки – 0,035 м. Время свободного горения 20 с.

Интенсивность подачи пены ( $I$ ) определялась по формуле:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{\tau_r S_{\Pi}}, \quad (1.1)$$

где  $\tau_r$  – время тушения, с;

$m_1$  – масса пены до тушения, кг;



$m_2$  – масса пены после тушения, кг;

$S_{\text{П}}$  – площадь свободной поверхности горения,  $\text{м}^2$ .

Исследовались пенообразователи двух типов: фторсинтетические с добавлением полимерных компонентов и без добавления. Было выявлено, что контактное разрушение пены проходит через стадию образования водно-спиртовой смеси в пенных каналах и потери поверхностной энергии ПАВ. Так же было установлено, что на эффективность пожаротушения в значительной степени влияет температура горючей жидкости. При ее увеличении до  $40^\circ\text{C}$ , оптимальная интенсивность подачи пены, полученной из фторсинтетических пенообразователей, увеличивается более чем на 50 %. При изучении влияния низкомолекулярных спиртов, которые используют в качестве спиртовых добавок (метиловый спирт, этиловый спирт, изопропиловый спирт), на разрушение пены, было показано, что наиболее опасным для пены является изопропиловый спирт. В результате исследования контактной устойчивости пены, авторы приходят к выводу, что она напрямую зависит от концентрации пенообразователя. При увеличении концентрации пенообразователя линейно будет изменяться в лучшую сторону и устойчивость пен. Так же получены интересные дополнительные результаты по применению фторсинтетических пенообразователей с добавлением полимерного компонента, в качестве которого использовался полисахарид, для повышения термической устойчивости пены. Установлено, что увеличение концентрации пенообразователя в водном рабочем растворе не приводит гарантированно к увеличению огнетушащей эффективности пены. Авторы это объясняют тем, что введение в состав пенообразователя полимерного компонента, несмотря на увеличение термической устойчивости полученной пены, приводит к снижению скорости ее растекания по поверхности смесового топлива. Так же в ходе проведенных исследований, были разработаны рекомендации по проектированию системы подслоного тушения пожаров РВС с СМТ. Рекомендации включают в себя основные тактико-технические

характеристики подслоной системы пожаротушения РВС. Проведенные исследования позволили сделать вывод, что подслоный способ подачи пены возможно применять при тушении смесевых топлив при выполнении ряда условий, одним из которых является показатель кратности подаваемой в слой пены.

В работах [74–81] авторы продолжили исследование фторсинтетических пенообразователей и детально изучили процесс формирования водных пленок. В результате был предложен способ направленного регулирования огнетушащего действия пленкообразующей пены, который обусловлен эффектом самопроизвольного растекания по поверхности горючей жидкости выделяющейся водной пленки. Описан механизм образования и растекания водной пленки по поверхности горючей углеводородной жидкости. Исследовано влияние коллоидно-химических свойств пены и ее кратности на процесс растекания водной пленки.

Таким образом, была проделана значительная успешная работа, в ходе которой получены ответы на многие вопросы. Выявлены основные закономерности процесса тушения пламени нефтепродуктов пленкообразующими составами, которые позволяют установить влияние следующих параметров:

- поверхностная активность растворов;
- коэффициент растекания;
- предельная мицеллярная растворимость горючего в растворе пенообразователя;
- пороговая концентрация фторированного компонента состава пенообразователя.

На основе анализа экспериментальных и теоретических исследований процесса тушения пламени нефтепродуктов пенами предложена модель процесса тушения «загрязненными» пенами, представляющая последовательную очередность процессов: самоочищения пены при формировании изолирующего слоя на поверхности нефтепродуктов, саморастекание пленкообразующей пены по горячей поверхности, термическое разрушение «загрязненных» пен от

воздействия факела пламени. Предложен трехстадийный механизм образования, стабилизации и разрушения водных пленок, включающий: гидростатическое истечение жидкости из пленки, в процессе формирования отрывающейся капли раствора под действием периода давления; солубилизацию нефтепродукта в мицеллярных растворах углеводородного стабилизатора.

Основным препятствием использования результатов исследований в вышеуказанных работах стали изменения, которые затронули как пенообразователи, так и сами топлива. В 2001 году для охраны здоровья людей и окружающей среды принята Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, которая вступила в силу в 2004 году. В России в 2011 году принят закон о ратификации Стокгольмской конвенции. Основное требование конвенции направлено на прекращение применения и производства стойких органических загрязнителей [82]. К таким загрязнителям относится основной компонент фторсодержащих пенообразователей, выпускаемых по технологии электрохимического синтеза – перфтороктансульфоновая кислота (PFOS), многочисленные исследования которой, доказали ее канцерогенные и токсичные свойства [83,84].

В этой связи большой научный и практический интерес представляют исследования в отношении пенообразователей с учетом существенных изменений в их компонентном составе. В работах [85–96] было установлено, что при содержании спиртового компонента в углеводородно-спиртовом топливе 10 % и более, определяющую роль в эффективности тушения играет контактная устойчивость пены, на которую, прежде всего, влияет вид и концентрация спиртового компонента. С ростом концентрации спирта на каждые 5 % происходит рост удельной скорости контактного разрушения пены более чем на 30 %. Состав углеводородной части углеводородно-спиртовой смеси практически не влияет на контактную устойчивость пены. Подтверждено, что наиболее агрессивными углеводородно-спиртовыми смесями, из исследуемых на разрушение пены, были смеси с изопропиловым спиртом. Предложена методика, позволяющая определить требуемую интенсивность подачи

фторсодержащей пены средней кратности на поверхность горючей жидкости и повысить надежность ликвидации горения топлива с различным содержанием спиртового компонента. По результатам экспериментальных исследований выявлены зависимости, влияющие количества предварительно поданной воды на результативность пенного пожаротушения СМТ. Разработана методика, позволяющая производить корректировку требуемой интенсивности подачи пены средней кратности в зависимости от количества поданной предварительно воды в СМТ. Выявлена зависимость требуемой интенсивности пены от объема предварительно поданной воды, концентрации спирта в топливе, его объема и температуры. Изучено подробно влияние концентрации спирта в СМТ на требуемую интенсивность подачи пены средней кратности для гарантированного тушения. Разработанные расчетные методы корректируют подход к выбору величины интенсивности подачи пены для тушения пожаров спиртосодержащих горючих жидкостей и находят широкое применение в практической деятельности. По результатам работ сделан вывод, что для обеспечения надежности ликвидации горения СМТ с величиной массовой доли кислорода в топливе от 1,5 до 2,7 % пеной на основе пенообразователей типа АFFF необходимо увеличить нормативную интенсивность подачи, принятую для тушения углеводородных горючих жидкостей на величину от 25 до 55 %. Авторами разработан способ тушения СМТ с предварительным «осаждением» спирта в топливе подачей распыленной воды. Данный способ позволяет ликвидировать горение при условии увеличения нормативной интенсивности подачи пены, принятой для тушения углеводородных горючих жидкостей на величину от 10 до 15 %.

### 1.3 Методы образования пены и определения ее структурных параметров

Существует два метода получения дисперсных систем (пен): конденсационный и диспергационный. Первый основан на процессе образования частиц в результате кристаллизации или конденсации. Второй на измельчении (диспергирование) жидких и твердых веществ в дисперсионной среде. Конденсационный метод лежит в основе получения химической пены в результате образования частиц дисперсионной фазы из отдельных молекул или ионов. Диспергационный – образование воздушно-механической пены на сетках. В пожарной охране наибольшее распространение получил второй метод.

Пенообразующую способность растворов поверхностно-активных веществ определяют различными способами, в виду отсутствия единого критерия.

В работе [97] для определения пенообразующей способности предлагается исследовать высоту и устойчивость пены с использованием четырех методов:

1. Метод встряхивания по Штипелю.
2. Метод прикапывания по Россу-Майлсу.
3. Метод взбивания.
4. Метод вдувания.

Там же описан способ получения пены при помощи вибрационного вспенивателя, обычной сбивалки для белков.

В работе [98] определение пенообразующей способности раствора ПАВ происходит способом встряхивания раствора, по оценке высоты столба образовавшейся пены. В мерный цилиндр объемом 250 см<sup>3</sup> наливают 50 см<sup>3</sup> раствора ПАВ, затем мерный цилиндр встряхивают. Показатель пенообразующей способности определяют по формуле 1.2:

$$\Pi = \frac{B_n \cdot 100}{B_p}, \quad (1.2)$$

где  $\Pi$  – показатель пенообразующей способности;

$V_{п}$  – высота столба пены, мм;

$V_{р}$  – высота залитого раствора, мм.

Описанные методы обладают рядом недостатков, не позволяющих достоверно определить пенообразующую способность. Одной из причин является неполное вспенивание исследуемых растворов. Другой причиной является повышение устойчивости растворов ПАВ, вызванной увеличением концентрации, которая не позволяет достичь динамического равновесия между разрушаемой пеной и вновь образуемой. Эти недостатки отсутствуют в методах, в основе которых лежит принцип постоянного образования пены, путем непрерывной подачи раствора ПАВ и газовой фазы на диспергирующий элемент. Такие методы исследования пенообразующей способности описаны в стандарте США [99].

В работе [100] показано, что повышение концентрации поверхностно-активных веществ в растворах пенообразователей приводит к следующему:

1. Увеличение пенообразующей способности раствора.
2. Снижение поверхностного натяжения.
3. Увеличение плотности слоя адсорбированных молекул ПАВ.

На пенообразующую способность растворов влияет природа поверхностно-активных веществ. Например, растворы неионогенных ПАВ обладают пенообразующей способностью ниже, чем анионные растворы поверхностно-активных веществ [101].

В работах [102,103] для оценки пенообразующей способности раствора пенообразователя при использовании генератора пены с принудительной подачей воздуха в смесительную камеру и генератора роторного типа, с установленной на роторе лопасти применяют соотношение 1.3:

$$K = \frac{V}{M}, \quad (1.3)$$

где  $K$  – кратность полученной пены;

$V$  – объем пены, см<sup>3</sup>;

$M$  – масса пены,  $\text{кг} \cdot 10^{-3}$ .

Для получения пены средней кратности применяют генераторы пены эжекционного типа, используя которые можно получить пену кратностью от 60 до 200. В работе [104] установлено, что существует минимальное значение давления рабочего раствора пенообразователя у входа в генератор. При давлении ниже минимального, пенообразование не возникает. Минимальное давление ( $P_{\min}$ ) предложено определять по соотношению 1.4.:

$$P_{\min} = \frac{4\sigma}{\delta} \varphi^2, \quad (1.4)$$

где  $\sigma$  – размер ячейки сетки, м;

$\delta$  – поверхностное натяжение раствора ПАВ, Н/м;

$\varphi$  – коэффициент, равный 0,25.

На рисунке 1.9 представлена зависимость кратности пены от давления раствора пенообразователя на входе в генератор, по которой оценивают пенообразующую способность на генераторах эжекционного типа.

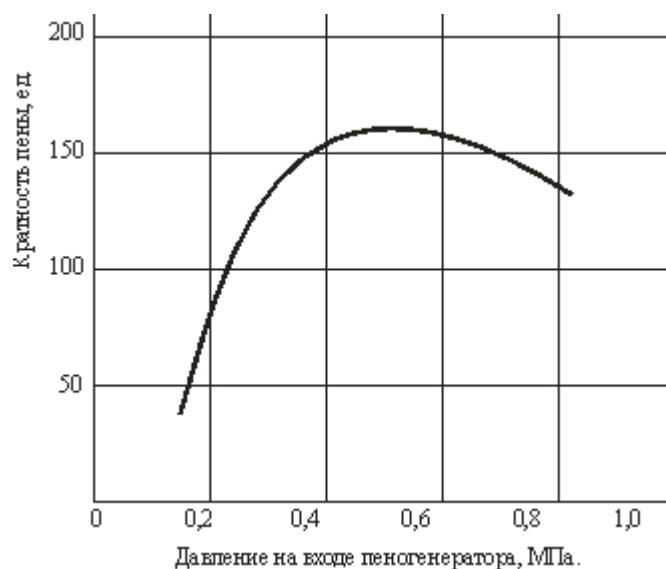


Рисунок 1.9 – Зависимость кратности пены от давления на входе эжекционного генератора пены

Испытания проводятся с использованием пеногенераторов типа ГПС, которые имеют калиброванные отверстия распылителей (спрыски) для подачи пенообразующего раствора на сетки. Исходя из таких критериев, как величина кратности получаемой пены, расходные характеристики генератора пены, давление на входе, делают заключения о величине пенообразующей способности тех или иных испытуемых растворов ПАВ и производят отбор наиболее пригодных.

Такая методика испытаний оправдана в условиях промышленного производства серийных пенообразователей, однако высокая производительность по пене, большие габариты установки и возникающая проблема с утилизацией пены, делает данный метод неприемлемым при проведении испытаний в лабораторных условиях.

В работе [105] для измерения пенообразования растворов ПАВ использовалась методика, основанная на определении кинетики пенообразования, которая была запатентована Институтом коллоидов и поверхностей Макса Планка. Емкость с исследуемой жидкостью помещали между источником света и экспериментатором. Так как газовая и жидкая фазы пропускают свет, то границы раздела этих фаз пена/воздух и жидкость/пена фиксировались наблюдателем. Затем определяли высоту столба пены и жидкости. В работе исследовали эффективность агентов-пеногасителей (касторовое масло, гидроксид кальция, полиметилсилоксан).

В работе [106] автор предлагает определять кратность пены по ее электропроводности, используя устройство, в состав которого входит электрохимическая ячейка, соединенная с измерителем электросопротивления, с помощью которого определяют кратность по расчетному соотношению 1.5:

$$K = 0,67 \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_{\text{р-ра}}} , \quad (1.5)$$

где  $\rho_{\Pi}$  – удельное электросопротивление пены, Ом·м;

$\rho_{\text{р-ра}}$  – удельное электросопротивление исходного раствора, Ом·м.



Данный метод при увеличении кратности не учитывает изменения коэффициента пропорциональности, что влияет на точность измерений средней и высокой кратности пены.

Для решения этой проблемы авторами [107] предложено устройство для изучения пен высокой кратности. На рисунке 1.10 представлена схема установки.

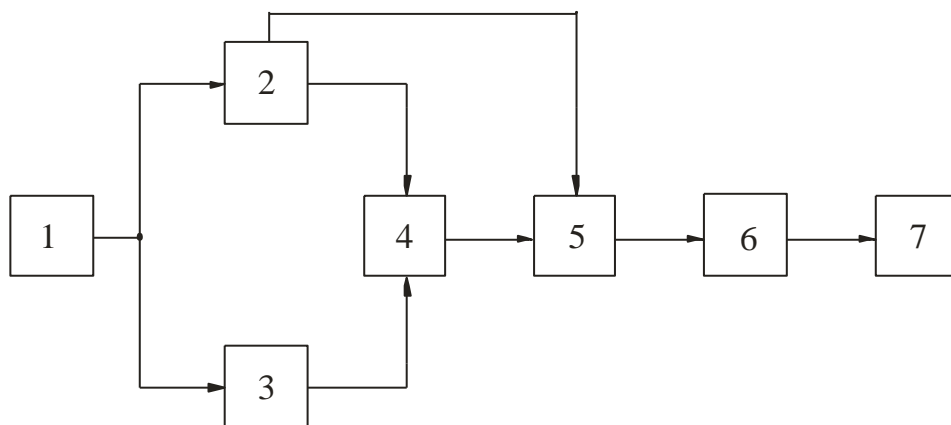


Рисунок 1.10 – Устройство для определения кратности:

1 – генератор гармонических колебаний; 2, 3 – датчики электропроводности пены; 4 – блок деления сигналов; 5 – блок коррекции; 6 – блок линейного выпрямителя; 7 – указатель кратности

Устройство работает следующим образом. Датчики 2, 3 погружают в раствор, при этом на блоке 4 появляется сигнал пропорциональный электросопротивлению исходного раствора. Этот сигнал поступает в блок коррекции 5, где совершается калибровка раствора по электросопротивлению исходного раствора. После того, как произведена калибровка устройства, датчики 2 и 3 опускают в пену. Электросопротивление пены зависит от проводимости раствора в пенных пленках и от поверхностной проводимости, которая в свою очередь обусловлена наличием двойного электрического слоя в пене.

Кратность пены определяется по уравнению 1.6:

$$K = \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_{p-ра}} \beta, \quad (1.6)$$

где  $\beta$  – коэффициент, пропорциональный величине сопротивления раствора, который определяется из соотношения 1.7:

$$\beta = 0,22 + 0,087\rho_{p-ра} \quad (1.7)$$

Выражение 1.6 учитывает коэффициент пропорциональности, который изменяется при измерении средней и высокой кратности пены, что позволяет более точно определять кратность таких пен. В настоящей работе производилось измерение пены низкой кратности в пределах от 2,5 до 7,5 единиц, поэтому для определения показателей кратности использовалось выражение 1.5.

#### **1.4 Влияния кратности пены на параметры пожаротушения**

К одной из первых работ, в которой особое внимание уделено показателю кратности пены, можно отнести работу коллектива ученых [108]. Была установлена закономерность, согласно которой, на критическую интенсивность тушения пламени нефтепродуктов влияет кратность пены. На рисунке 1.11 представлены результаты тушения бензина в РВС пеной различной кратности, полученной на основе пенообразователя ПО-6. Тушение осуществлялось подачей сверху. Установлено, что при повышении кратности пены значительно уменьшается критическая интенсивность. Несмотря на имеющуюся классификацию кратности пен, авторы к высокократным пенам относят пены кратностью от 20 и выше, это обусловлено тем, что термин «пена средней кратности» в 70-х годах не имел широкого распространения.

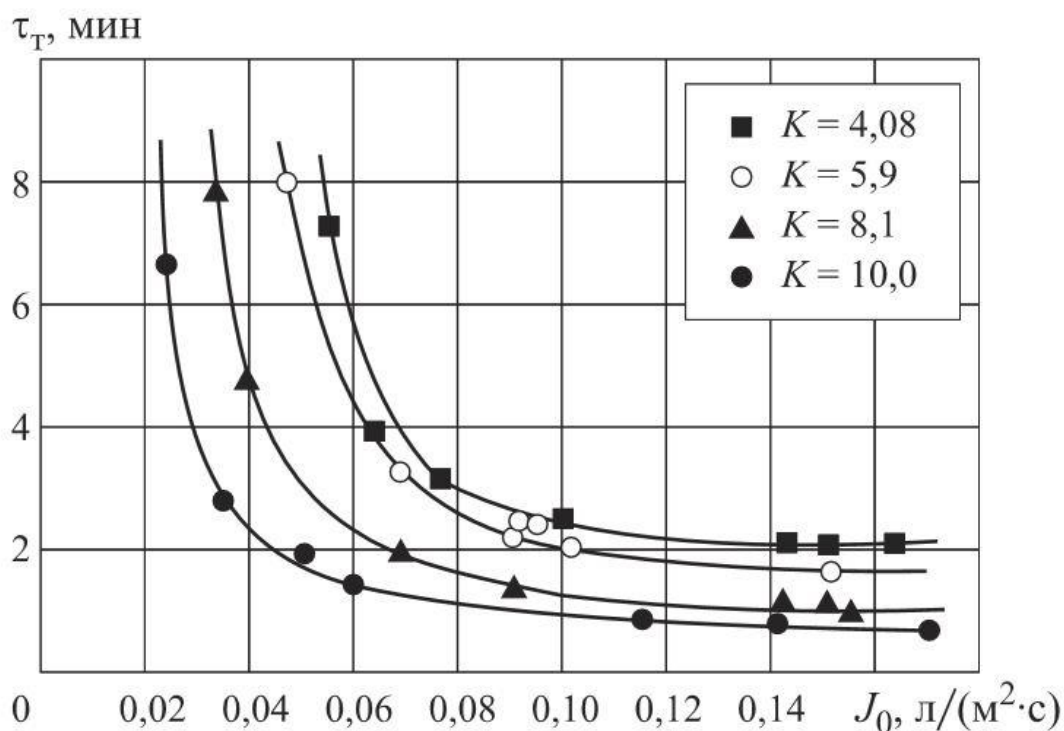


Рисунок 1.11 – Зависимость времени тушения бензина от интенсивности подачи раствора при разной кратности [108]

Предложена расчетная формула (1.8), согласно которой критическая интенсивность зависит от толщины слоя пены (изолирующая способность пены), кратности и устойчивости пены. Авторами установлено, что существует некоторая оптимальная кратность, при которой огнетушащая эффективность пены максимальна:

$$I_{кр} = h \frac{K}{S}, \quad (1.8)$$

где  $I_{кр}$  – огнетушащая эффективность, л/(м<sup>2</sup>·с);  
 $h$  – изолирующая способность, выраженная через толщину слоя пены, м;  
 $S$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий устойчивость пены;  
 $K$  – кратность пены.

Так проведенные натурные эксперименты по тушению пламени этилового спирта пеной на основе пенообразователя ПО-1 показали, что стократная пена более эффективна по сравнению с пеной кратностью 270.

Безродный И.Ф., анализируя причины неуспешного тушения пожаров нефтепродуктов воздушно-механической пеной, приходит к выводу, что одной из таких важных причин является неспособность пеногенирующего устройства обеспечить и поддерживать на должном уровне кратность пены [109].

Дегаев Е.Н. и Корольченко Д.А. в работе [110] исследуют влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения при изменении кратности от 4 до 16. В ходе экспериментальных исследований была выявлена закономерность, согласно которой при увеличении кратности пены огнетушащая эффективность пены в отдельных случаях увеличивается до двух раз. Сделан вывод о существенном влиянии кратности пены на результаты пожаротушения.

Хиль Е.И. исследовал влияние кратности фторированных пленкообразующих пенообразователей на минимальный удельный расход пенообразующего раствора и оптимальную интенсивность подачи пены в слой горючего. В качестве горючей жидкости использовался н-гептан. Для получения пены низкой кратности применялись следующие пенообразователи: Ansulite AFFF, Hydral AFFF, Shtamex AFFF, Ultraguard AFFF, Light Water FS 201, Multifoam AFFF. Выявлено, что при увеличении кратности пены с 4 до 10 оптимальная интенсивность подачи пены снижается в два раза. Так же предложена полуэмпирическая формула (1.9), которая показывает, что оптимальная интенсивность подачи пены в 2,5 раза меньше критической:

$$I_{\text{опт}} = 2,5 I_{\text{к}}, \quad (1.9)$$

где  $I_{\text{опт}}$  – оптимальная интенсивность подачи пены, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$I_{\text{к}}$  – критическая интенсивность подачи пены, определяется скоростью термического и контактного разрушения пены при растекании по горячей поверхности жидкости, кг/(м<sup>2</sup>·с).

На основе комплексных исследований огнетушащей эффективности, проведенных с использованием большого количества различных фторированных пленкообразующих пенообразователей, выпускаемых в России и за рубежом, экспериментально доказано, что при подслоном пожаротушении увеличение кратности пены приводит к снижению времени тушения. А при значении кратности менее 3,5–4 при подслоном способе подачи воздушно-механической пены, будет происходить отслоение раствора пенообразователя от пены, стремящейся вверх к поверхности горючей жидкости. Поэтому контроль кратности пены в течение всего времени тушения очень важен [111,112].

Авторы работы [113] проводили исследования по заполнению помещений насосных по перекачке нефти пеной высокой кратности. Исследования проводились на стендовой установке и на модели насосной по перекачке нефти и нефтепродуктов. Пеногенераторы устанавливались на высоте 4,8 метра. Площадь помещения составляла 450 м<sup>2</sup>. Тушение пожара предусматривало заполнение объема помещения насосной станции на уровень от 2,0 до 2,5 метров. Кратность пены определялась устройством, которое работает на принципе сравнения электропроводностей рабочего раствора ПАВ и полученной пены. Экспериментально было установлено, что время тушения помещения насосной по перекачке нефтепродуктов пеной кратностью 700 на высоту 2,5 метра составило 160 с. Скорость заполнения пеной снижается по мере увеличения пенного слоя, так как увеличивается скорость разрушения пены, при увеличении высоты пенного слоя.

Применительно к выбранной теме исследования выявлено, что экспериментальные данные выполненных работ получены в основном с использованием методики и установки согласно ГОСТ Р53280.2-2010 [114]. Схема данной установки представлена на рисунке 1.12.

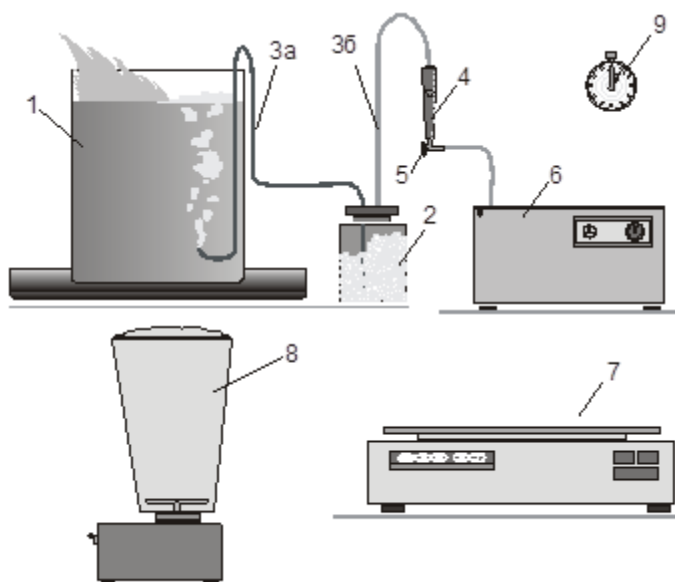


Рисунок 1.12 – Схема установки, используемой при проведении лабораторных испытаний по тушению нефтепродуктов подслоиным способом [114]:

- 1 – модель резервуара; 2 – промежуточная емкость с пеной; 3 – трубопровод для подачи пены в резервуар; 4 – измеритель расхода воздуха (ротаметр);  
 5 – регулирующий вентиль; 6 – компрессор; 7 – одночашечные весы;  
 8 – устройство для получения пены; 9 – секундомер;  
 10 – трубопровод для подачи воздуха в емкость с пеной

Исследования по данной методике связаны с рядом трудностей, которые не так заметны при проведении испытаний, где время тушения находится в диапазоне от 33 до 43 с. Методика предполагает тушение пеной, которая приготавливается заранее в электромеханическом устройстве. Пена заливается в разъемный герметичный контейнер, откуда вытесняется в трубопровод сжатым воздухом после закрытия контейнера. Подъем пены происходит с глубины, не превышающей 0,15 м. В течение всего времени тушения происходит процесс синерезиса, сопровождающийся увеличением кратности пены, и количество выделенного рабочего раствора в отдельных случаях превышает 50 % от исходной массы пены. При исследовании процесса тушения СМТ нерационально применять данную методику по причине более высоких значений времени подачи

пены и отсутствия возможности повысить ее устойчивость без изменения состава пенообразователя.

Методика, представленная в НПБ 304-2001 [115] является одной из существующих методик определения эффективности подслоного тушения, где образование пены происходит одновременно с ее подачей, таким образом, минимизируется ее разрушение. Подъем пены происходит с глубины 1 метра, что позволяет более полно учитывать процессы, связанные с взаимодействием пены и горючей жидкости. Несмотря на очевидные преимущества, методика не позволяет производить изменение кратности пены и определять ее значение во время проведения эксперимента. При ее использовании значение кратности пены устанавливается до или после испытаний по тушению. Как правило, величина низкой кратности находится весовым способом, зарекомендовавшим себя при испытаниях пены средней кратности, как наиболее простой. Способы подачи пены в мерную емкость также различаются. Пену можно подать снизу и сверху, направляя струю в дно или в стенку емкости. От соударения происходит дополнительное перемешивание внутри мерной емкости, сопровождающееся образованием более высокой кратности, чем была в подводящем трубопроводе. Разница полученных значений для пены средней кратности не так заметна, как для пены низкой кратности. В лучшем случае весовой способ определяет кратность на средних значениях рабочего давления, в худшем на каком-либо участке диапазона давлений. Таким образом, значение измеренной кратности отличается от фактической кратности пены, используемой для тушения. Напорно-расходные характеристики генераторов пены низкой кратности для подслоной подачи находятся в достаточно широком диапазоне давлений, при этом внутри подводящего трубопровода создается противодействие, также влияющее на кратность.

В ГОСТ Р 53290–2009 [116] описана методика испытания высоконапорных генераторов пены низкой кратности для подслоного пожаротушения. На рисунке 1.13 приведена схема установки для испытания.

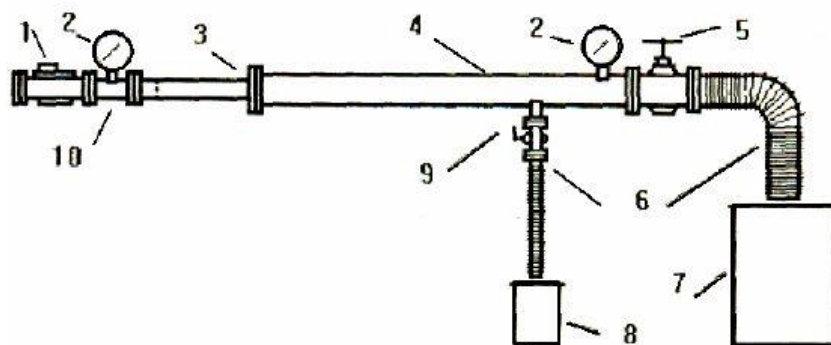


Рисунок 1.13 – Схема установки для испытания высоконапорных генераторов [116]: 1 – расходомер; 2 – манометры; 3 – пеногенератор; 4 – основной трубопровод; 5 – задвижка; 6 – эластичные рукава; 7 – емкость 200 л; 8 – емкость 8 л; 9 – шаровой кран; 10 – дополнительный трубопровод

Сущность методики измерения кратности пены заключается в следующем. Приготавливают рабочий раствор пенообразователя в заданной концентрации. Испытание для определения кратности пены начинают проводить, как только перед генератором установилось рабочее давление. За счет перекрытия трубопровода с помощью задвижки (5) в пенопроводе создают давление равное 40 % рабочего давления раствора пенообразователя. Давление раствора пенообразователя и пены фиксируется по манометрам (2).

После достижения необходимого давления в пенокамере, открывается шаровой кран (9) и заполняется емкость объемом  $10,0 \pm 0,1$  л. Затем путем взвешивания определяют массу пены. Кратность пены ( $K$ ) рассчитывают по формуле 1.10:

$$K = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{р-ра}}}, \quad (1.10)$$

где  $K$  – кратность пены;

$V_{\text{п}}$  – объем пены, л;

$V_{\text{р-ра}}$  – объем раствора пенообразователя, численно равный массе пены, л.



Недостатком данного способа является существенное различие значения кратности пены внутри основного трубопровода со значением кратности пены в емкости. Задвижка (5) для имитации противодействия способствует дополнительному пенообразованию. При отборе пены в емкость происходит ее барботирование воздухом. В данном способе не учитывается влияние высокого встречного давления, которое при подслоном пожаротушении создается слоем горючей жидкости. При высоте слоя жидкости в РВС 12 м, оно приблизительно составляет 0,85 атм.

В работе [117] для решения проблемы барботирования воздуха при отборе пены в емкость предлагается применять узел отбора, в котором, в выход пробоотборника вводят металлическую трубку. Эта трубка опущена в емкость до уровня 0,03 метра выше дна. Этот способ частично предотвращает барботирование в момент отбора пены, но не учитывает влияние противодействия. Таким образом, значение полученной кратности пены будет отличаться от значений фактической, подаваемой в РВС. Так же методики, которые используются в ГОСТ, не учитывают изменение кратности пены во время подачи и при нестабильном рабочем давлении. В лучшем случае весовой способ подразумевает определение средних значений кратности. В худшем определяется кратность на каком-либо участке рабочего диапазона давлений. Создаваемое при таких испытаниях противодействие является условным, так как пена в результате все равно попадает в мерную емкость, а пенные пузыри окружает давление, соответствующее атмосферному. В реальных условиях после получения пены на высоконапорном генераторе и ее подачи в основание РВС кратность пены будет иной, так как к атмосферному давлению добавляется давление столба горючей жидкости. Таким образом, возникла необходимость определения кратности пены, поступающей в основание РВС во время подслоной подачи.

### **Выводы по главе 1**

1. Для ликвидации пламенного горения современных СМТ возможно использование существующих систем подслоной подачи пены, получивших широкое распространение для тушения наиболее сложных пожаров нефти и нефтепродуктов в РВС.

2. При взаимодействии СМТ с пеной происходит инактивация поверхностно-активных веществ и снижается кратность пены, однако указанное взаимодействие не учитывается в существующих системах подслоного пожаротушения.

3. В литературных источниках отсутствуют данные о требуемой кратности пены для подслоного тушения современных СМТ в РВС с различной высотой стенки. Существующие методики определения кратности имеют большую погрешность.

## **ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ**

### **2.1 Разработанные методики и вещества, используемые в работе**

В соответствии с ГОСТ Р 53280.2-2010 «Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслойного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний» [114] для подслойного пожаротушения РВС применяются пенообразователи типа AFFF.

В настоящей работе для приготовления рабочих растворов использовалось четыре образца пенообразователей в рабочей концентрации 3 %. Два образца пенообразователей типа AFFF соответствующих ГОСТ Р 50588-2012 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний» [118] и ГОСТ Р 53280.2-2010 [114], а так же два образца пенообразователей типа AFFF/AR и AFFF/AR-LV, соответствующих ГОСТ Р 50588-2012 [114] и ГОСТ Р 53280.1 «Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водорастворимых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний» [119]. Спиртоустойчивые пенообразователи испытывались для определения возможности их применения в подслойном пожаротушении СМТ. Пенообразователи различных типов были пронумерованы. Образцам пенообразователей типа AFFF присвоены соответственно №1 и №4, образцу пенообразователя типа AFFF/AR-LV – №2, образцу пенообразователя типа AFFF/AR – №3.

Характеристики пенообразователей, используемых в данной работе, представлены в приложении А.

### 2.1.1 Вещества, используемые в работе

Для выполнения исследования применялись следующие вещества:

- вода дистиллированная по ГОСТ 6709 [120];
- питьевая вода с удельной электропроводностью не более 0,1 См/м по ГОСТ Р 50588-2012 (далее – вода питьевая) [118];
- спирт изопропиловый абсолютный с массовой долей основного вещества не менее 99,9 % по ГОСТ 9805-84 [121];
- прямогонный бензин с отсутствием водорастворимых кислот и щелочей по ГОСТ 6307-75 [122] (далее – прямогонный бензин);
- н-гептан по ГОСТ 25828 [123];
- пенообразователь №1 типа AFFF (далее – пенообразователь №1).  
Технические характеристики пенообразователя представлены в таблице А.1;
- пенообразователь №2 типа AFFF/AR-LV (далее – пенообразователь №2).  
Технические характеристики пенообразователя №2 представлены в таблице А.2;
- пенообразователь №3 типа AFFF/AR (далее – пенообразователь №3).  
Технические характеристики пенообразователя №3 представлены в таблице А.3;
- пенообразователь №4 типа AFFF (далее – пенообразователь №4).  
Технические характеристики пенообразователя №4 представлены в таблице А.4
- калий хлористый по ГОСТ 4568 [124].

## 2.1.2 Определение поверхностного и межфазного натяжения рабочего раствора пенообразователя

Для подтверждения заявленных характеристик пенообразователей, используемых в работе, проводились измерения поверхностного и межфазного натяжения рабочих растворов, приготовленных на их основе. Измерения проводили по методике и в условиях окружающей среды, в соответствии с п.5.8 ГОСТ Р 50588–2012 [118].

Сущность методики заключается в измерении при помощи тензиометра силы отрыва проволочного металлического кольца от поверхности раздела фаз.

Поверхностное натяжение определяется на границе раздела фаз воздух – рабочий раствор пенообразователя. Межфазное натяжение определяется на границе раздела фаз: рабочий раствор пенообразователя – н-гептан.

## 2.1.3 Приготовление модельных топлив для проведения испытаний

Для обеспечения воспроизводимости результатов экспериментов по определению огнетушащей эффективности пены использованы модельные топлива с заданным содержанием спиртового компонента. Для расчета концентрации компонентов в СМТ, предложены расчетные формулы [125,126]:

$$\varphi_{\text{O}} = \frac{\omega_{\text{O}} A \rho_{\text{ОКС}}}{\rho_{\text{ОКС}} A + \rho_{\text{Г}} (1 - A)}; \quad (2.1)$$

$$\omega_{\text{O}} = \frac{\text{Ar}(\text{O})}{\text{Mr}(\text{окс})} 100\%, \quad (2.2)$$

где  $\varphi_{\text{O}}$  – массовая доля кислорода в модельном топливе, %;

$A$  – объемная доля оксигената, доли;

$\rho_{\text{ОКС}}$  – плотность оксигената, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\Gamma}$  – плотность углеводородного компонента,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\omega_{\text{O}}$  – массовая доля кислорода в оксигенате, %.

$A_{\text{r}}(\text{O})$  – относительная атомная масса кислорода;

$M_{\text{r}}(\text{окс})$  – относительная молекулярная масса оксигената.

В модельных топливах должно выдерживаться соотношение: объемная доля оксигената – массовая доля кислорода. Данное условие соответствует требованиям, установленным действующим техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС-013-2011 [1] по объемной доле добавки и массовой доле кислорода в СМТ.

В качестве компонентов в модельных топливах применялись прямогонный бензин и изопропиловый спирт. Подготовка модельных топлив для исследований, с максимальной массовой долей кислорода 2,7 % в соответствии с техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС-013-2011 [1] производилась в границах диапазона: от 0 % до 10 % об. изопропилового спирта. Объемное соотношение компонентов в модельных топливах представлено в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Объемное соотношение компонентов в СМТ

Модельное топливо	Соотношение компонентов в модельном топливе				Массовая доля кислорода, %
	Объемная доля, % (об.)		Массовая доля, % (масс.)		
	Изопропиловый спирт	Прямогонный бензин	Изопропиловый спирт	Прямогонный бензин	
СМТ №1	0,0	100,0	0,0	100,0	0,00
СМТ №2	5,0	95,0	5,5	94,5	1,48
СМТ №3	7,5	92,5	8,3	91,7	2,21
СМТ №4	10,0	90,0	11,0	89,0	2,94

Модельные топлива приготавливали в металлических бочках, объемом 205 л, используя весовой способ. Работы по подготовке модельных топлив проводили в следующей последовательности: распаковка опечатанных емкостей с горючей жидкостью, снятие пломб; маркировка и этикетирование тары; отбор проб горючей жидкости, определение их температуры и плотности; подпись полученных значений на этикетках.

## **2.1.4 Методика определения времени тушения спиртосодержащих моторных топлив пеной низкой кратности подслоиным способом**

Для решения первой поставленной в работе задачи, разработана методика определения времени тушения СМТ в зависимости от интенсивности подачи пены заданной кратности подслоиным способом, в основе которой лежит методика, приведенная в НПБ 304-2001 [115].

Сущность разработанной методики заключается в определении времени подслоиногo тушения смесевогo топлива в противнях различного диаметра пеной, кратность которой регулируется величиной принудительной подачи воздуха.

### **2.1.4.1 Применяемое оборудование и средства измерений**

Для выполнения экспериментов использовалось следующее оборудование и средства измерений:

- цилиндр мерный вместимостью 500 см<sup>3</sup> по ГОСТ 1770 [127] для приготовления рабочего раствора пенообразователя;
- цилиндр мерный вместимостью 2000 см<sup>3</sup> и ценой деления не более 20 см<sup>3</sup> по ГОСТ 1770 [127];
- насос водяной по ГОСТ Р 50588 [118], обеспечивающий объемный расход раствора от 0,045 до 0,049 дм<sup>3</sup>/с при давлении 0,4–0,9 МПа;
- источник сжатого воздуха (компрессор) с рабочим давлением от 0,08 до 0,12 МПа;
- манометр газовый по ГОСТ 2405 [128] с верхним пределом измерения не более 0,15 МПа и ценой деления не более 0,01 МПа, установленный на выходе насоса;

- манометр жидкостный по ГОСТ 2405 [128] с верхним пределом измерения 1,00 МПа и ценой деления не более 0,04 МПа, установленный на выходе насоса;
- расходомер жидкостный с ценой деления не более 1 л, установленный на входе в пеногенератор;
- термометр по ГОСТ 28498 [129] с диапазоном измерений от 0 °С до 100 °С и ценой деления не более 1 °С;
- секундомер с пределом измерений 60 мин и ценой деления не более 0,2 с;
- емкость мерная по ГОСТ Р 50588 [118] для приготовления рабочего раствора пенообразователя, вместимостью от 100 дм<sup>3</sup>;
- мерная емкость объемом 200 л;
- весы с пределом измерения 10 кг и погрешностью измерений не более 0,01 кг;
- весы с пределом измерения 50 кг и погрешностью измерений не более 0,01 кг;
- пеногенератор лабораторный, обеспечивающий расход по рабочему раствору от 0,050 до 0,095 л/с при давлении на водяном насосе 0,90±0,02 МПа и давлении воздуха 0,09 до 0,11 МПа;
- пеногенератор лабораторный, обеспечивающий расход по рабочему раствору от 0,038 до 0,051 л/с при давлении на водяном насосе 0,90±0,02 МПа и давлении воздуха 0,09 до 0,11 МПа;
- съемные металлические противни, изготовленные из стали низкой прочности толщиной стенок 2,50±0,05 мм, высотой бортов 300±10 мм с внутренним диаметром 1,00, 1,20, 1,40, 1,58 м;
- основание модельного очага, изготовленное из стали низкой прочности толщиной стенок 2,50±0,05 мм, внутренним диаметром 0,2±0,0005 м и высотой 1,2±0,1 м. В нижней части основания модельного очага находится узел подключения пеногенератора с вертикальной, подающей пену, цилиндрической насадкой, высота которой составляет 0,25±0,1 м;



– подставка модельного очага, металлическая конструкция, препятствующая опрокидыванию модельного очага и позволяющая выдерживать вертикальный и горизонтальные уровни противня;

– вставка с электродами (металлические пластины площадью  $2,5 \text{ см}^2$  расположенные друг напротив друга внутри трубы, выполненной из диэлектрического материала для определения удельной электропроводности пены);

– измеритель удельной электропроводности прибор Е 7-8.

#### 2.1.4.2 Описание экспериментальной установки и методики проведения испытаний

Методика предполагает подачу пены в основание модельного очага, Т-образной формы, схема которого представлена на рисунке 2.1.

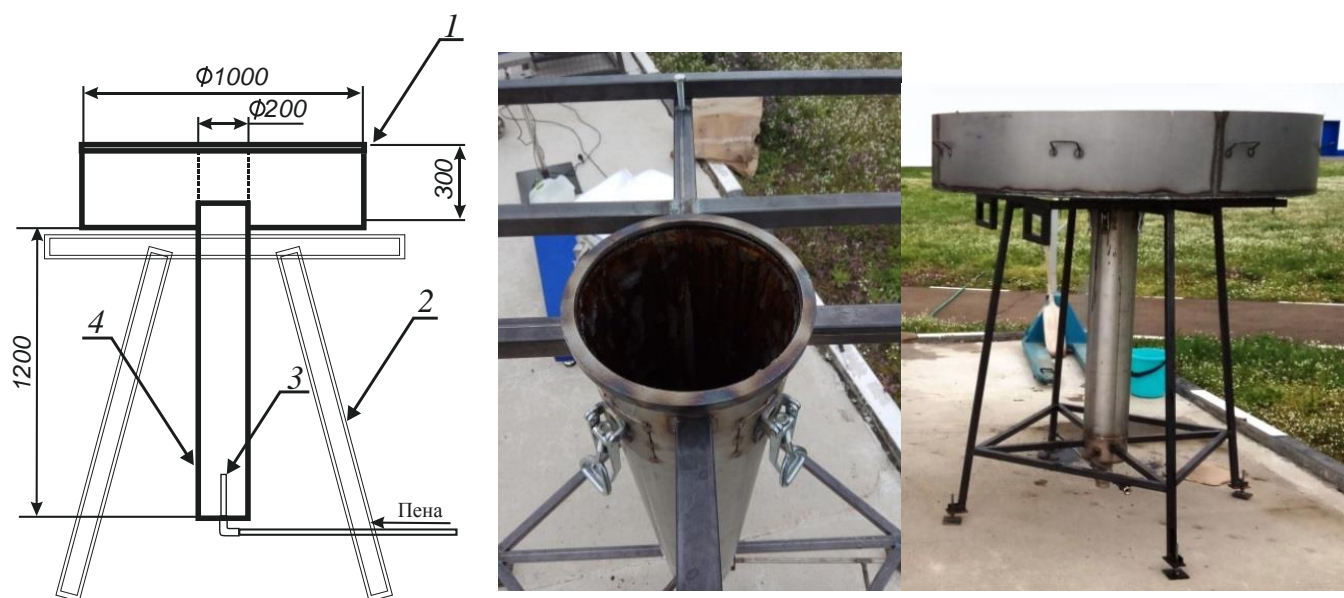


Рисунок 2.1 – Модельный очаг экспериментальной установки:

1 – круглый противень модельного очага; 2 – подставка; 3 – насадок;

4 – основание модельного очага

Модельный очаг, состоит из двух составных частей: круглый съемный противень (1) и цилиндрическая труба – основание модельного очага (4).

Для обеспечения требуемого диапазона интенсивностей подачи пены использовались четыре съемных круглых противня модельного очага (внутренний диаметр 1,00, 1,20, 1,40, 1,58 м). Для увеличения интенсивности подачи пены противень большего диаметра менялся на противень меньшего диаметра.

Верхняя часть основания модельного очага присоединяется к съемному противню. В нижней части находится насадка (3), высота которого составляет 0,25 м. Он расположен в нижней части трубы для того, чтобы отсек, который образовывается вследствие экстракции спирта из СМТ пеной, не препятствовал ее подаче. Т-образный очаг устанавливается на металлической конструкции – подставке (2), препятствующей опрокидыванию и позволяющей выдерживать вертикальный и горизонтальный уровни противня.

На рисунке 2.2 представлена схема экспериментальной установки.

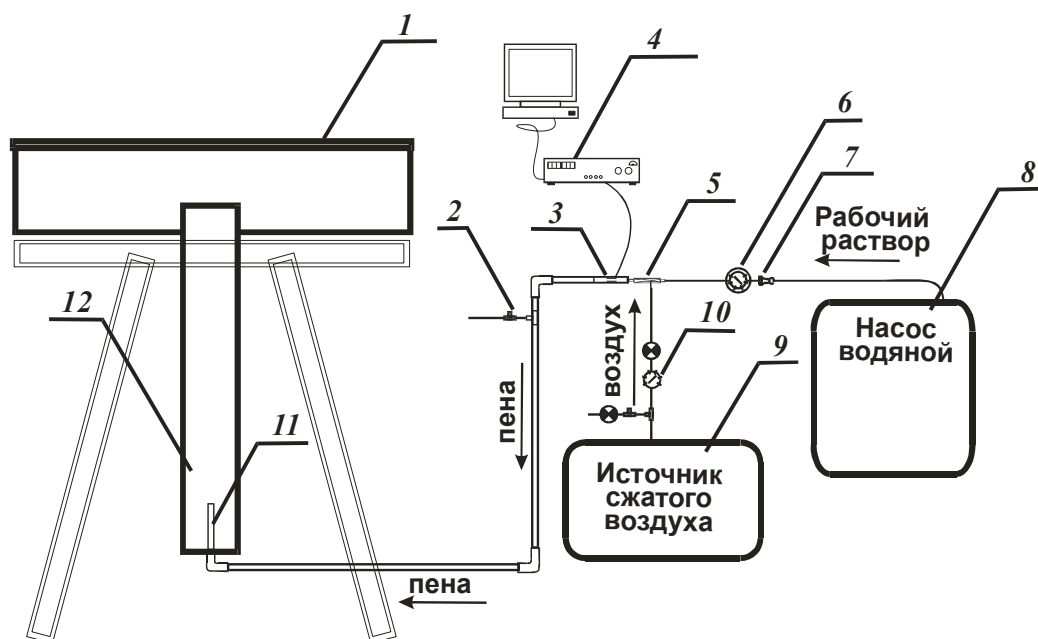


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема модельного очага экспериментальной установки: 1– круглый противень модельного очага, 2 – шаровой кран; 3 – электроды; 4 – измерительное устройство; 5 – пеногенератор; 6 – манометр жидкостный; 7 – расходомер жидкостный; 8 – насос водяной; 9 – источник сжатого воздуха; 10 – манометр газовый; 11 – насадка; 12 – основание модельного очага

К основанию модельного очага подключен пенопровод. Его внутренний диаметр 0,04 м, длина 4,5 м. На пенопроводе установлен шаровой кран, вставка с электродами, к которой подключается пеногенератор.

К пеногенератору с одной стороны принудительно с помощью компрессора подается воздух, объем которого контролируется по газовому манометру. С другой стороны, водяным насосом рабочий раствор пенообразователя. Объем поданного раствора фиксируется по жидкостному расходомеру, который размещен непосредственно перед пеногенератором. Давление на насосе контролируется по манометру. Регулирование расхода рабочего раствора обеспечивается двумя сменными пеногенераторами.

Первый пеногенератор обеспечивает расход от 0,038 до 0,051 л/с, а второй – от 0,050 до 0,095 л/с.

#### **2.1.4.3 Подготовка к испытанию**

Для проведения эксперимента готовили от 190 до 350 л смесового модельного топлива, в зависимости от диаметра противня в модельном очаге, которое термостатировали при температуре  $20 \pm 2$  °С в течение 12 часов. Модельный очаг тщательно промывали питьевой водой и высушивали в течение 30 минут. После этого, приготавливали 100 л раствора пенообразователя в заданной рабочей концентрации. Термометром измеряли его температуру. Рабочий раствор пенообразователя приготавливали таким образом, чтобы его температура составляла  $20 \pm 2$  °С. К пеногенератору подключали водяной и воздушный трубопроводы и производили калибровку установки по кратности пены. Методика проведения калибровки описана в работе [130]. Далее устанавливали рабочее давление на водяном насосе и давление воздуха. Термометром измеряли температуру СМТ. Температура СМТ должна составлять  $20 \pm 2$  °С. Топливо заливали в модельный очаг.

#### 2.1.4.4 Проведение испытания

Условия проведения испытания: температура воздуха  $20,0 \pm 5,0$  °С, давление от 85 до 110 кПа, относительная влажность воздуха от 60 до 85 %, скорость ветра не более 3 м/с. Испытания проводили на открытом воздухе.

Подавали в пеногенератор рабочий раствор пенообразователя и воздуха, регулируя и устанавливая рабочее давление на водяном насосе и давление воздуха. При этом шаровой кран 10 находился в открытом положении, при котором имеется возможность визуализации пенообразования, как показано на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Отбор пены из отвода подводящего трубопровода до выхода экспериментальной установки на рабочий режим

После того, как стабилизируется пенообразование, и установка выйдет в рабочий режим начинается проверка регистрации удельной электропроводности пены. Производили поджиг горючего в противне и включение секундомера. Время свободного горения составляет  $(60 \pm 5)$  с.

Шаровой кран перекрывали. Таким образом, происходило перенаправление движения пены в подводящий трубопровод основания модельного очага. Начинали подачу пены и регистрацию ее удельной электропроводности. Фиксировали время с момента подачи пены до момента прекращения горения. После завершения эксперимента модельный очаг тщательно промывали питьевой водой и высушивали не менее 30 минут.

#### **2.1.4.5 Обработка результатов**

За результат испытания принимали среднеарифметическое значение трех параллельных определений времени тушения при фиксированной интенсивности подачи пены. Допустимое расхождение между результатами испытаний времени тушения с доверительной вероятностью 0,80, должно быть в пределах  $\pm 30\%$  от среднего значения. Допустимое расхождение между значениями интенсивности подачи пены с доверительной вероятностью 0,90, должно быть в пределах  $\pm 20\%$  от среднего значения. Рассчитывали удельный расход как произведение интенсивности подачи на время тушения. Строили зависимости времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены.

#### **2.1.5 Методика определения кратности пены при тушении спиртосодержащих моторных топлив подслоным способом**

Для измерения кратности пены при подслоном пожаротушении в течение всего времени проведения эксперимента, разработана экспериментальная установка и методика определения кратности.

Сущность методики заключается в измерении удельной электропроводности пены, увеличение которой происходит пропорционально снижению ее кратности [131].

### 2.1.5.1 Применяемое оборудование и средства измерений

Для выполнения экспериментов использовалось следующее оборудование и средства измерений:

- цилиндр мерный вместимостью 500 см<sup>3</sup> по ГОСТ 1770 [127] для приготовления рабочего раствора пенообразователя;
- цилиндр мерный вместимостью 2000 см<sup>3</sup> и ценой деления не более 20 см<sup>3</sup> по ГОСТ 1770 [127];
- насос водяной по ГОСТ Р 50588 [118], обеспечивающий объемный расход раствора от 0,045 до 0,049 дм<sup>3</sup>/с при давлении 0,4–0,9 МПа;
- источник сжатого воздуха (компрессор) с рабочим давлением от 0,08 до 0,12 МПа;
- манометр газовый по ГОСТ 2405 [128] с верхним пределом измерения не более 0,15 МПа и ценой деления не более 0,01 МПа, установленный на выходе насоса;
- манометр жидкостный по ГОСТ 2405 [128] с верхним пределом измерения 1,00 МПа и ценой деления не более 0,04 МПа, установленный на выходе насоса;
- расходомер жидкостный с ценой деления не более 1 л, установленный на входе в пеногенератор;
- расходомер воздушный термоанемический установленный на входе в пеногенератор, обеспечивающий измерение количества (масса, объем) подаваемого воздуха в диапазоне от 0,05 до 1,5 л/с;
- термометр по ГОСТ 28498 [129] с диапазоном измерений от 0 °С до 100 °С и ценой деления не более 1 °С;

- емкость мерная по ГОСТ Р 50588 [118] для приготовления рабочего раствора пенообразователя, вместимостью от 100 дм<sup>3</sup>;
- мерная емкость объемом 200 л;
- весы с пределом измерения 10 кг и погрешностью измерений не более 0,01 кг;
- весы с пределом измерения 50 кг и погрешностью измерений не более 0,01 кг;
- пеногенератор лабораторный, обеспечивающий расход по рабочему раствору от 0,050 до 0,095 л/с при давлении на водяном насосе 0,90±0,02 МПа и давлении воздуха 0,09 до 0,11 МПа;
- пеногенератор лабораторный, обеспечивающий расход по рабочему раствору от 0,038 до 0,051 л/с при давлении на водяном насосе 0,90±0,02 МПа и давлении воздуха 0,09 до 0,11 МПа;
- вставка с электродами (металлические пластины площадью 2,5 см<sup>2</sup> расположенные друг напротив друга внутри трубы, выполненной из диэлектрического материала для определения удельной электропроводности пены);
- измеритель удельной электропроводности прибор Е 7-8.
- ячейка для определения удельной электропроводности жидкостей с электродами площадью 2,5 см<sup>2</sup>, расположенными друг напротив друга внутри ячейки.

### **2.1.5.2 Описание экспериментальной установки и методики проведения испытаний**

Принципиальная схема установки показана на рисунке 2.4.

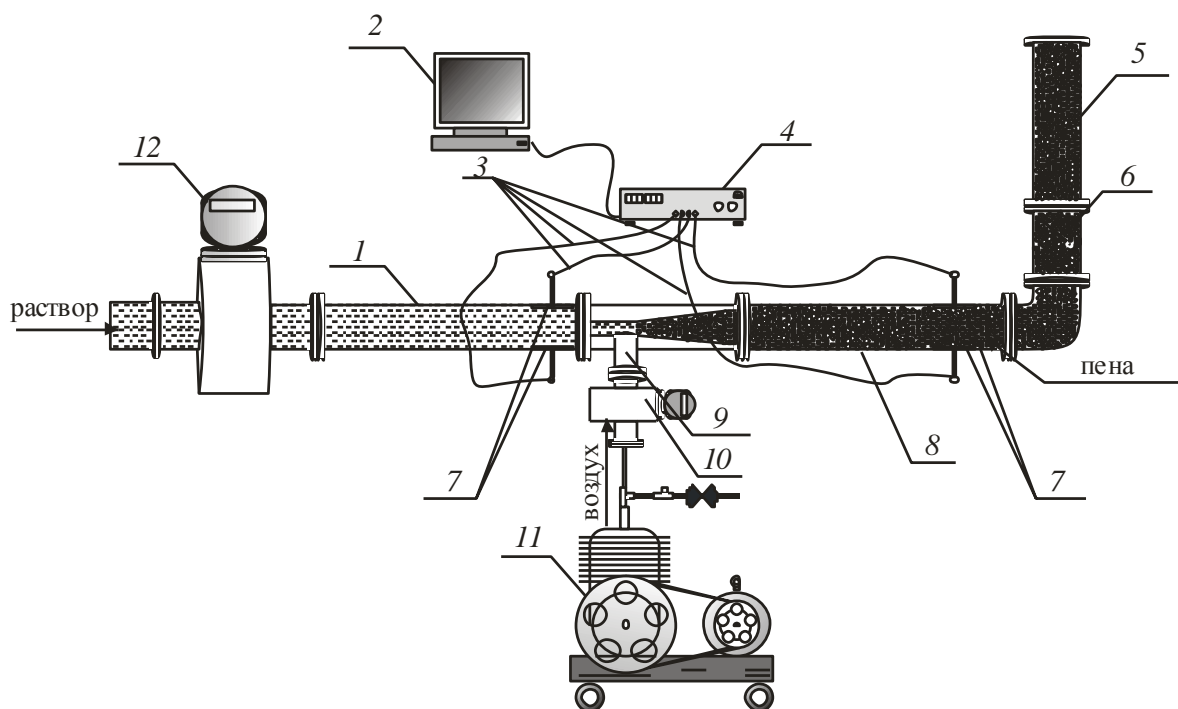


Рисунок 2.4 – Схема экспериментальной установки для определения кратности в режиме реального времени: 1, 8 – труба из диэлектрического материала; 2 – компьютер; 3 – электроды; 4 – измеритель удельной электропроводности; 5 – подводящий трубопровод; 6 – обратный клапан; 7 – металлические пластины; 9 – воздушный патрубок; 10 – расходомер воздушный; 11 – компрессор; 12 – расходомер по раствору

Экспериментальная установка включает в себя две трубы, выполненные из диэлектрического материала (1, 8), две парные пластины из нержавеющей стали, установленные внутри труб (7). Пластины расположены напротив друг друга, площадь каждой составляет  $2,5 \text{ см}^2$ . Тыльные стороны пластин (расположенные возле трубы) покрыты диэлектрическим материалом. К каждой из пластин подключены электроды (3), которые выведены к измерителю электрического сопротивления (4). Данные выводятся на регистратор (2). На входе первой трубы установлен расходомер по раствору (12). На входе второй трубы установлен воздушный патрубок (9), в котором расположен расходомер по воздуху (10). Воздух подается из компрессора (11) принудительно. Это позволяет регулировать



его количество, для того чтобы изменять кратность огнетушащей пены непосредственно во время проведения тушения СМТ.

Объем подаваемого раствора пенообразователя контролируется водяным расходомером. В трубе (5) установлен обратный клапан (6), для того чтобы выявить влияние на кратность пены противодавления, создаваемого столбом горючей жидкости, которой заполняют трубу 5.

Для корректного определения кратности пены в течение всего времени проведения полигонных испытаний по тушению модельных топлив подслоным способом, экспериментальную установку необходимо было предварительно настроить. Для этого в лабораторных условиях использовали калиброванную ячейку (рисунок 2.5), с помощью которой определяли удельную электропроводность растворов пенообразователей, используемых в данной работе. В ячейке, как и в экспериментальной установке, установлены две пластины из нержавеющей стали такой же площади и геометрической формы. К пластинам подключены электроды, которые выведены к измерительному прибору. Для определения электропроводности раствора необходимо было применять мост с частотой не менее 1000 Гц. В качестве моста использовали прибор Е7-8 (рисунок 2.6) способный в автоматическом режиме разделять активную и реактивную составляющие.

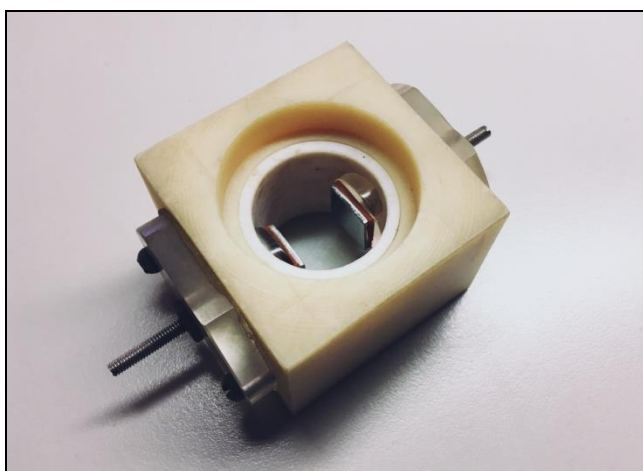


Рисунок 2.5 – Ячейка для определения удельной электропроводности



Рисунок 2.6 – Прибор Е7-8

В качестве жидкости для калибровки, был взят водный раствор хлорида калия. Соль растворяли в дистиллированной воде и приготавливали ее раствор в заданной концентрации, который затем помещали в калибровочную ячейку. Удельную электропроводность раствора хлорида калия данной концентрации предварительно определяли по таблицам справочника химика [132]. Затем эти табличные значения сравнивали с полученными значениями удельной электропроводности в ячейке в ходе эксперимента. После этого определяли коэффициент ячейки для различных показателей сопротивлений растворов различной концентрации (отношение истинного (табличного) значения электропроводности к полученному в эксперименте).

Математическая зависимость коэффициента ячейки от сопротивления носит линейный характер и может быть определена по уравнению 2.3:

$$A = -0,0021R + 32, \quad (2.3)$$

где  $A$  – коэффициент ячейки,  $\text{м}^{-1}$ ;

$R$  – сопротивление между электродами, Ом.

На рисунке 2.7 представлена зависимость фактических значений коэффициента ячейки от сопротивления водного раствора хлорида калия между электродами.

После определения коэффициента ячейки, в нее заливали рабочий раствор пенообразователя заданной концентрации, для определения его удельной электропроводности.

Строили градуировочную кривую №1 – соответствия сопротивления между электродами ячейки с раствором в заданной концентрации и фактической удельной электропроводностью этого раствора пенообразователя.

Градуировочная зависимость для раствора пенообразователя типа AFFF представлена на рисунке 2.8.

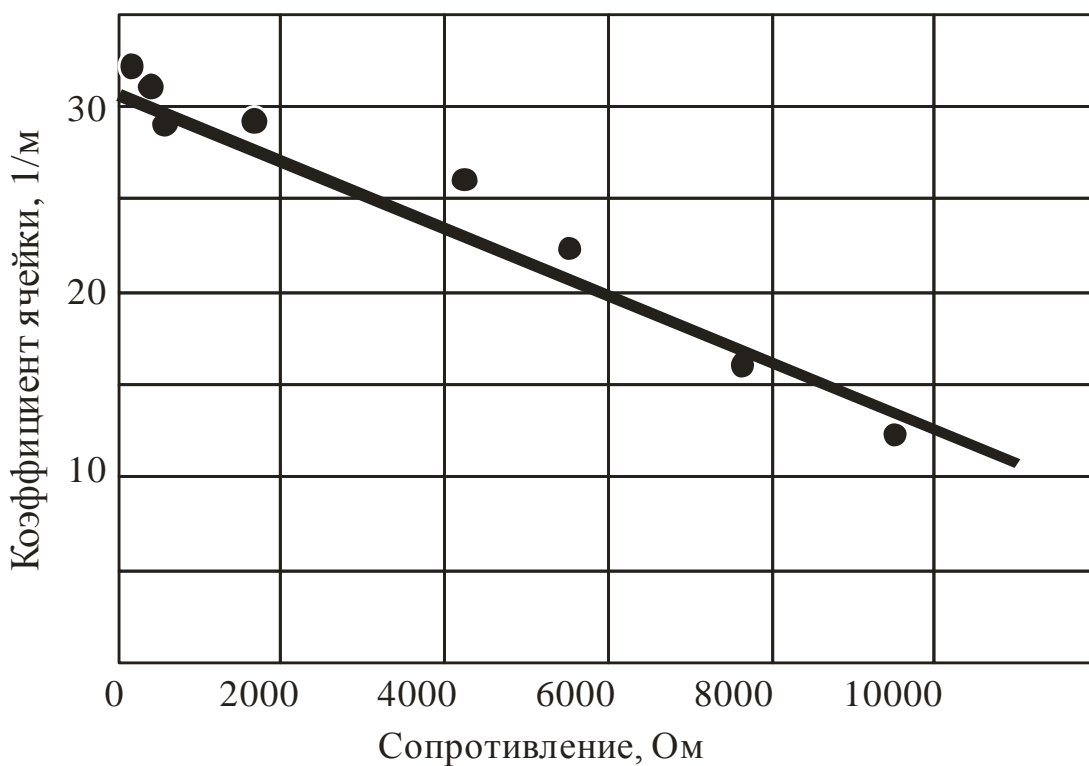


Рисунок 2.7 – Зависимость коэффициента ячейки от сопротивления водного раствора хлорида калия между электродами

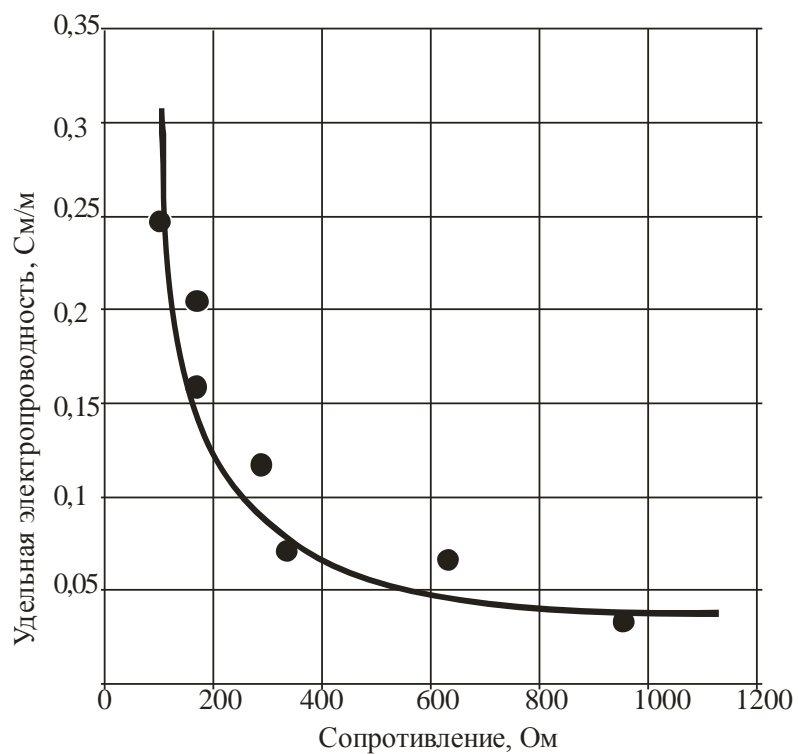


Рисунок 2.8 – Градуировочная кривая №1 соответствия сопротивления между электродами ячейки с раствором пенообразователя и фактической удельной электропроводности этого раствора

После определения значений удельной электропроводности используемых растворов пенообразователей, различной концентрации, проводили корректировку экспериментальной установки (рисунок 2.4) на полигоне. Сначала в трубе (5) отсутствует жидкость, т.е. в системе нет противодавления.

В трубу (1) подавали раствор пенообразователя заданной концентрации. Проводили измерения электрического сопротивления раствора различной концентрации. После этого, зная удельную электропроводность данного раствора (определенную в лаборатории при помощи калибровочной ячейки), определяли коэффициент «ячейки» для участка установки в трубе (1). Ввиду того, что участок установки трубы (1) и участок установки трубы (8) конструктивно выполнены идентично, то коэффициенты ячеек для этих участков будут различаться в пределах погрешности измерений.

Для определения удельной электропроводности пены, получаемой на участке трубы (8), необходимо воспользоваться математической зависимостью (1.5), предложенной Тихомировым В.К. [106].

Находили электросопротивление образовавшейся пены между электродами и ее кратность в трубе (8).

Кратность рассчитывали как отношение суммы объема раствора пенообразователя и объема воздуха к объему раствора пенообразователя по формуле 2.4:

$$K_{\Pi} = \frac{V_{\text{P}} + V_{\text{B}}}{V_{\text{P}}}, \quad (2.4)$$

где  $V_{\text{P}}$  – объем рабочего раствора пенообразователя в пене, м<sup>3</sup>;

$V_{\Pi}$  – объем пены, м<sup>3</sup>.

$V_{\text{B}}$  – объем воздуха в пене, м<sup>3</sup>.

Значения объемов воздуха и раствора устанавливали по показателям расходомеров (10), (12) (рисунок 2.4).

Удельную электропроводность пены определяли, используя коэффициенты ячейки, полученные при помощи выражения (2.3). Затем, строили градуировочную кривую №2 (рисунок 2.9).

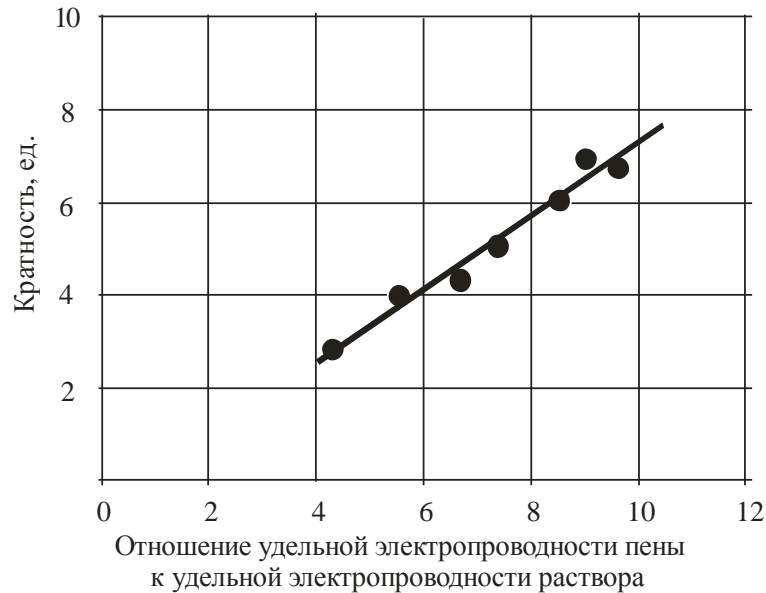


Рисунок 2.9 – Градуировочная кривая №2 определения кратности пены по отношению удельных электропроводностей

Градуировочная кривая №2 показывает изменение кратности пены от величины отношения удельной электропроводности пены к удельной электропроводности рабочего раствора.

### 2.1.5.3 Подготовка к испытанию

Приготавливали рабочий раствор пенообразователя и проводили измерение его удельной электропроводности. К пеногенератору подключали водяной и воздушный трубопроводы и выполняли калибровку установки. Устанавливали рабочее давление на водяном насосе и требуемое давление воздуха.

#### **2.1.5.4 Проведение испытания**

Испытания проводили на открытом воздухе при следующих условиях: температура воздуха  $20,0 \pm 5,0^\circ\text{C}$ , давление от 85 до 110 кПа, относительная влажность воздуха от 60 до 85 %, скорость ветра не более 3 м/с.

После выхода установки в рабочий режим пенообразования с открытым шаровым краном производили визуализация пенообразования, устанавливали работоспособность вставки и прибора по определению удельной электропроводности пены. Выполняли регистрацию удельной электропроводности пены с момента начала подачи пены в основание модельного очага до момента прекращения подачи с интервалами через каждые 5 с.

#### **2.1.5.5 Обработка результатов**

По градуировочной кривой производили определение величины кратности пены по измеренным значениям удельных электропроводностей пены и удельной электропроводности рабочего раствора. За результат испытания принимали среднеарифметическое всех параллельных определений кратности. Допустимое расхождение между результатами испытаний с доверительной вероятностью 0,90, находится в пределах  $\pm 20\%$  от среднего.

#### **2.1.6 Методика экспериментального определения кратности пены в зависимости от концентрации спирта в рабочем растворе пенообразователя**

Для решения второй научной задачи предложена методика, позволяющая оценить сохранение пенообразующей способности рабочих растворов пенообразователей в присутствии антивспенивателя.

Сущность методики заключается в определении кратности пены, полученной в электромеханическом устройстве из рабочих растворов пенообразователей, содержащих спирт в различной объемной концентрации.

### 2.1.6.1 Применяемое оборудование и средства измерений

Для выполнения экспериментов использовалось следующее оборудование и средства измерений:

- цилиндр мерный по ГОСТ 1770 [127] вместимостью  $500 \text{ см}^3$  и ценой наименьшего деления  $5,0 \text{ см}^3$ ;
- цилиндр мерный по ГОСТ 1770 [127] вместимостью  $250 \text{ см}^3$  и ценой наименьшего деления  $2,0 \text{ см}^3$ ;
- цилиндр мерный по ГОСТ 1770 [127] вместимостью  $100 \text{ см}^3$  и ценой наименьшего деления  $1,0 \text{ см}^3$ ;
- цилиндр мерный по ГОСТ 1770 [127] вместимостью  $50 \text{ см}^3$  и ценой наименьшего деления  $1,0 \text{ см}^3$ ;
- цилиндр мерный по ГОСТ 1770 [127] вместимостью  $25 \text{ см}^3$  и ценой наименьшего деления  $0,5 \text{ см}^3$ ;
- секундомер с пределом измерений 60 мин и ценой деления не более 0,2 с;
- термометр по ГОСТ 28498 [129] с диапазоном измерений от  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  и ценой деления не более  $1^\circ\text{C}$ ;
- электромеханическое устройство по п. 5.3.1 ГОСТ Р 53280.2 [114] для получения пены со съемным прозрачным измерительным стаканом вместимостью  $1100 \text{ см}^3$  и ценой деления  $10 \text{ см}^3$  с металлическим пропеллером, лопасти которого полностью закрываются после налива  $100 \text{ см}^3$  рабочего раствора;

– лабораторный трансформатор типа ЛАТР для плавного регулирования напряжения переменного однофазного тока с пределами регулирования от 0 до 250 В;

– тахометр бесконтактный для определения частоты оборотов пропеллера электромеханического устройства, в диапазоне от 0,05 до 300 об./с, с погрешностью измерений  $\pm 0,5$  % от полученного значения.

### **2.1.6.2 Описание экспериментальной установки и методики проведения испытаний**

Для выявления изменения пенообразующей способности рабочих растворов пенообразователей в зависимости от концентрации в них спирта разработана методика [133–135], основанная на диспергационном способе получения пены в электромеханическом устройстве. Предложенный способ и конструкция электромеханического устройства позволяет полностью использовать весь условный объем рабочего раствора и регулировать процесс пенообразования. Простота предложенной методики позволяет исключить большинство иных возможных причин дополнительного изменения кратности пены для рабочих растворов пенообразователей с различной пенообразующей способностью. В зависимости от скорости вращения пропеллера в съемном стакане электромеханического устройства происходит различное диспергирование воздуха в рабочий раствор пенообразователя. При малой скорости вращения пропеллера создается некоторый избыток раствора, который обеспечивает устойчивое пенообразование, но формирование низкой кратности пены или пеноэмульсии. Формирование смачивающих пленок идет по всей рабочей поверхности металлических лопастей, а зависимость кратности пены от скорости вращения пропеллера сначала будет иметь линейный характер. При увеличении скорости вращения все большее количество раствора участвует в образовании



пены. Однако при достижении скорости вращения таких значений, когда образование пенных пленок не обеспечивается требуемым количеством рабочего раствора, на рабочей поверхности лопастей пропеллера образуются участки с недостаточным количеством смачивающей жидкости. Дальнейшее увеличение скорости вращения дестабилизирует процесс пенообразования, образуются пенные пустоты и существенно снижается кратность пены. Скорость вращения лопастей пропеллера электромеханического устройств регулировалась напряжением подходящего к нему электрического тока при помощи лабораторного трансформатора. Значение максимальной кратности пены и соответствующее ей напряжение определяли экспериментально. Затем определяли скорость вращения вала электромеханического устройства при соответствующем напряжении. Установлено, что максимальная кратность пены образовывалась при скорости вращения, находящейся в диапазоне от 68 до 95 об/с, которая соответствовала напряжению 113–158 В. Поэтому дальнейшие эксперименты проводили при среднем значении указанного диапазона напряжений 135 В и соответствующей ему скорости вращения вентилятора 82 об/с.

На кратность пены, помимо скорости вращения лопастей пропеллера, влияет количество налитого в измерительный стакан рабочего раствора пенообразователя. В экспериментах, где в стакан электромеханического устройства наливалось 120 мл рабочего раствора и более, кратность пены была ниже, чем в экспериментах, где использовалось 90, 100 и 110 мл рабочего раствора. Если в измерительный стакан заливалось менее 90 мл рабочего раствора, то не полностью закрывались металлические лопасти пропеллера. Поэтому для получения пены в проведенных исследованиях решено использовать 100 мл рабочего раствора.

Разработанная методика предполагает, что спирт в качестве антипенователя добавляется непосредственно в рабочий раствор пенообразователя в концентрации, соответствующей максимальному количеству спирта, которое способна экстрагировать пена из модельного топлива с учетом

коэффициента распределения Нернста равного  $2,9 \pm 0,2$ . Например, если в СМТ №4 содержится 10 % (об.) изопропилового спирта, то, согласно нашему допущению, максимально пена может экстрагировать из него 29 % спирта. Таким образом, чтобы проверить в лабораторных условиях, как изменится кратность пены, которая экстрагировала в себя 29 % спирта необходимо приготовить рабочий раствор трехпроцентного пенообразователя с объемной долей спирта 29 % (об.).

### **2.1.6.3 Подготовка к испытанию**

Лабораторную посуду тщательно мыли и высушивали. Приготовление рабочих растворов производили в следующей последовательности. Спирт, вода и пенообразователи термостатируются при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  в течение 5 часов. В мерный цилиндр объемом 500 мл наливали спирт в объеме, соответствующем пятикратной его объемной доли в 100 мл исследуемого рабочего раствора. Затем в мерный цилиндр наливали 15 мл пенообразователя и остальное – вода до 500 мл. Например, для рабочего раствора, содержащего 5% изопропилового спирта, в мерный цилиндр наливали 25 мл спирта, 15 мл пенообразователя и 460 мл воды. Рабочие растворы пенообразователей приготавливаются со следующими объемными концентрациями изопропилового спирта: 0, 10, 15, 21,75, 29 %.

Электромеханическое устройство подключается к лабораторному трансформатору. На трансформаторе устанавливается напряжение 135 В.

### **2.1.6.4 Проведение испытания**

Условия проведения испытания: температура воздуха  $20,0 \pm 2,0$  °С, давление от 85 до 110 кПа, относительная влажность воздуха от 65 до 95 %. Испытания проводили в лабораторных условиях.

Приготовленный исследуемый раствор пенообразователя заливали в измерительный стакан электромеханического устройства. Пену взбивали в течение 30 с. Объем полученной пены определяли по мерным делениям в стакане. Проводили 5 экспериментов для каждого раствора.

#### **2.1.6.5 Обработка результатов**

Рассчитывается величина кратности пены как отношение объема пены к объему раствора пенообразователя. За результат испытания принимали среднеарифметическое пяти параллельных определений кратности. Допустимое расхождение между результатами испытаний с доверительной вероятностью 0,90, было в пределах  $\pm 20$  % от среднего.

### **2.2 Результаты экспериментальных исследований**

#### **2.2.1 Результаты экспериментальных исследований по определению поверхностного и межфазного натяжений рабочего раствора**

В таблице 2.2 представлены значения поверхностного, межфазного натяжения и коэффициента растекания рабочих растворов пенообразователей, используемых в исследовании.

Таблица 2.2 – Результаты экспериментальных исследований по определению поверхностного, межфазного натяжения на границе с н-гептаном рабочих растворов пенообразователей и коэффициента растекания

п/п	Наименование пенообразователя		Поверхностное натяжение рабочего раствора при температуре 20°С, мН/м,	Межфазное натяжение на границе раздела водного раствора пенообразователя с н-гептаном при температуре 20°С, мН/м	Коэффициент растекания по поверхности н-гептана водного раствора пенообразователя при температуре 20°С, мН/м
	Номер образца ПО	Тип ПО			
1	ПО №1	AFFF	15,9	2,9	1,49
2	ПО №2	AFFF/AR-LV	16,1	2,8	1,39
3	ПО №3	AFFF/AR	16,3	2,6	1,39
4	ПО №4	AFFF	16,1	2,5	1,69

Исследования на дистиллированной воде производили для обеспечения воспроизводимости результатов и обозначения поверхностного и межфазного натяжения рабочего раствора пенообразователя как одного из идентификационных признаков пенообразователя. В качестве горючей жидкости использовался н-гептан.

Коэффициент растекания вычисляли по формуле 2.5, представленной в ГОСТ Р 53280.2-2010 [114]:

$$K = \Pi_r - (\Pi_n + M_n), \quad (2.5)$$

где  $M_n$  – межфазное натяжение на границе н-гептана и рабочего раствора пенообразователя, мН/м;

$\Pi_n$  – поверхностное натяжение рабочего раствора пенообразователя, мН/м;

$\Pi_r$  – поверхностное натяжение н-гептана при 20 °С, равное 20,29 мН/м;

$K$  – коэффициент растекания.

### 2.2.2 Результаты экспериментальных исследований по определению пенообразующей способности раствора пенообразователя

На рисунке 2.10 представлены результаты экспериментальных исследований по определению пенообразующей способности используемых рабочих растворов пенообразователей в зависимости от концентрации в них спирта.

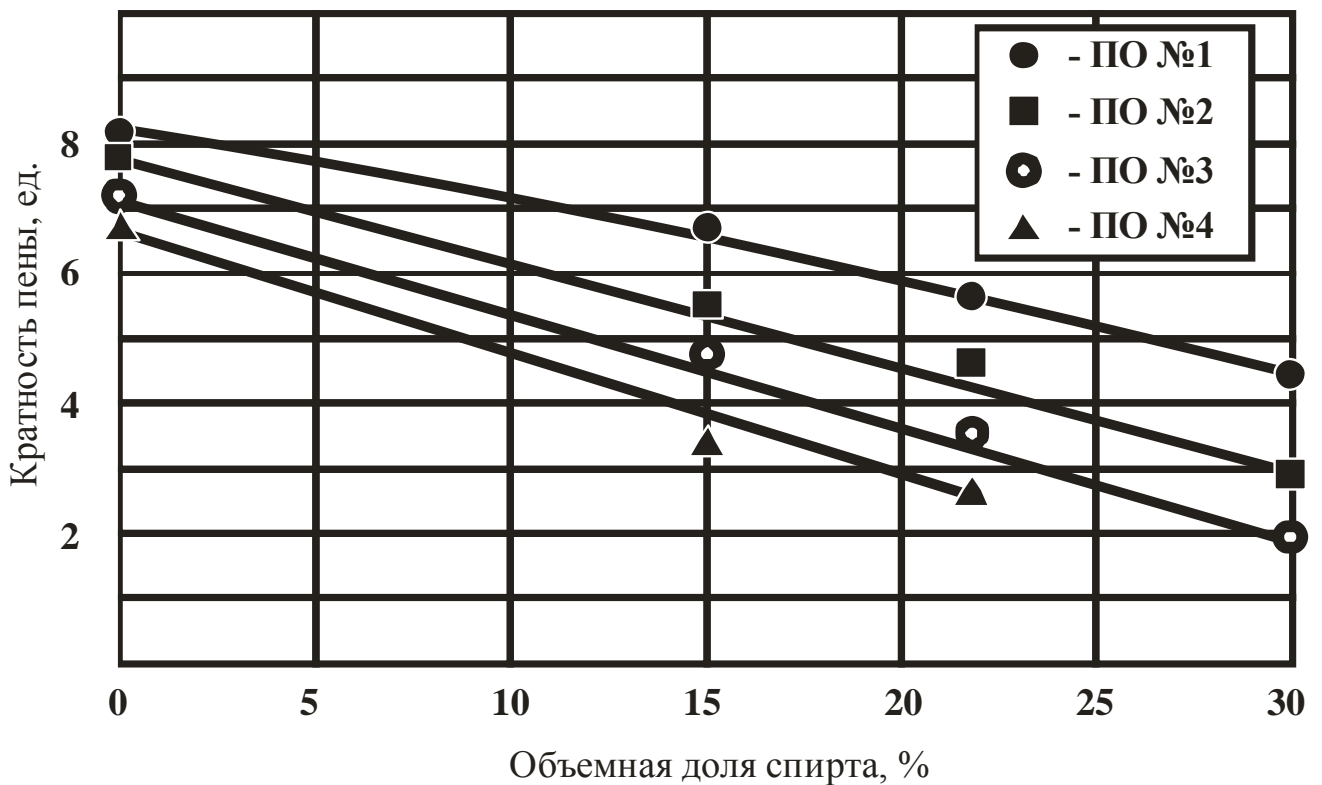


Рисунок 2.10 – Влияние концентрации спирта в рабочем растворе пенообразователя на кратность пены

Все исследованные пенообразователи обладают различной пенообразующей способностью. Максимальная кратность пены достигается из рабочих растворов пенообразователей, приготовленных с использованием питьевой воды без содержания спирта. По мере увеличения содержания спирта в рабочих растворах пенообразователей кратность пены снижается. Для рабочего

раствора пенообразователя ПО №4 с содержанием спирта 30 % пена не образуется. Результаты успешных определений кратности пены от концентрации спирта в рабочем растворе пенообразователя обозначены на графике соответствующими точками. Представленные на рисунке 2.10 кривые идентичны друг другу.

### 2.2.3 Результаты экспериментальных исследований по определению времени тушения горючей жидкости пеной низкой кратности подслоным способом

В экспериментах применялись пенообразователи, соответствующие требованиям национальных стандартов РФ. Пенообразователи типа AFFF ПО №1 и ПО №4 в соответствии с ГОСТ Р 50588, ГОСТ Р 53280.2. Пенообразователи типа AFFF/AR и AFFF/AR-LV ПО №2 и ПО №3 в соответствии с ГОСТ Р 50588, ГОСТ Р 53280.1.

На рисунке 2.11 представлены фрагменты подслоного тушения СМТ № 4 пеной на основе пенообразователей типа AFFF на 300-ой секунде подачи пены.



а)



б)

Рисунок 2.11 – Фрагменты тушения СМТ №4:

а) пенообразователь ПО №1; б) пенообразователь ПО №4

На рисунках 2.12–2.18 представлены результаты экспериментальных исследований по определению времени тушения пеной низкой кратности горючей жидкости с различным соотношением углеводородной и спиртовой части.

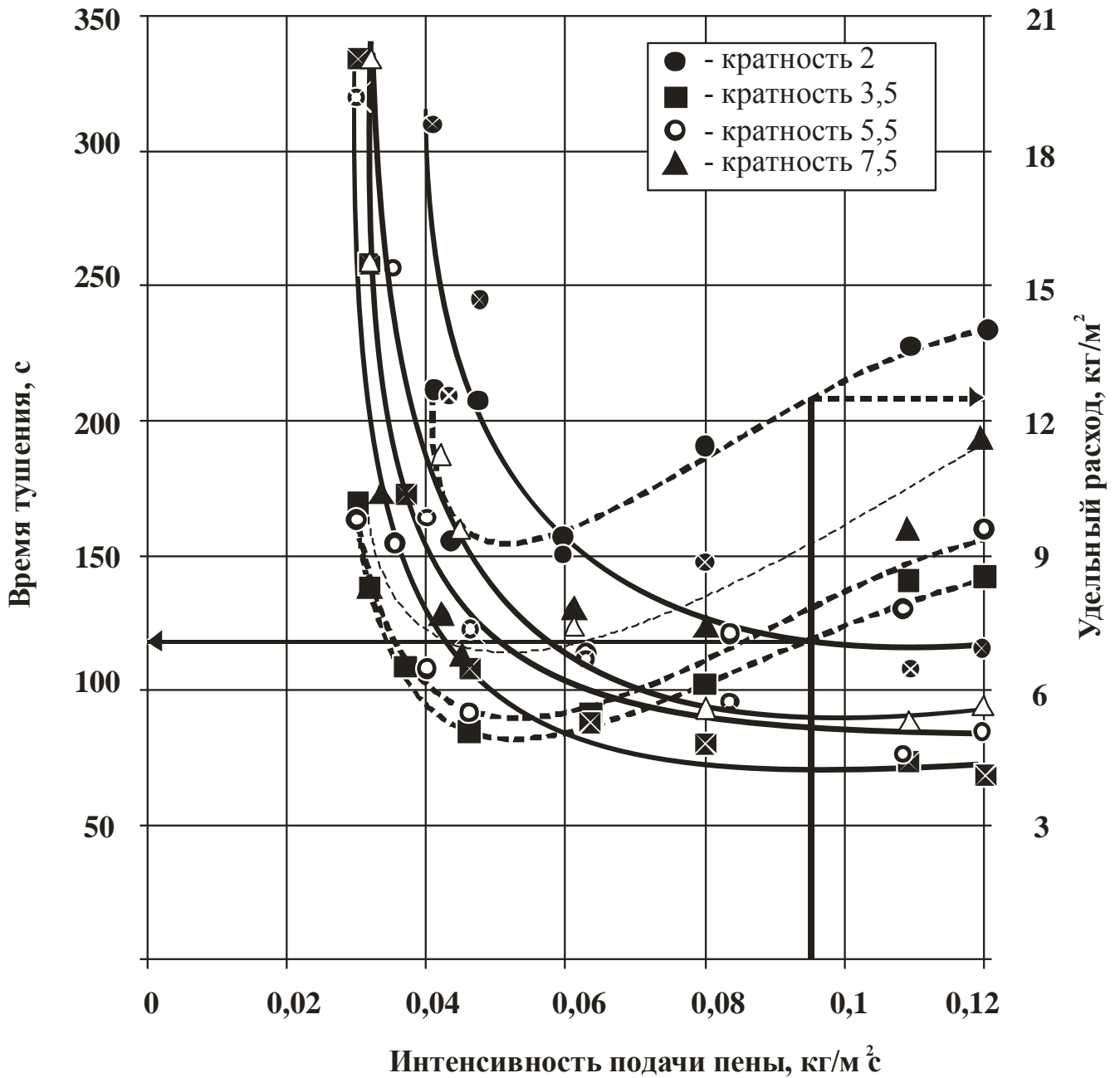


Рисунок 2.12 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №4 в слой СМТ №1

— интенсивность; - - - удельный расход

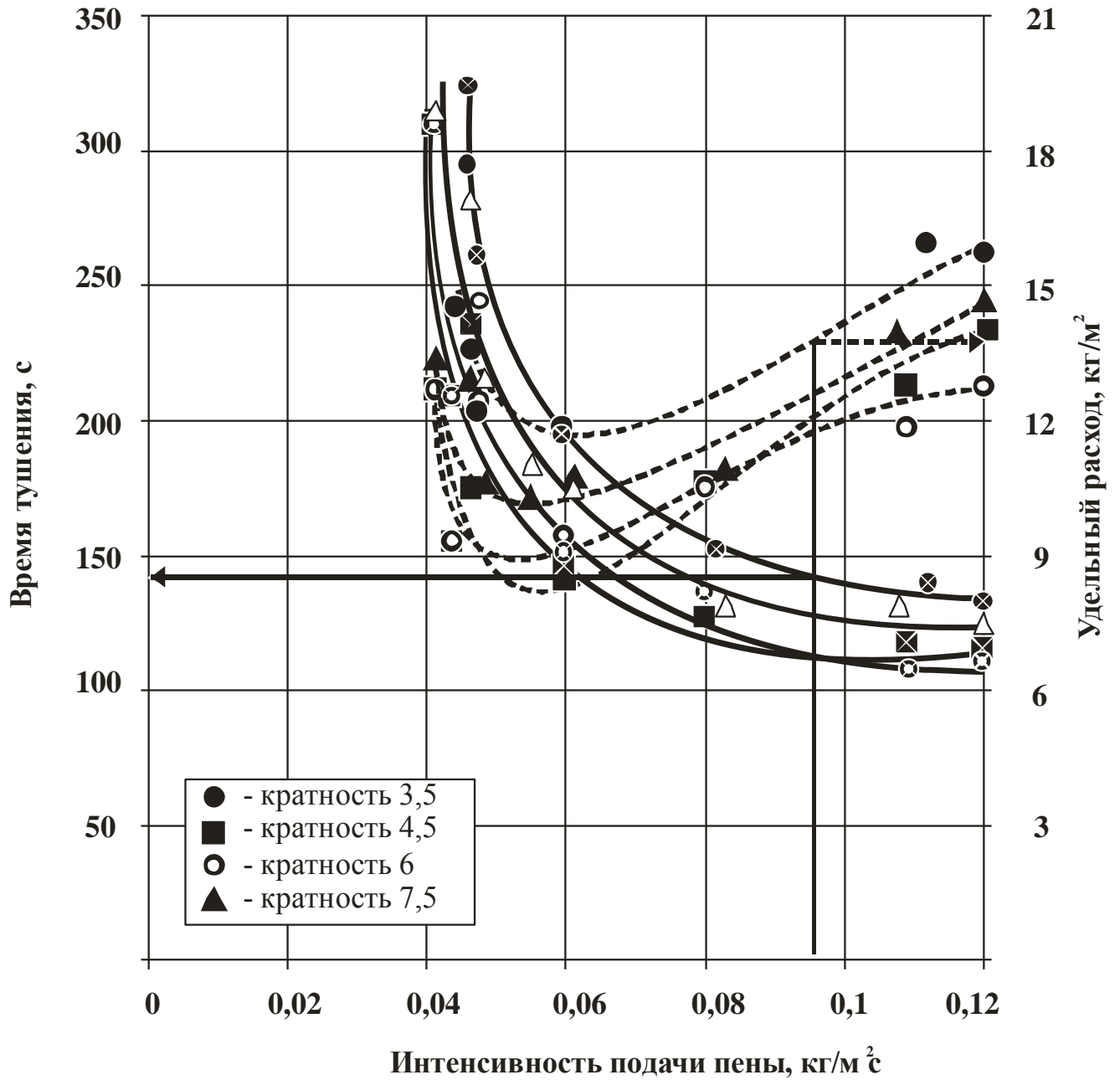


Рисунок 2.13 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №4 в слой СМТ №2  
 ——— интенсивность; - - - - удельный расход



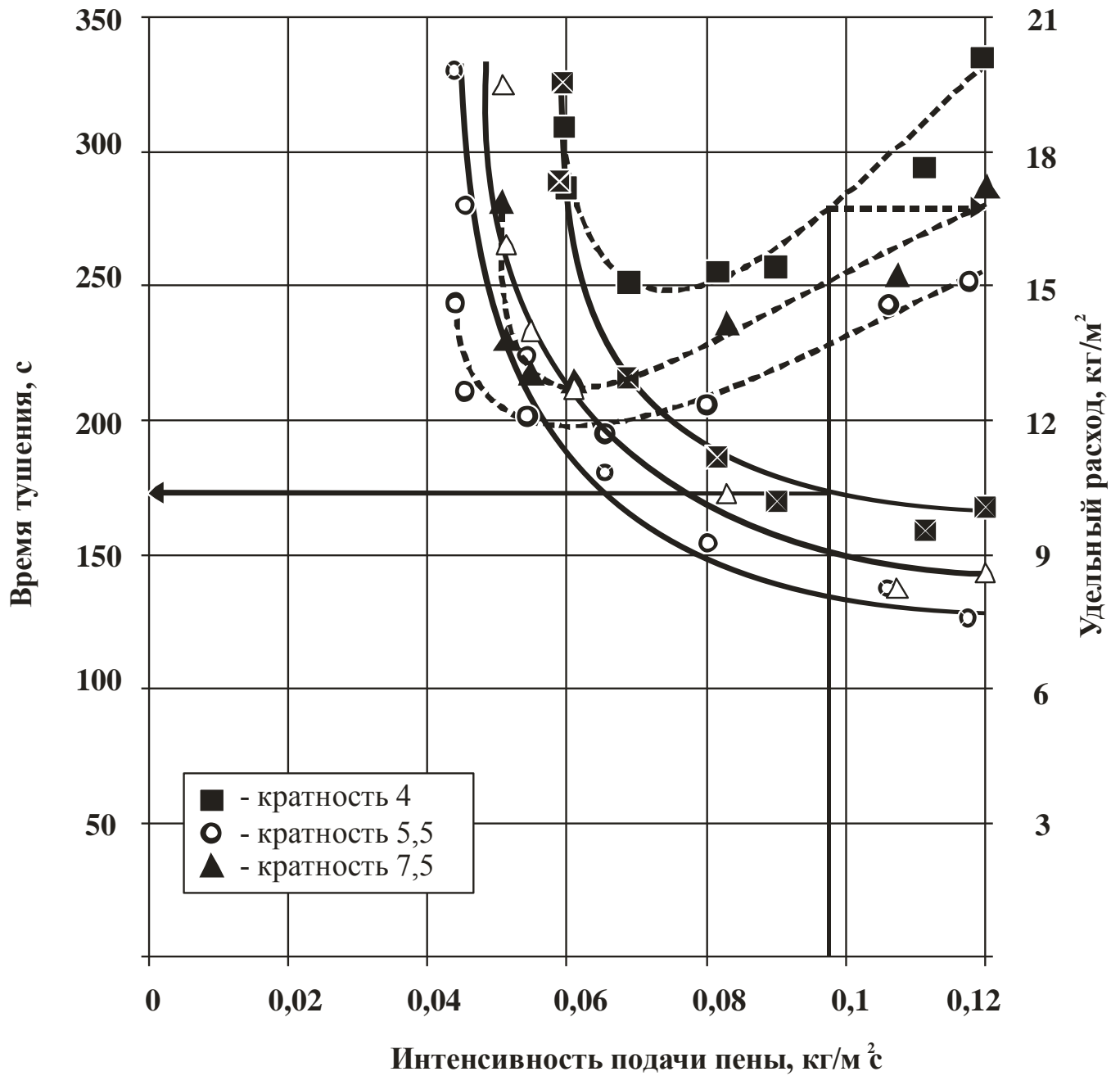


Рисунок 2.14 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №4 в слой СМТ №3

— интенсивность; - - - удельный расход

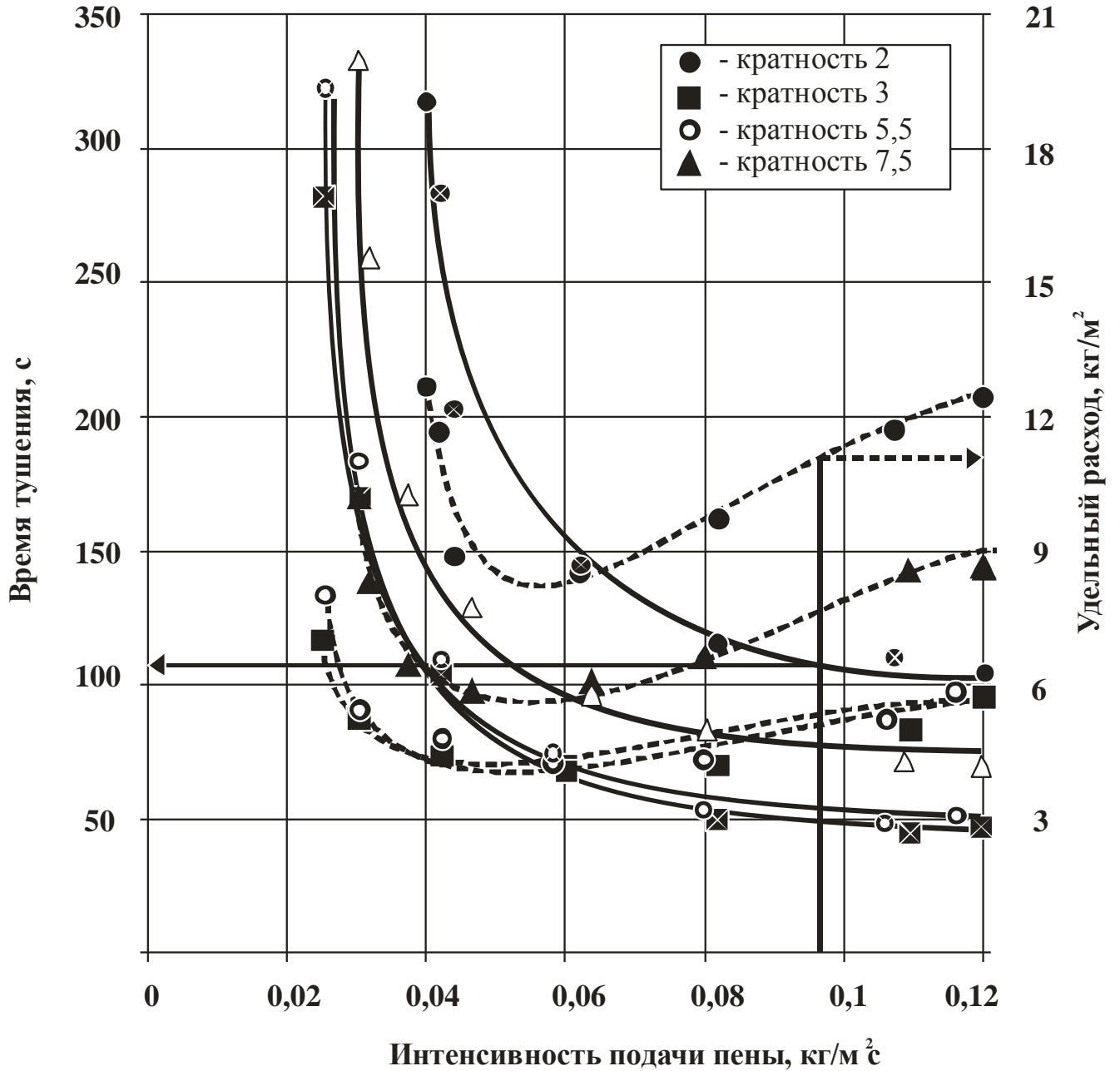


Рисунок 2.15 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №1 в слой СМТ №1

— интенсивность; - - - удельный расход

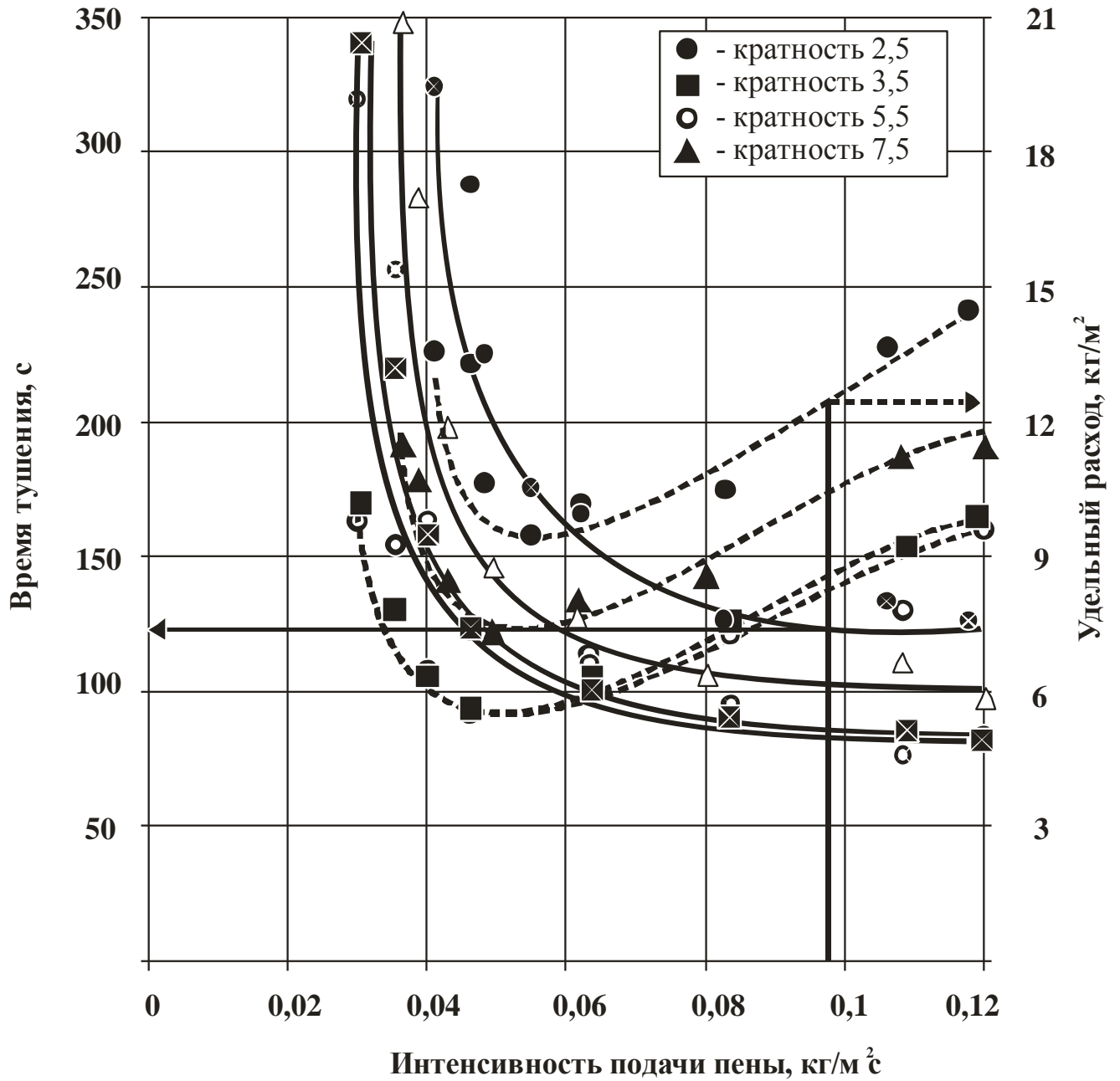


Рисунок 2.16 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №1 в слой СМТ №2

— интенсивность; - - - удельный расход

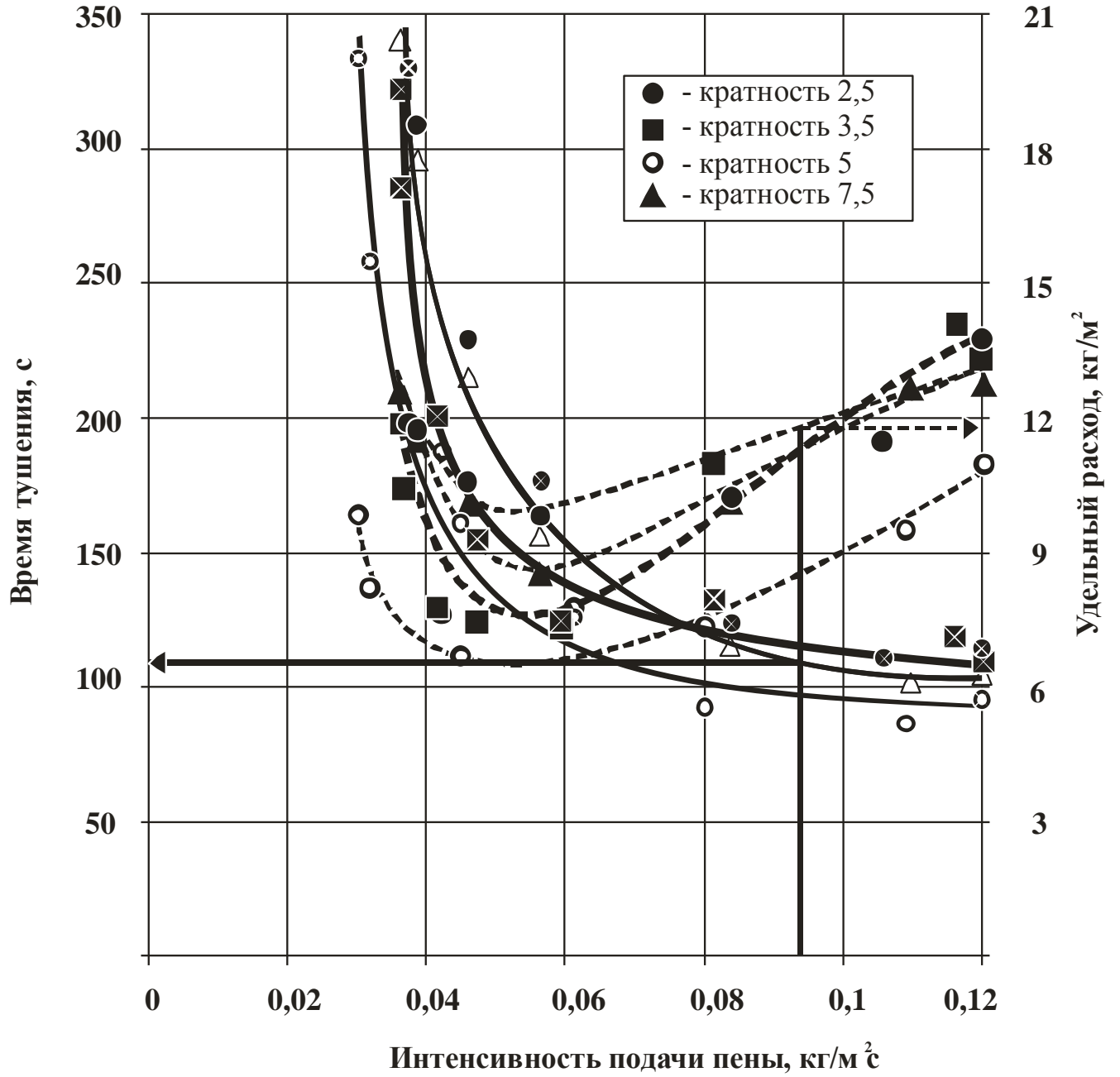


Рисунок 2.17 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №1 в слой СМТ №3

— интенсивность; - - - - удельный расход

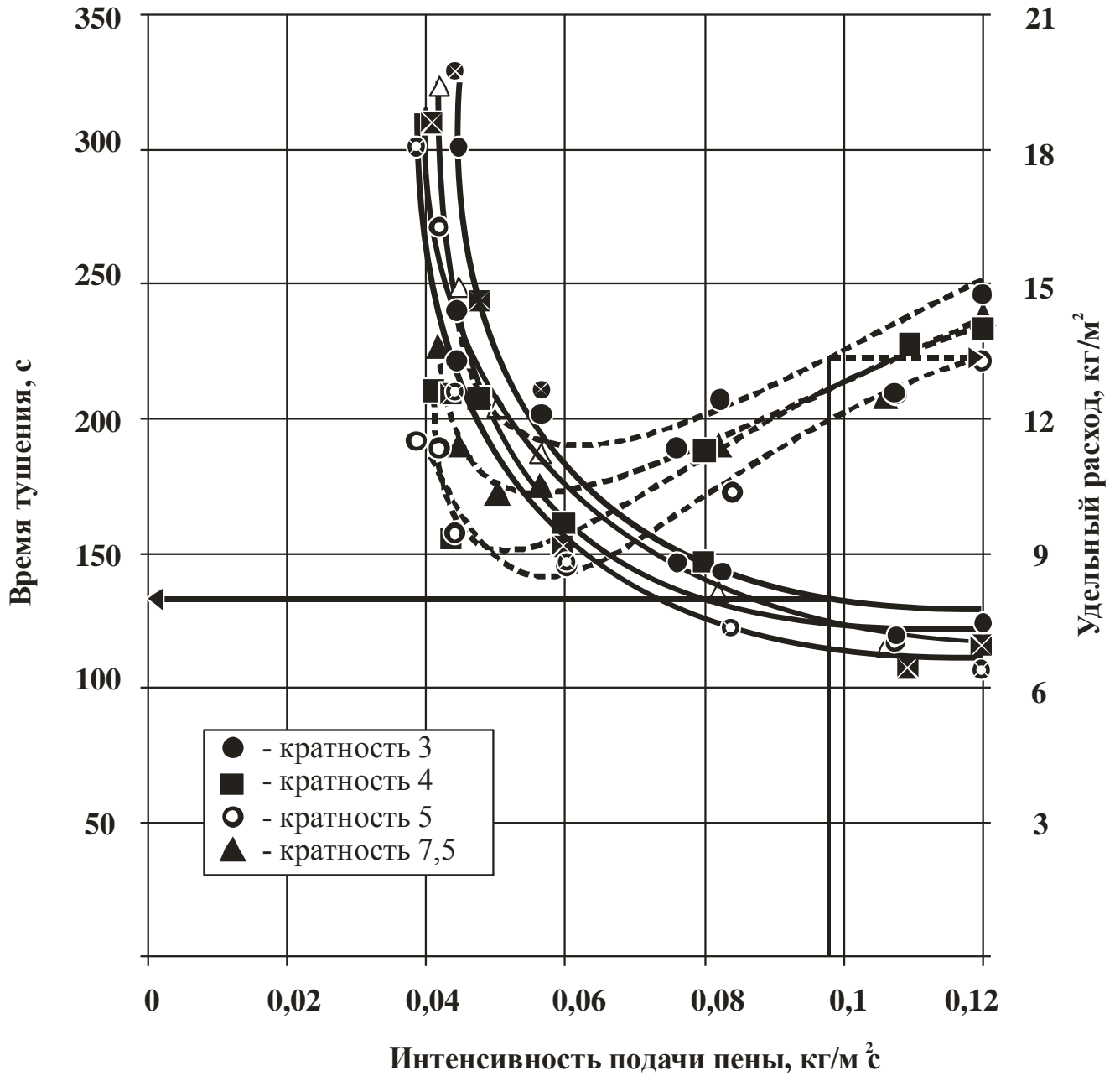


Рисунок 2.18 – Зависимость времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены из рабочего раствора ПО №1 в слой СМТ №4

— интенсивность; - - - удельный расход

## **Выводы по 2 главе**

1. Предложены расчетные формулы для определения концентрации компонентов в СМТ исходя из объемной доли спирта, плотности спирта, плотности углеводородного компонента, массовой доли кислорода в спирте и относительной молекулярной массы спирта. Из формул следует, что максимальная концентрация спирта в СМТ зависит от его плотности. Топливо с более высокой плотностью может иметь более высокую концентрацию спирта, чем топливо с меньшей плотностью даже при условии одинаковой массовой доли кислорода в этих топливах. Значение верхней границы диапазона объемных концентраций спирта в СМТ составляет 9,2–10 %.

2. Разработана методика определения кратности пены внутри подводящих трубопроводов, основанная на измерении ее удельной электропроводности. Это позволяет контролировать кратность пены в течение всего времени эксперимента по определению основных параметров тушения СМТ подслоиным способом. Методика может быть применима на практике при проведении испытаний высоконапорных пеногенераторов для подслоинового тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах.

3. Предложена методика для оценки влияния спирта, содержащегося в рабочем растворе, на кратность пены. Методика основана на известном принципе снижения пенообразования в присутствии антивспенивателя и позволяет определить изменение пенообразующей способности рабочих растворов, используемых в установках подслоинового пожаротушения СМТ.

4. Для выявления влияния кратности пены на основные параметры подслоинового тушения СМТ получены экспериментальные данные пенообразующей способности рабочих растворов исследуемых пенообразователей и огнетушащей эффективности пены, приготовленной на их основе. По результатам полученных экспериментальных данных построены следующие зависимости: кратности пены от концентрации спирта в СМТ; времени тушения СМТ и удельного расхода от интенсивности подачи пены различной кратности.

### **ГЛАВА 3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПОДСЛОЙНЫМ СПОСОБОМ**

#### **3.1 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению поверхностного и межфазного натяжений рабочих растворов пенообразователей**

Проведенные измерения поверхностного натяжения рабочих растворов пенообразователей приготовленных на дистиллированной воде, а так же межфазного натяжения на границе раздела раствора пенообразователя на дистиллированной воде с н-гептаном подтвердили, что все четыре пенообразователя, используемые в данной работе, соответствуют предъявляемым к ним требованиям нормативных документов [114, 118, 119].

Различия между показателями поверхностного натяжения пенообразователей незначительны. Наименьшим поверхностным натяжением равным 15,9 мН/м обладает образец №1, наибольшим 16,3 мН/м образец №3.

Межфазное натяжение на границе раздела водных растворов пенообразователей с н-гептаном находятся в диапазоне от 2,5 (ПО №4) до 2,9 (ПО №1) мН/м.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 53280.2 [114] для подслойного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов с массовой долей водорастворимой горючей жидкости более 1 % требуется применять пенообразователи, поверхностное натяжение рабочих растворов которых не более 17,3 мН/м, а коэффициент растекания по поверхности н-гептана не менее 0,3 мН/м.

Для подслойного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов с массовой долей водорастворимой горючей жидкости не более 10 % требуется применять

пенообразователи, поверхностное натяжение рабочих растворов которых не более 16,5 мН/м, а коэффициент растекания по поверхности н-гептана не менее 1,0 мН/м.

Для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов с массовой долей водорастворимой горючей жидкости не более 15 % требуется применять пенообразователи, поверхностное натяжение рабочих растворов которых не более 16,0 мН/м, а коэффициент растекания по поверхности н-гептана не менее 1,5 мН/м. Межфазное натяжение на границе раздела с н-гептаном, независимо от массовой доли водорастворимой горючей жидкости в СМТ, должно быть не менее 2,5 мН/м. Таким образом, все пенообразователи, участвующие в исследовании, соответствуют нормативному требованию по поверхностному, межфазному натяжениям и коэффициенту растекания рабочих растворов для тушения СМТ с массовой долей водорастворимой горючей жидкости не более 10 %. Рабочий раствор из ПО №1 по показателю поверхностного натяжения соответствует требованиям стандарта для пенообразователей, предназначенных для тушения СМТ с массовой долей водорастворимой горючей жидкости не более 15 %, но не соответствует по показателю коэффициента растекания.

Рассчитанный коэффициент растекания по поверхности н-гептана водных растворов пенообразователей выявил, что наилучшим показателем обладаем ПО №4.

По результатам проведенных исследований установлено, что все четыре пенообразователя соответствуют предъявляемым к ним требованиям нормативных документов, имеют минимальные различия в показателях поверхностного и межфазного натяжения, а также значениях коэффициента растекания. По этим результатам не представляется возможным сделать вывод о наиболее подходящем для тушения СМТ пенообразователе. Необходимо предложить дополнительные критерии подбора пенообразователей для тушения СМТ.



### 3.2 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению пенообразующей способности раствора пенообразователя

При прохождении пены через слой горючей жидкости, спирт, находящийся в топливе по закону распределения Нернста, распределяется между двумя несмешивающимися фазами, одной из которых является само топливо, а другой – рабочий раствор пенообразователя. Коэффициент распределения в основном зависит от природы жидкостей и температуры. В стандартных условиях растворимость изопропилового спирта в рабочем растворе пенообразователя выше не более чем в три раза растворимости спирта в углеводородном бензине. Возникает ситуация, при которой для успешного тушения требуется применять пенообразователи, сохраняющие свою поверхностную активность в водно-спиртовой среде. Экспериментальным путем установлено, что коэффициент распределения изопропилового спирта между фазами спиртосодержащий бензин – пена при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  составляет  $2,9 \pm 0,2$  единиц. Таким образом, появляется возможность оценить максимально возможную концентрацию спирта в пенных каналах после прохождения пены через слой топлива с определенной концентрацией спирта. При самых неблагоприятных условиях, при которых пена экстрагирует в себя максимальное количество спирта, для СМТ с 10 %-ым (об.) содержанием изопропилового спирта его объемная концентрация в пене может достигать величины 29 %.

Установлено, что причиной разрушения водных пен, полученных на основе углеводородных пенообразователей при контакте с низкомолекулярными спиртами, является потеря молекулами пенообразователя собственной поверхностной активности. Это происходит при превышении некоторой предельной концентрации. Наиболее простыми способами оценки поверхностной активности рабочих растворов пенообразователей является определение их поверхностного натяжения и пенообразующей способности в присутствии

низкомолекулярных спиртов. В нашем случае исследование направлено на определение изменения пенообразующей способности.

Зависимость влияния концентрации спирта в рабочем растворе пенообразователя на кратность пены показана на рисунке 2.10. При содержании спирта в рабочем растворе до 10 % показатель кратности пены для каждого исследуемого образца пенообразователя снижается не более чем на 1 единицу. Однако, как только содержание спирта увеличивается в рабочем растворе и превышает 21,75 %, пенообразование снижается, и кратность пены для ПО №4 уменьшается, более чем на 4 единицы, для ПО №1 более чем на 2 единицы, по сравнению с исходной. При увеличении концентрации спирта в рабочем растворе до 30 %, из рабочего раствора ПО №4 пена не образуется. Пенообразователь ПО №1 снижает свою исходную кратность до 4 единиц. Можно предположить, что при подслоном тушении СМТ более эффективным будет тот тип пенообразователя, из рабочего раствора которого в присутствии спирта, образуется пена большей кратности. Такой тип пенообразователя дает пену, устойчивую к контакту с органическими растворителями, а значит, меньший ее объем разрушится при подъеме.

Стоит отметить тот факт, что при изучении структуры пены, образец ПО №1, содержал в себе более мелкодисперсную воздушную фракцию, чем образец ПО №4 и, следовательно, более разветвленную водную поверхность (рисунок 3.1).

Изменение пенообразующей способности рабочих растворов пенообразователей, содержащих спирт, может быть описано следующей зависимостью:

$$K_2 = K_1 - \alpha CK_H, \quad (3.1)$$

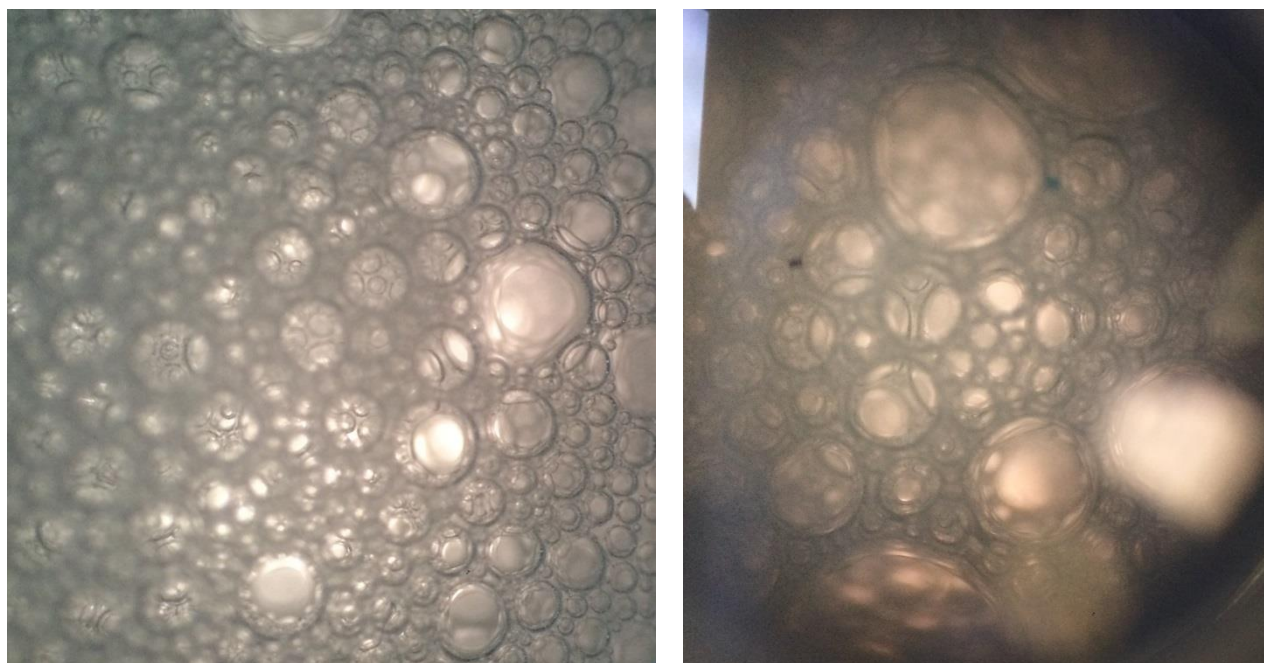
где  $K_2$  – кратность пены, полученная из рабочего раствора пенообразователя с пеногасителем;

$K_1$  – кратность пены, полученная из рабочего раствора пенообразователя без пеногасителя;

$\alpha$  – коэффициент разрушения пены (от 5 до 10);

$C$  – объемная доля спирта в топливе, доли;

$K_H$  – коэффициент распределения Нернста.



а)

б)

Рисунок 3.1 – Структура пены под микроскопом

а) ПО №1; б) ПО №4

Величина кратности пены будет зависеть от концентрации спирта в топливе, исходной кратности пены до пеногашения, а также состава и свойств пенообразователя. Можно предположить, что при подъеме пена сорбирует в себя максимально возможное количество спирта по закону распределения Нернста, а величина снижения кратности будет максимальной.

### 3.3 Анализ результатов экспериментальных исследований по определению времени тушения горючей жидкости пеной низкой кратности

Перед выполнением серии экспериментальных исследований огнетушащей эффективности пены проведены испытания четырех образцов пенообразователей, при максимальной фиксированной интенсивности подачи пены  $0,042 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , установленной в НПБ 304-2001 [115]. Результаты испытаний представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты испытаний по определению времени тушения СМТ при подаче пены в слой горючей жидкости

Пенообразователь		Время тушения модельного топлива при интенсивности подачи пены $0,042 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , с	
Номер образца ПО	Тип ПО	СМТ №1	СМТ №4
ПО №1	AFFF	98	219
ПО №2	AFFF/AR-LV	88	284
ПО №3	AFFF/AR	107	тушения нет
ПО №4	AFFF	103	тушения нет
ПО №1	AFFF	95	203
ПО №2	AFFF/AR-LV	92	291
ПО №3	AFFF/AR	113	298
ПО №4	AFFF	99	тушения нет

По результатам испытаний установлено, что все пенообразователи соответствуют нормативному требованию НПБ 304-2001 [115], по которому время тушения бензина не должно превышать 120 с. Наилучшие результаты показал пенообразователь типа AFFF/AR-LV, наихудшие пенообразователь типа AFFF/AR. Для пенообразователей типа AFFF время тушения находится в районе 100 с. При тушении СМТ наилучшие результаты показал ПО №1, наихудшие ПО №4. С учетом того, что образцы пенообразователей ПО №1 и ПО №4

относятся к одному типу, дальнейшие исследования по определению огнетушащей эффективности пены решено проводить с использованием этих пенообразователей.

Изменение времени тушения модельных топлив в зависимости от интенсивности подачи пены с использованием двух выбранных пенообразователей представлены на рисунках 2.12–2.18. Здесь же приведено изменение удельного расхода пены в зависимости от интенсивности ее подачи. При низкой интенсивности подачи пены в диапазоне от критической до оптимальной (примерно до  $0,06 \text{ кг/м}^2$ ) происходит снижение удельного расхода пены с увеличением интенсивности ее подачи. На этом участке интенсивности достигается минимальный удельный расход. При более интенсивной подаче пены, расход ее начинает возрастать. В то же время, дальнейшее увеличение интенсивности подачи, как правило, слабо влияет на время тушения топлив. Можно предположить, что при данной интенсивности, а точнее скорости подачи пены, скорость экстракции становится соизмеримой со скоростью подачи пены. Если это так, то как более низкая скорость подачи пены, так и более высокая будут приводить к увеличению ее расхода, поскольку при низкой скорости подачи она будет отставать от скорости экстракции, а при более быстрой подаче пены ее скорость будет опережать скорость экстракции. Для сравнения эффективности пен выбрано значение интенсивности подачи пены равное  $0,06 \text{ кг/м}^2$ . Поэтому, учитывая масштабный фактор при переходе от модельных условий к реальным, более правильно пользоваться не интенсивностью подачи пены, а ее удельным расходом.

Сравнение эффективности огнетушащей способности проводили по значениям времен при тех же условиях. Полученные данные сведены в таблицу 3.2 для пенообразователя ПО №1 и таблицу 3.3 для пенообразователя ПО №4.

Таблица 3.2 – Экспериментальные данные по результатам проведения полигонных испытаний для пенообразователя ПО №1

Модельное топливо	Кратность пены, ед.	Среднее значение удельного расхода, кг·м <sup>-2</sup>
СМТ №1	1,9–2,2	8,6
	2,9–3,2	4,2
	4,9–5,2	4,2
	7,3–7,7	6,1
СМТ №2	1,9–2,2	9,6
	3,3–3,6	5,4
	4,9–5,2	5,6
	7,3–7,7	7,3
СМТ №3	2,4–2,7	9,9
	3,9–4,2	7,3
	4,9–5,2	7,4
	7,3–7,7	8,5
СМТ №4	2,9–3,2	11,3
	3,9–4,2	9,1
	5,3–5,6	8,8
	7,3–7,7	10,2

Таблица 3.3 – Экспериментальные данные по результатам проведения полигонных испытаний для пенообразователя ПО №4

Модельное топливо	Кратность пены, ед.	Среднее значение удельного расхода, кг·м <sup>-2</sup>
СМТ №1	1,9–2,2	9,1
	3,3–3,6	5,2
	5,3–5,6	5,6
	7,4–7,8	7,3
СМТ №2	2,9–3,2	11,8
	4,4–5,6	8,7
	5,9–6,2	9,1
	7,3–7,7	10,2
СМТ №3	3,9–4,2	15,0
	5,3–5,6	11,7
	6,5–7,7	12,9

Как видно, при тушении бензина без добавления изопропилового спирта, расход пены и время тушения для обоих образцов практически одинаковы.

Добавление 5 % спирта приводит к снижению огнетушащей способности пенообразователей ПО №1 и ПО №4. При одинаковом времени тушения удельный расход образца ПО №1 меньше и, соответственно, при одинаковом расходе пены время тушения образцом ПО №4 – выше. Еще значительнее расхождение при тушении СМТ с 7,5 % изопропанола. Образцом ПО №4 при кратности пены до 4 единиц СМТ №3 тушение произвести не удалось. При содержании в СМТ 10 % спирта, эффективность образца ПО №4 практически равна нулю. В то же время, образец ПО №1 показывает вполне удовлетворительную эффективность при тушении топлив с большим содержанием спирта.

Такое различие между этими образцами пенообразователей можно объяснить лучшей экстрагирующей способностью образца ПО №4 и его меньшей устойчивостью к воздействию спирта, чем у образца ПО №1.

Как отмечалось выше, образец ПО №1 при всех исследованных кратностях пен, содержит более мелкодисперсную воздушную фракцию, чем образец ПО №4 и, следовательно, более разветвленную водную поверхность. Вероятно, различие структуры пен этих образцов связано с тем, что пенообразователь ПО №1, имеет большее содержание ПАВ, чем пенообразователь образца ПО №4. Поэтому, вероятно, для определения эффективности тушения топлив с различным содержанием спирта, необходимо руководствоваться процентным содержанием ПАВ в пенообразователе. Конечно, это предположение требует дополнительных исследований, но на данном этапе может служить объяснением полученных экспериментальных данных.

Полученные данные показали, что СМТ с содержанием спирта в количестве до 5 %, могут быть достаточно эффективно потушены пеной на основе практически любого фторсодержащего пенообразователя кратностью 4,5–6 по худшим показателям образца ПО №1 при удельном расходе 10 кг/м<sup>2</sup>.

При рассмотрении экспериментальных данных, представленных в таблицах 3.2 и 3.3 видно, что ПО №1 обладает способностью ликвидировать горение всех видов СМТ в соответствии с требованиями [1], а пенообразователь ПО №4 – СМТ

с диапазоном содержащегося спирта до 7,5 % (об.). При подъеме пены на поверхность горючей жидкости с объемной концентрацией спирта 10 %, пена успевает абсорбировать максимально возможное количество спирта, после чего происходит их горение на поверхности. Максимально возможное количество спирта в СМТ, рассчитанное по массовой доле кислорода, составляет 9,2 % (об.). Таким образом, максимальное количество спирта, которое может содержаться в пене при реальном пожаре, составляет 26,68 %.

Прогрев горючей жидкости приводит к снижению коэффициента распределения спирта между фазами, что подтверждает возможность подслоного пожаротушения СМТ с максимальной массовой долей кислорода. Однако, в случае если объемная концентрация спирта в СМТ превышает 10 %, подслоное пожаротушение будет малоэффективно, по причине горения паров спирта, содержащегося в пене, что позволяет сделать вывод о необходимости корректировки ГОСТ Р 53280.2 [114] в части касающейся тушения нефти и нефтепродуктов с массовой долей водорастворимой горючей жидкости до 15 %, которая соответствует объемной концентрации 13,75 % при расчете для изопропилового спирта.

На рисунке 3.2 представлены зависимости минимального удельного расхода пены от кратности пены, полученной на основе пенообразователя ПО №4. Как видно, при увеличении доли спиртовой части в модельном топливе, значения минимального удельного расхода увеличиваются. При тушении прямогонного бензина оптимальная кратность, при которой достигается минимальный удельный расход пенообразователя, лежит в диапазоне от 3,2 до 3,6 единиц. При тушении подслоным способом СМТ №3 с 7,5 % содержанием изопропилового спирта, минимальный удельный расход пенообразователя, достигается при значении кратности, лежащей в диапазоне от 5,3 до 6,5 единиц. При кратности пены менее 4-х единиц тушение не происходит.



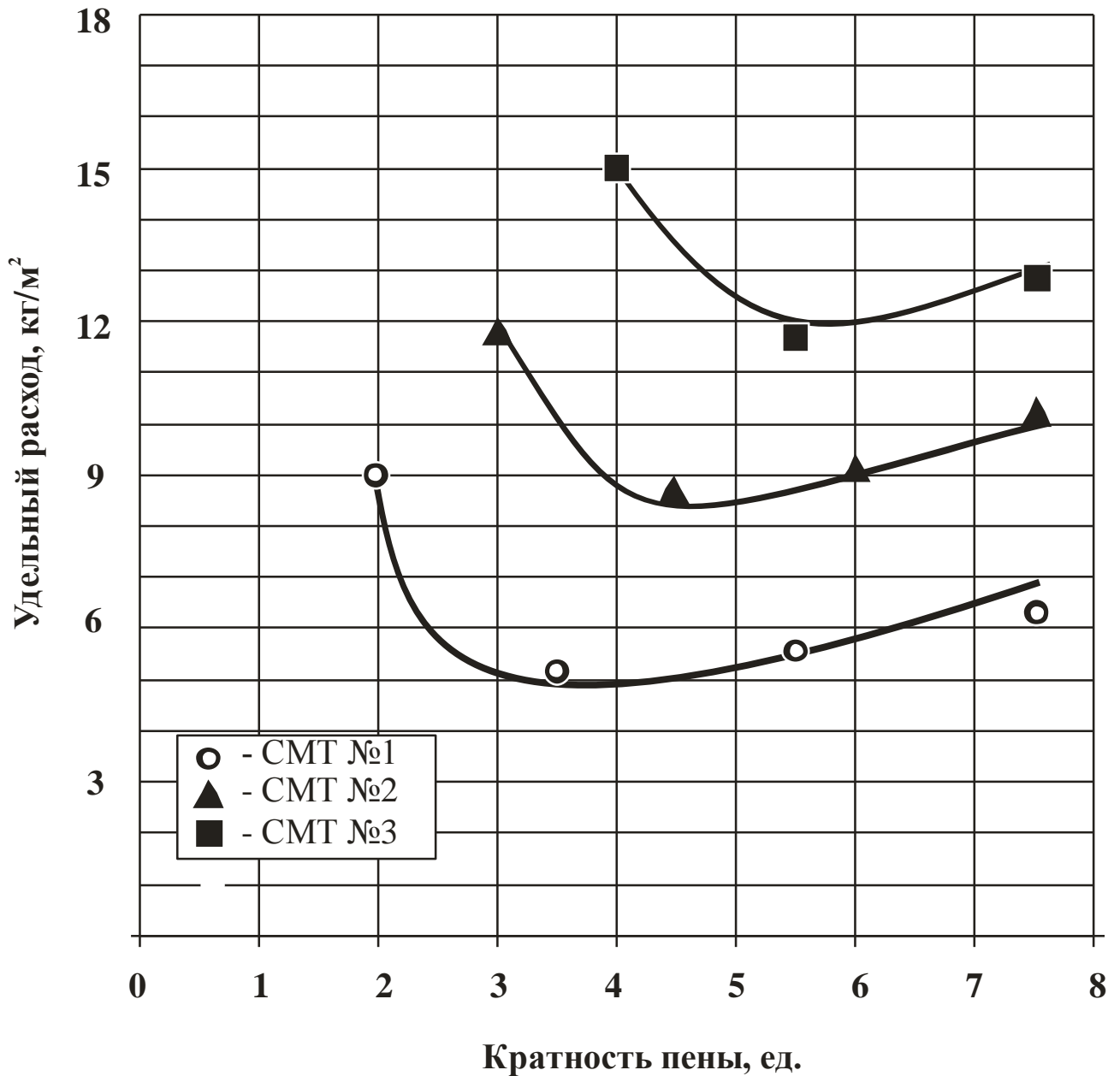


Рисунок 3.2 – Зависимости удельного расхода пены от кратности пены, полученной на основе рабочего раствора пенообразователя ПО №4

На рисунке 3.3 представлена зависимость удельного расхода пены, полученной на основе пенообразователя ПО №1, от ее кратности. Как видно, при увеличении доли спирта в модельном топливе, значения минимального удельного расхода, как и в случае с пенообразователем ПО №4, увеличиваются, однако, это происходит с меньшей динамикой. При тушении прямоугольного бензина оптимальная кратность, при которой достигается минимальный удельный расход пенообразователя, лежит в диапазоне от 2,9 до 4,5 единиц.

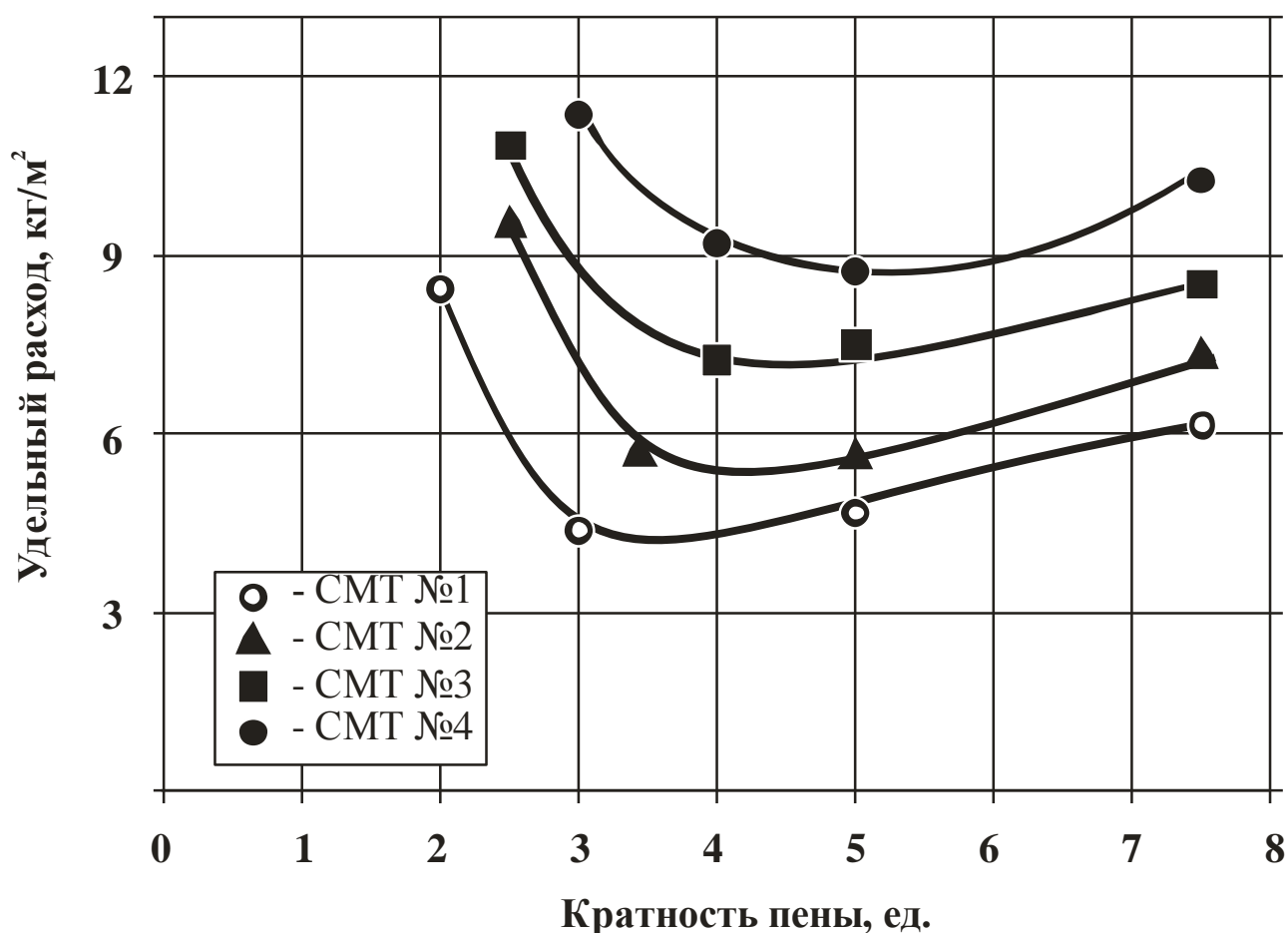


Рисунок 3.3 – Зависимости удельного расхода пены от кратности пены, полученной на основе рабочего раствора пенообразователя ПО №1

При тушении подслоным способом СМТ №4 с 10 % объемной долей изопропилового спирта, минимальный удельный расход пены достигается при значении кратности, лежащей в диапазоне от 5,3 до 5,6 единиц. Как видно, для пенообразователя ПО №1 и для пенообразователя ПО №4 диапазон оптимальных значений кратности пены смещается в сторону больших величин, при увеличении доли изопропилового спирта в модельных топливах.

Для выявления связи минимального удельного расхода ( $Q$ ) с кратностью пены ( $K$ ) и содержанием спиртового компонента ( $C$ ) получены зависимости (3.2) и (3.3) соответственно для пенообразователей ПО №4 и ПО №1:

$$Q(K, C) = 15,47 - 4,208K + 0,9267C + 0,4139K^2 - 0,1166 KC + 0,0954 C^2; \quad (3.2)$$

$$Q(K, C) = 14,4 - 4,263K + 0,2411C + 0,4211K^2 - 0,0289 KC + 0,0412 C^2. \quad (3.3)$$

Среднее квадратичное отклонение составляло соответственно 0,97 и 0,92. Полученные зависимости могут быть использованы для расчета значений минимального удельного расхода пены в границах кратности от 2 до 8 при концентрации спирта от 0 до 10 % (об.) [136,137].

Используя программное обеспечение *MATLAB* по зависимостям (3.2) и (3.3) построены трехмерные поверхности  $Q(K, C)$ , общий вид которых представлен на рисунках 3.4 и 3.5.

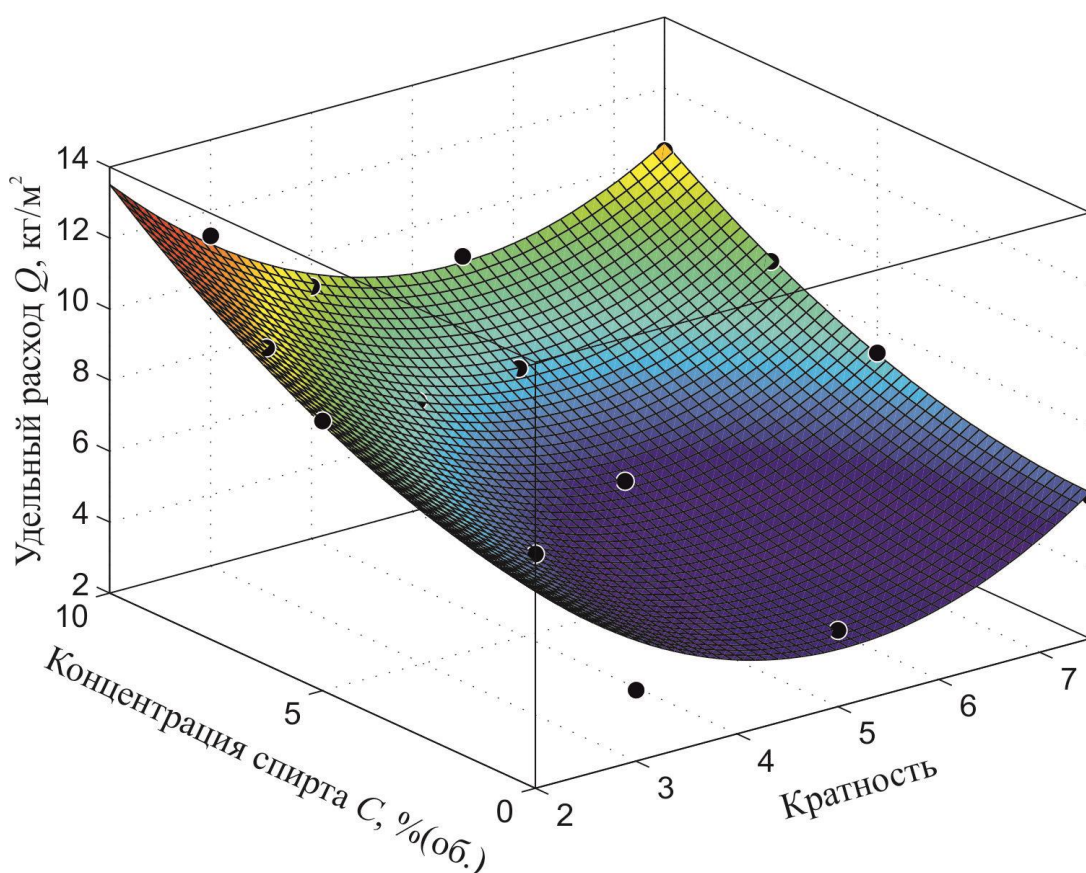


Рисунок 3.4 – Зависимость минимального удельного расхода пены от кратности пены и концентрации спиртового компонента в СМТ при тушении пенообразователем ПО №1

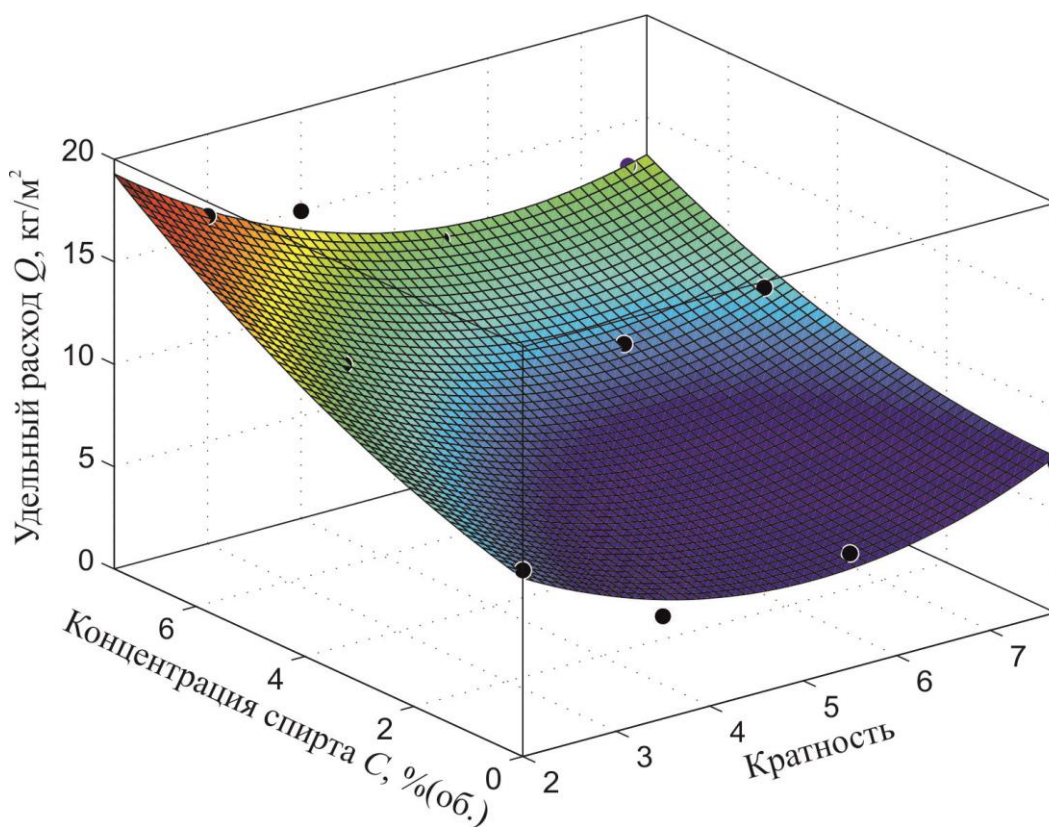


Рисунок 3.5 – Зависимость минимального удельного расхода пены от кратности пены и концентрации спиртового компонента в СМТ при тушении пенообразователем ПО №4

Поверхности удовлетворительно описывают экспериментальные значения.

### 3.4 Оценка минимальной величины кратности пены, необходимой для ее подъема на поверхность горючей жидкости

В разделе представлены суждения о кратности пены для обоснования ее минимальной величины при подслоной подаче. При тушении СМТ подслоным способом необходимо обеспечить гарантированный подъем пены на поверхность горючего. Пена для подслоного пожаротушения генерируется на высоконапорных пеногенераторах, которые обеспечивают ее получение при наличии гидростатического противодействия столба горючей жидкости.

Стандартизованная методика испытаний высоконапорных пеногенераторов устанавливает порядок измерения кратности полученной пены на открытом воздухе, то есть во время измерения кратности пены на нее воздействует только атмосферное давление. В работе установлена связь между кратностью пены, полученной на открытом воздухе при проведении испытаний, и фактической кратностью пены с учетом противодействия столба горючей жидкости. Для ясности описания механизма подъема пены через слой СМТ целесообразно разделить понятия кратности пены, различающиеся по своей величине, в зависимости от влияния на нее избыточного внешнего давления. В данном случае столб горючей жидкости оказывает гидростатическое давление на пену (противодавление). Кратность пены без учета противодействия отличается от кратности пены с его учетом. Также сделано допущение, что давление воздуха внутри пузырей пены равно внешнему давлению. Опираясь на результаты экспериментальных исследований, сделано различие между кратностью пены, подвергшейся пеногасящему воздействию спирта, и кратностью пены, которая с ним не взаимодействовала. За основу принималась кратность пены ( $K_{\Pi}$ ), полученная из рабочего раствора пенообразователя при атмосферном давлении (без дополнительных воздействий):

$$K_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{V_p}; \quad (3.4)$$

$$K_{\Pi} = \frac{V_p + V_B}{V_p}, \quad (3.5)$$

где  $V_p$  – объем рабочего раствора пенообразователя в пене,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\Pi}$  – объем пены,  $\text{м}^3$ ;

$V_B$  – объем воздуха в пене,  $\text{м}^3$ .

Расчет кратности производится после определения объема воздуха ( $V_B$ ) и объема рабочего раствора пенообразователя ( $V_p$ ). Если рассмотреть пену как дисперсную систему, то находящиеся в ней среды будут по-разному вести себя

под воздействием внешнего избыточного давления. Изменение объема внутри воздушного пузыря происходит пропорционально изменению давления, при этом рабочий раствор пенообразователя, находящийся в пене, является несжимаемой средой. Обозначим кратность пены, находящейся под воздействием противодавления столба горючей жидкости ( $K_{\Pi}$ ), и выразим ее через ( $K_{\Pi}$ ):

$$K_{\Pi} = 1 + \frac{V_B P_{\text{атм}}}{V_P (P_{\text{ст}} + P_{\text{атм}})}, \quad (3.6)$$

$$K_{\Pi} = 1 + (K_{\Pi} - 1) \frac{P_{\text{атм}}}{(P_{\text{ст}} + P_{\text{атм}})}, \quad (3.7)$$

$$K_{\Pi} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{атм}} K_{\Pi}}{P_{\text{ст}} + P_{\text{атм}}}. \quad (3.8)$$

где  $P_{\text{атм}}$  – атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>;

$P_{\text{ст}}$  – гидростатическое давление столба горючей жидкости, Н/м<sup>2</sup>.

По формуле 3.8 оценивается величина кратности пены, подаваемой в основание РВС с нефтью или иным углеводородным топливом. При подслоной подаче в СМТ происходит дополнительное снижение кратности по причине пеногасящего влияния спирта. Величина кратности пены после воздействия спирта будет зависеть от концентрации спирта в топливе, исходной кратности пены до пеногашения, а также от состава и свойств пенообразователя. Допускается, что при подъеме пена сорбирует в себя максимально возможное количество спирта в соответствии с коэффициентом Нернста, а величина снижения кратности будет максимальной. С учетом зависимости (3.1) кратность пены можно определить из следующего выражения:

$$K_{\Pi 2} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{атм}} K_{\Pi}}{P_{\text{ст}} + P_{\text{атм}}} - \alpha c K_H, \quad (3.9)$$

где  $K_{\Pi 2}$  – кратность пены, находящейся под воздействием противодавления столба горючей жидкости и содержащей пеногаситель.

Для реализации подслоного способа тушения требуется осуществить подъем пены на поверхность горючей жидкости. Подъем пены будет происходить только тогда, когда плотность пены будет меньше плотности горючей жидкости:

$$\rho_{ГЖ} > \rho_{П}, \quad (3.10)$$

где  $\rho_{ГЖ}$  – плотность горючей жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_{П} = \rho_{р-ра} / K_{П2}$  – плотность пены,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_{р-ра}$  – плотность рабочего раствора пенообразователя,  $\text{кг/м}^3$ .

При этом изменение кратности пены и изменение плотности воздуха внутри воздушного пузыря происходит пропорционально изменению гидростатического давления столба горючей жидкости. Тогда, необходимое условие подъема пены будет описываться выражением:

$$\rho_{ГЖ} > \frac{\rho_{р-ра}}{K_{П2}} + \rho_{возд.}, \quad (3.11)$$

где  $\rho_{возд.}$  – плотность рабочего раствора пенообразователя,  $\text{кг/м}^3$ .

В выражении 3.11 пренебрегаем плотностью воздуха, так как она несоизмеримо мала по сравнению с плотностью рабочего раствора пенообразователя. Тогда для подъема пены потребуются, чтобы ее кратность была не меньше отношения плотности рабочего раствора пенообразователя к плотности горючей жидкости:

$$K_{П2} > \frac{\rho_{р-ра}}{\rho_{ГЖ}}. \quad (3.12)$$

Из выражения 3.12 видно, что чем выше плотность горючей жидкости, тем меньшая кратность пены требуется для подъема. Кратность ( $K_{П2}$ ) характеризует пену, находящуюся в слое горючей жидкости, на которую оказывается гидростатическое давление и пеногасящее воздействие спирта. Для нахождения

исходной кратности пены ( $K_{\Pi}$ ), которая определяется при испытаниях высоконапорных пеногенераторов, перепишем 3.12 с учетом выражения 3.9:

$$\frac{P_{ст} + P_{атм} K_{\Pi}}{P_{ст} + P_{атм}} - \alpha c K_H > \frac{\rho_{p-ра}}{\rho_{ГЖ}}, \quad (3.13)$$

$$K_{\Pi} > \frac{\rho_{p-ра} (P_{ст} + P_{атм})}{P_{атм} \rho_{ГЖ}} + \frac{\alpha c K_H (P_{ст} + P_{атм})}{P_{атм}} - \frac{P_{ст}}{P_{атм}}, \quad (3.14)$$

$$K_{\Pi} > \left( \frac{P_{ст} + P_{атм}}{P_{атм}} \right) \left( \frac{\rho_{p-ра}}{\rho_{ГЖ}} + \alpha c K_H \right) - \frac{P_{ст}}{P_{атм}}, \quad (3.15)$$

Выразив гидростатическое давление столба горючей жидкости через плотность горючей жидкости и высоту столба горючей жидкости, получаем эмпирическую зависимость для расчета минимальной величины исходной кратности пены:

$$K_{\Pi} > \left( \frac{P_{атм} + \rho_{ГЖ} g h_{ст}}{P_{атм}} \right) \left( \frac{\rho_{p-ра}}{\rho_{ГЖ}} + \alpha c K_H \right) - \frac{\rho_{ГЖ} g h_{ст}}{P_{атм}}, \quad (3.16)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, Н/кг;

$h_{ст}$  – высота столба горючей жидкости, м.

Таким образом, получено условие, при котором пена поднимется на поверхность горючей жидкости. Стоит отметить, что выполнение данного условия не может гарантировать тушение горючей жидкости, однако, его невыполнение может свидетельствовать о том, что тушение точно происходить не будет.

Для визуализации и сравнения значений, полученных экспериментально со значениями минимальной кратности пены, вычисленной по выражению (3.16), на рисунке 3.6 представлены зависимости фактической кратности пены от концентрации спиртового компонента в топливе для пенообразователей ПО №1 и ПО №4.



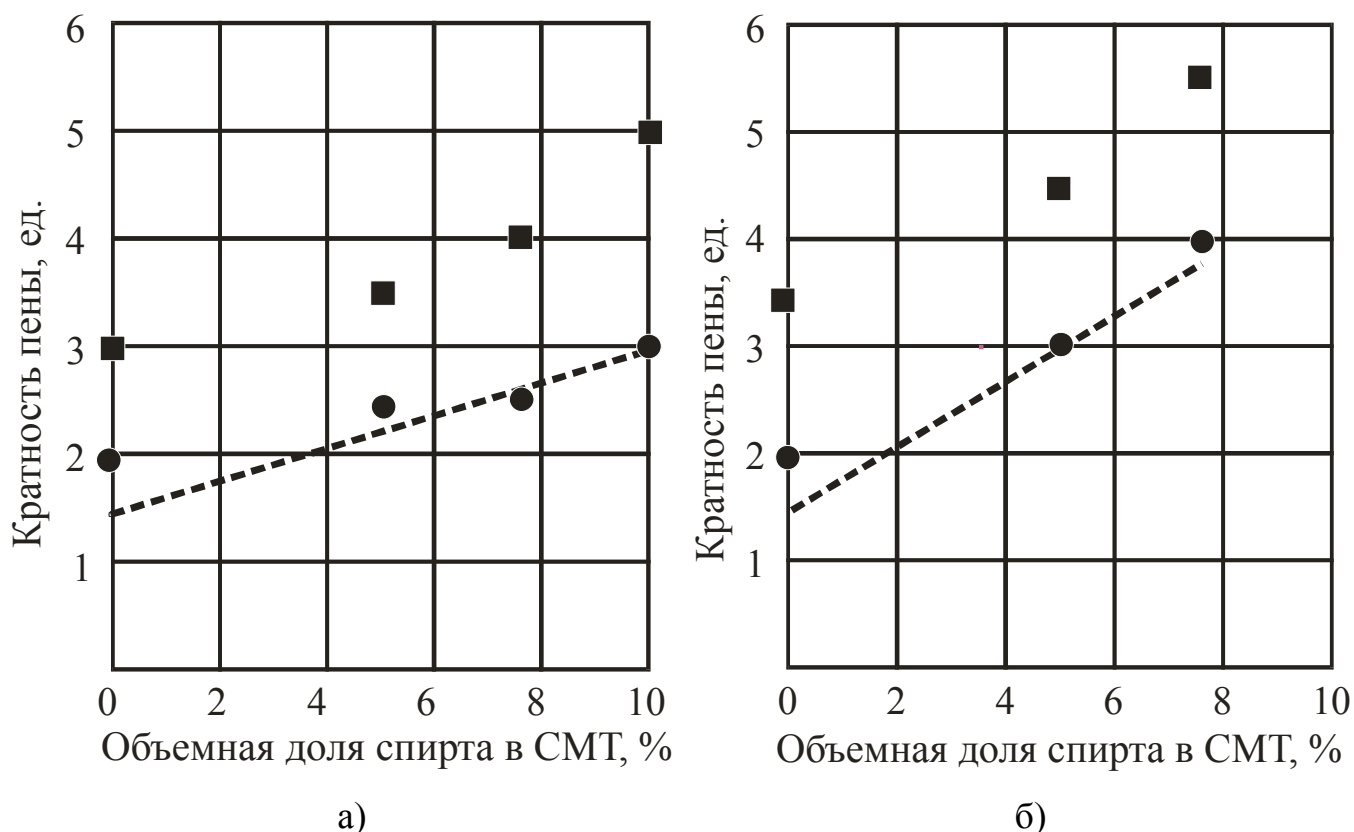


Рисунок 3.6 – Зависимости кратности пены от концентрации спирта в СМТ при минимальном удельном расходе пены из рабочего раствора пенообразователя:

а) ПО №1, б) ПО №4:

- – при наименьших значениях  $Q$  (см. таблицы 3.2 и 3.3);
- – при наибольших значениях  $Q$  (см. таблицы 3.2 и 3.3);
- – расчетные значения  $K_{\Pi}$  по формуле (3.16).

Точками обозначены экспериментальные данные в соответствии с данными, представленными в таблицах 3.2 и 3.3, штрихпунктирная линия – расчетные значения. Каждая точка соответствует той кратности пены, при которой достигается минимальный удельный расход пены.

Из рисунка 3.6 видно, что экспериментальные данные, находящиеся в окрестностях штрихпунктирной линии, соответствуют кратности пены, минимальный удельный расход которой является самым высоким. Точки, находящиеся на 1,5–2 единицы выше штрихпунктирной линии, соответствуют кратности пены, минимальный удельный расход которой является самым низким.

Расчетная формула 3.16 позволяет определить минимальную кратность пены, при которой она способна подняться на поверхность горючей жидкости. С увеличением кратности пены на величину 1,5–2 единицы от расчетной приближается область экспериментальных значений оптимальной кратности пены, при которой достигается минимальный удельный расход. В связи с тем, что критерием эффективности тушения принимался именно минимальный удельный расход, достичь эффективного тушения с расходом, менее указанного, не представляется возможным.

На рисунках 3.7–3.8 представлены зависимости, показывающие возможность применения существующих высоконапорных пеногенераторов для подслоной подачи пены кратностью  $K_H=4$  ед. при тушении СМТ в РВС. Расчеты произведены по формуле 3.16 с учетом того, что высота стенки РВС составляет 12 и 18 метров, а кратность пены для высоконапорных пеногенераторов составляет 4 единицы, в соответствии с требованиями таблицы 1 ГОСТ Р 53290-2009 [116].

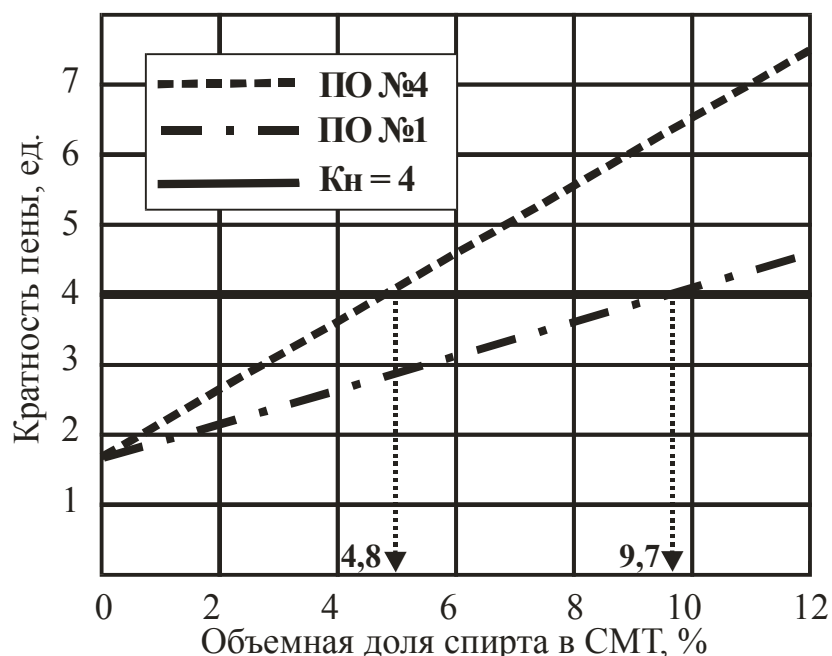


Рисунок 3.7 – Зависимости требуемой минимальной кратности пены на основе пенообразователей ПО №1 и ПО №2 от объемной доли спирта в СМТ для тушения РВС с высотой стенки 12 м

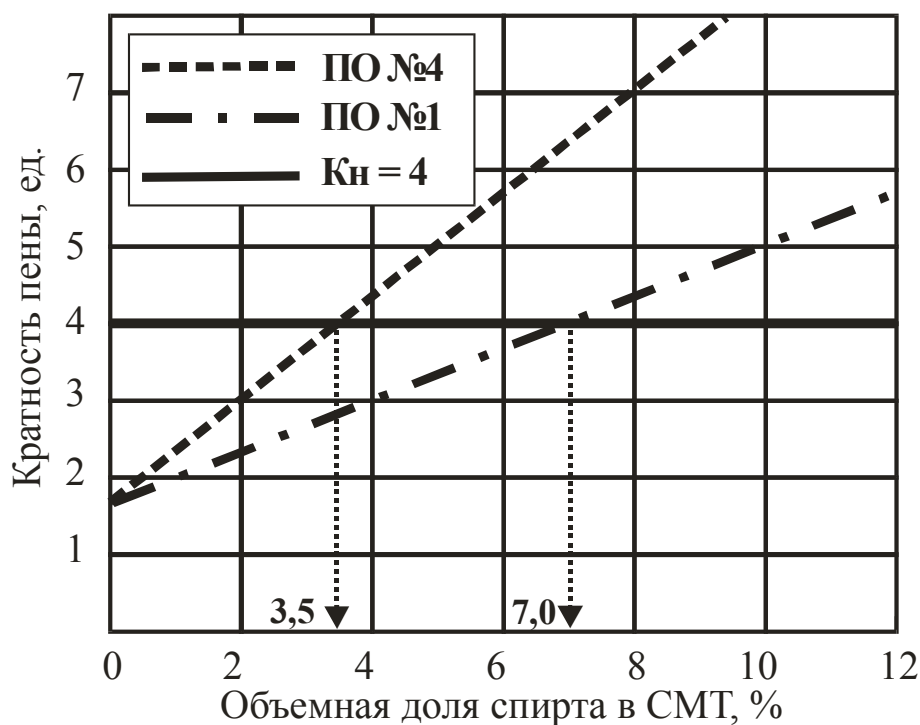


Рисунок 3.8 – Зависимости требуемой минимальной кратности пены на основе пенообразователей ПО№1 и ПО№2 от объемной доли спирта в СМТ для тушения РВС с высотой стенки 18 м.

На рисунке 3.8 видно, что для тушения РВС пенообразователем ПО №1 с высотой стенки 12 метров требуется, чтобы максимальное значение объемной доли спирта в топливе не превышало 9,7 %, а для пенообразователя ПО №4 – 4,8 %. В соответствии с рисунком 3.8 для РВС с высотой стенки 18 метров, оборудованных стандартными высоконапорными пеногенераторами, максимальное значение объемной доли спирта в СМТ не должно превышать 7,0 % и 3,5 % для пенообразователей ПО №1 и ПО №4, соответственно.

Результаты выполненных расчетов позволяют сделать вывод о том, что существующие системы подслоного пожаротушения могут использоваться для тушения СМТ, ориентировочная объемная доля спирта в которых не превышает 3,5 %. Увеличение концентрации спирта в СМТ не позволяет обеспечить гарантированное тушение пожара без изменений состава пенообразователя или пеногенирующих устройств. При повышении устойчивости пены к

пенoгашению и увеличении кратности пены существует возможность тушения СМТ с более высокой концентрацией спирта.

На рисунке 3.9 представлены зависимости требуемой кратности пены от высоты стенки РВС при подслоном тушении топлив с массовой долей кислорода 2,7 %.

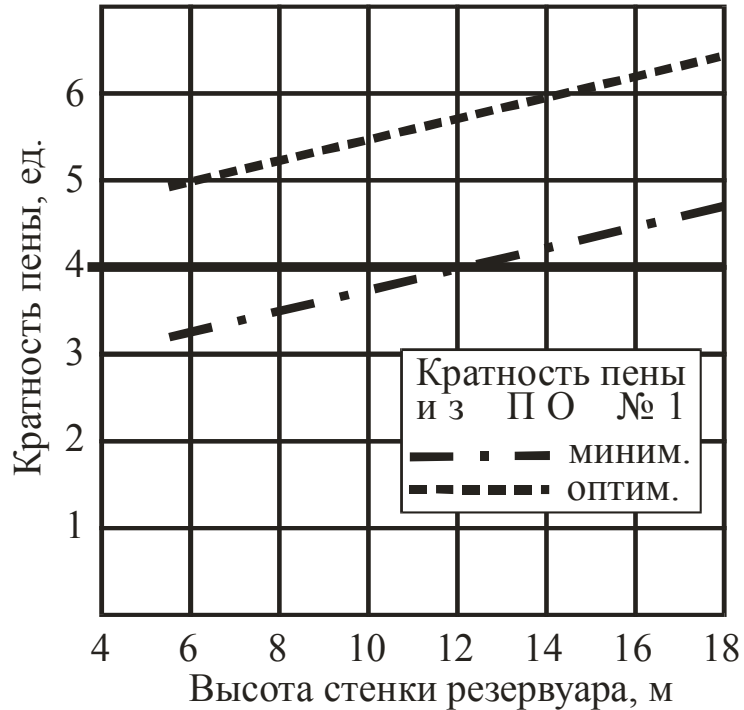


Рисунок 3.9 – Зависимости требуемой кратности пены от высоты стенки РВС при подслоном тушении топлив с массовой долей кислорода 2,7 %

Определяется минимальная и оптимальная кратность пены, полученной на основе пенообразователя ПО №1, в зависимости от высоты стенки РВС, содержащего СМТ с максимально-допустимой концентрацией спирта.

На рисунке 3.9 видно, что пересечение значения нормативной кратности пены ( $K_H=4$ ) соответствует высоте стенки РВС 12 метров. Это свидетельствует о том, что при ( $K_H=4$ ) пена на основе пенообразователя ПО №1 гарантированно поднимется на поверхность горючей жидкости. Однако для обеспечения эффективного тушения требуется кратность пены не менее 5,5 единиц.

### **Выводы по 3 главе**

1. Анализ результатов экспериментальных исследований подтверждает существенное влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения СМТ в резервуарах. В диапазоне кратности пены от 2 до 7,5 единиц значения минимального и максимального удельного расхода различаются на величину от 20 до 70 %. Оптимальная кратность пены для подслоного тушения СМТ в резервуарах находится в диапазоне от 4 до 5,5 единиц, минимальная кратность пены должна быть не менее 3-х единиц без учета противодействия столба горючей жидкости.

2. Кратность пены внутри подводящих трубопроводов систем подслоного пожаротушения меньше кратности пены полученной при испытаниях высоконапорных пеногенераторов на открытом воздухе по стандартизированной методике. Величина снижения кратности пропорциональна увеличению противодействия столба горючей жидкости. При практическом применении полученных результатов следует учитывать, что увеличение высоты стенки резервуара на каждый метр приводит к снижению кратности пены на 2,5–3 %.

3. Увеличение массовой доли кислорода в СМТ сопровождается снижением огнетушащей эффективности пены. Время тушения оксигенированного СМТ при нормативной интенсивности подачи пены повышается на величину от 15 до 30 % с повышением массовой доли кислорода на 1 %. Способность рабочих растворов используемых пенообразователей сохранять пенообразующую способность в присутствии спирта является одним из основных показателей, влияющих на время тушения.

4. Оценка возможности применения подслоной системы для тушения СМТ должна выполняться на основе данных об эффективности пенообразователя и способности высоконапорных пеногенераторов образовывать пену требуемой кратности при соответствующем противодействии столба горючей жидкости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате выполненных экспериментальных исследований по определению основных параметров тушения СМТ подслоиным способом установлено, что время тушения и удельный расход рабочего раствора пенообразователя зависят от кратности пены. Минимальная кратность пены должна составлять не менее 3 единиц. Установлено, что увеличение объемной доли спирта в топливе на каждый процент должно сопровождаться увеличением кратности пены на 10–15 %.

2. Анализ экспериментальных данных влияния спирта на сохранение пенообразующей способности рабочих растворов пенообразователей показал, что повышение объемной доли спирта в рабочем растворе на каждые 10 % приводит к снижению кратности пены на 15–27 %.

3. Получены эмпирические зависимости для определения удельного расхода и кратности пены, которые рекомендуются к использованию при оценке параметров высоконапорных пеногенераторов для подслоиногo пожаротушения. Величина минимальной кратности пены зависит от высоты РВС, коэффициента пеногашения, плотности горючей жидкости и концентрации в ней спирта. Выявлено, что область кратности пены, при которой реализуются оптимальные параметры тушения, находится на 1,5–2 единицы выше значений минимальной кратности пены.

4. Для подслоиногo пожаротушения СМТ с максимально допустимой массовой долей кислорода 2,7 % в РВС с высотой стенки до 12 м требуется применение пенообразователя с коэффициентом разрушения пены не более 5. Для подслоиногo тушения РВС с высотой стенки более 12 м дополнительно требуется генерация пены кратностью более 4-х единиц.

5. Установлено, что существующие системы подслоиногo пожаротушения могут использоваться для тушения СМТ с объемной долей спирта, не превышающей 3,5 %.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями на 2 декабря 2015 года)» [Текст]: Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 года № 826: по состоянию на 1 дек. 2016 г. Опубликовано: Официальный сайт Комиссии таможенного союза [www.tsouz.ru](http://www.tsouz.ru), 24.10.2011.

2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: Федеральный закон: принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Рос. газета – 2008. – 1 августа. Федеральный выпуск № 4720 – полоса 18.

3. Сухов, Я.В. Тушение нефтепродуктов с помощью сжатого воздуха [Текст] / Я.В. Сухов, А.В. Козлов. – М.: Отчет ЦНИИПО, 1953. – 46 с.

4. Сухов, Я.В. Изыскание наиболее эффективных способов тушения пожаров нефтепродуктов [Текст] / Я.В. Сухов, А.В. Козлов. – М.: Отчет ЦНИИПО, 1954. – 54 с.

5. Павлов, П.П. Тушение в резервуарах нефтепродуктов путем перемешивания последних с помощью сжатого воздуха [Текст] / П.П. Павлов, А.В. Козлов. – Баку: Труды АЗИИ, 1956.– С. 12-15.

6. Павлов, П.П. Тушение пожаров нефтепродуктов в подземных емкостях методом перемешивания с помощью сжатого воздуха [Текст] / П.П. Павлов, Б.А. Куликов – Баку: Информационный сборник ЦНИИПО, 1957. С. 47-51.

7. Блинов, В.И. О движении жидкости в резервуаре при перемешивании ее струей воздуха [Текст] / В.И. Блинов, Г.Н. Худяков, И.И. Петров, В.Ч. Реутт // Механизм тушения пламени нефтепродуктов в резервуарах. – М.: Изд. Мин. Коммунального хозяйства РСФСР, 1958. – С. 7-22.

8. Блинов, В.И. О движении жидкости в резервуаре при перемешивании ее струей воздуха [Текст] / В. И. Блинов // Инженерно-физический журнал. Т. 1. № 11, 1958. – С. 6-13.
9. Реутт, В.Ч. Применение методов теории подобия и размерности при изучении гидродинамики процесса перемешивания жидкости в резервуарах [Текст] / В.Ч. Реутт // Информационный сборник ЦНИИПО. – М.: 1959. – С. 24-28.
10. Рекомендации по тушению пожаров жидких горючих веществ в резервуарах методом перемешивания [Текст]. – М: ГУПО – ЦНИИПО, 1959. – 32 с.
11. Блинов, В.И. Диффузионное горение жидкостей [Текст] / В.И. Блинов, Г.Н. Худяков. – М.: АН СССР, 1961. – 208 с.
12. Петров, И.И. Методика исследования процессов горения горючих жидкостей в резервуарах и способ их тушения [Текст] / И.И. Петров // Пожарная профилактика и тушение пожаров. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 36-52.
13. Баратов, А.Н. Пожаротушение на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности [Текст] / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1971. – 416 с.
14. Баратов, А.Н. Горение – Пожар – Взрыв Безопасность: монография [Текст] / А.Н. Баратов. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с.
15. Шароварников, А.Ф. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / А. Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников. – М.: Калан, 2002. – 448 с.
16. Шароварников, А.Ф. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение [Текст] / А.Ф. Шароварников, С.А. Шароварников. – М.: Пожнаука, 2005. – 335 с.
17. Корольченко, Д.А. Основные факторы, определяющие воздействие газоаэрозольных огнетушащих составов на процессы горения [Текст] / Д.А. Корольченко, и [др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 1997. – Т.6. – № 4. – С. 3-6.



18. Шароварников, А.Ф. Перспективы освоения подслоного способа тушения пожаров в стальных резервуарах [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, А.В. Углов // Трубопроводный транспорт нефти: Сб. статей. Вып. 3. – М.: изд. «Транспресс», 1996. – С. 13-16.

19. Калюков Е. Россия установила рекорд по добыче нефти [Электронный ресурс] / Е. Калюков // РосБизнесКонсалтинг. – 2016. – Режим доступа: <http://www.rbc.ru/economics/02/01/2016/5687785a9a79470d94bfc498>.

20. Riecher, A. Sedgwick County, Kansas: July 17, 2007 [Электронный ресурс] / A. Riecher, D. White // Industrial fire world. - 2008. – Режим доступа: <https://www.industrialfireworld.com/540605/sedgwick-county-kansas-july-17-2007>.

21. Riecher, A. Westville, New Jersey: July 11, 2007 [Электронный ресурс] / A. Riecher // Industrial fire world. - 2008. – Режим доступа: <https://www.industrialfireworld.com/540269/westville-new-jersey-july-11-2007>.

22. Волков, О.М. Версия «Домино» на пожаре, группы РВС-20000 на линейной производственно-диспетчерской станции «Конда» [Электронный ресурс] / О.М. Волков // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 3 (49). – С. 1-17. – Режим доступа: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2013-3/07-03-13.ttb.pdf>.

23. Федякина, А. Пожар продолжается [Электронный ресурс] / А. Федякина // Российская газета. – 2012. – Режим доступа: <https://rg.ru/2012/08/28/pojar-site.html>.

24. Smith, M. Hazard Prevention - Fires & Explosions [Текст] / M. Smith // NISTM. – 2013. – 36 p.

25. Смирнов, Н. Отстояли резервуарный парк [Текст] / Смирнов Н. // Пожарное дело. – 2009. №11. – С. 28-29.

26. Дознаватели и эксперты МЧС России по Иркутской области выясняют причины пожара на нефтехранилище под Ангарском [Электронный ресурс] // Живой Ангарск – 2013. – Режим доступа: <http://liveangarsk.ru/news/20130823/doznavateli-i-e>.

27. Малык, И. Завершено расследование пожара на нефтебазе БРСМ под Васильковом [Электронный ресурс] / И. Насырова // Украинский бизнес ресурс. – 2016. – Режим доступа: <http://ubr.ua/ukraine-and-world/incidents/zaversheno-rassledovanie-pojara-na-neftebaze-brsm-pod-vasilkovom-403717>.

28. Riecher, A. Singapore Firefighters Battle Tank Fire [Электронный ресурс] / A. Riecher // Industrial fire world. – 2016. – Режим доступа: <https://www.industrialfireworld.com/530787/asian-tiger>.

29. Овчарук, Н. Пожар на нефтяном заводе в Уфе: погибли 6 человек [Электронный ресурс] / Н. Овчарук // Комсомольская правда. – 2016. – Режим доступа: <https://www.ufa.kp.ru/daily/26553.7/3572245>.

30. Темнова, Л. Крупный пожар на заводе «Лукойл» под Нижним Новгородом: горят резервуары с бензином [Электронный ресурс] / Л. Темнова, В. Муромцева // Комсомольская правда. – 2017. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/26740.4/3768211>.

31. Открытое горение на территории ПАО «Лукойл Нижегороднефтеоргсинтез» ликвидировано [Электронный ресурс] / Пресс-центр ГУ МЧС России по Нижегородской области – 2017. – Режим доступа: [https://52.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse\\_novosti/2895826](https://52.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/vse_novosti/2895826).

32. Riecher, A. Shrapnel From Blast Set Stage for April Refinery Fire [Электронный ресурс] / A. Riecher // Industrial fire world. – 2018. – Режим доступа: <https://www.industrialfireworld.com/530512/collateral-damage>.

33. Гришин, В.В. Состояние и проблемы противопожарной защиты резервуаров [Текст] / В.В. Гришин // Теоретические и экспериментальные вопросы автоматического пожаротушения: Сб. науч. тр. – 1987. – С. 24-32.

34. Безродный, И.Ф. Тушение нефти и нефтепродуктов [Текст] / И.Ф. Безродный, А.Н. Гилетич, В.А. Меркулов, В.П. Молчанов, А.Н. Швырков // Пособие. – Москва, 1996. – 216 с.

35. Установки пожаротушения в хранилищах путем введения пены под слой нефтепродукта [Текст]. – М.: ВНИИПО. – 1969. – 16 с.

36. Установки пожаротушения в нефтехранилищах путем введения пены под слой нефтепродукта [Текст] / Касай. – 1977, Т.27. – № 3. – С.11-19.

37. Nash, P. Fighting Fires in Oil storage Tanks. Using base injection of foam: Part 2 [Текст] / P. Nash, J. Whittle // Fire Technol. – 1978. – Vol. 14. – № 2. – pp. 147-158.

38. Накануки, А. Историческое изучение вопросов тушения пожаров в нефтяных резервуарах, оборудованных системой подачи под слой [Текст] / А. Накануки // Хайкан гидзюцу кэнкю кёкайси. – 1981. Т.21. – № 2. – С. 73-77.

39. Foam system well proven against oil tank fires [Текст] // Fire. – 1988. – № 993. – P. 40.

40. Шароварников, А.Ф. Подслойный способ тушения пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / А.Ф. Шароварников, А.А. Ефимов // Пожарное дело. – 1991. – № 12. – С. 91-96.

41. Воевода, С.С. Противопожарная защита резервуарных парков установками подслоного тушения [Текст] / С.С. Воевода, А.Ф. Шароварников, Н.К. Грашичев // Совершенствование деятельности органов Государственного пожарного надзора: Сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ, 1991. – С. 219-223.

42. Шароварников, А.Ф. Перспектива разработки и освоения «подслоного» способа тушения нефти и нефтепродуктов в резервуарах [Текст] / А.Ф. Шароварников, А.А. Ефимов // Пожаровзрывобезопасность. – 1992. – №1. – С. 62-67.

43. Шароварников, А.Ф. Усиление противопожарной защиты нефтебаз применением системы «подслоного» пожаротушения [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, В.В. Мишин // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 1994. – № 4. – С. 22-24.

44. Шароварников, А.Ф. Подслоное тушение [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов // Пожарное дело. – М.: 1995, № 1. – С. 83-85.

45. Шароварников, А.Ф. Тушение пожаров нефтепродуктов в резервуарах подачей пены в слой горючего [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов //

Транспорт и хранение нефтепродуктов: Сб. статей. Вып. 8-9. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1996. – С. 5-10.

46. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках [Текст]. – М.: ГУГПС – ВНИИПО, 1999.

47. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – М.: МЧС России, 2014. – 51 с. - Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/document/3744764>.

48. Рекомендации по тушению высокооктановых бензинов АИ-92, АИ-95, АИ-98 в резервуарах [Текст]. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. – 12 с.

49. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах [Текст]. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2007. – 58 с.

50. Ермак, А.А. Влияние спиртов на испаряемость бензина [Текст] / А.А. Ермак, О.С. Пищейко, А.А. Сидоров // Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – №11. – С. 149-153.

51. Балакирев, А.А. О взаимодействии пен с некоторыми жидкостями [Текст] / А.А. Балакирев, В.К. Тихомиров // Коллоидный журнал. – 1968. – т. 30. – № 4. – С. 490-493.

52. Кучер, В.М. О стойкости воздушно-механической пены на поверхности углеводородных жидкостей [Текст] / В.М. Кучер, В.А. Меркулов, В.В. Жуков // Горение и проблемы тушения пожаров: Тезисы докладов V Всесоюзной науч. – практ. конф. – М.: ВНИИПО, 1977. – С. 156-161.

53. Кучер, В.М. О скорости разрушения пены полярными жидкостями [Текст] / В.М. Кучер, В.А. Меркулов, В.В. Жуков // Средства и способы пожаротушения: Сб. тр. – М.: ВНИИПО. – 1979. – С. 126-132.

54. Шароварников, А.Ф. Исследование кинетики разрушения пен водноорганическими смесями [Текст] / А.Ф. Шароварников, А.Е. Феоктистов // Средства и способы пожаротушения: Сб. тр. – М.: ВНИИПО. – 1980. – вып. 7. – С. 82-87.

55. Кучер, В.М. Исследование интенсивности разрушения пены полярными жидкостями [Текст] / В.М. Кучер, В.А. Меркулов, В.В. Жуков // – Средства и способы пожаротушения: Сб. тр. – М.: ВНИИПО. – 1980. – вып. 7. – С. 152-158.

56. Плетнев, М.Ю. О механизме пеногасящего действия полярных органических жидкостей [Текст] / М.Ю. Плетнев // Коллоидный журнал. – 1981. – т. 43. – № 4 – С. 826-827.

57. Кучер, В.М. Применение пены для тушения пламени алифатических спиртов и монокарбоновых кислот [Текст] / В.М. Кучер, В.А. Меркулов, В.В. Жуков // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. тр. – М.: ВНИИПО. – 1981. – С. 60-65.

58. Кучер, В.М. Исследование механизма разрушения огнетушащих пен при контакте с поверхностью спиртов и органических кислот [Текст] / В.М. Кучер, В.А. Меркулов // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. тр. – М.: ВНИИПО. – 1981. – С. 11-17.

59. Шароварников, А.Ф. Тушение пожаров легковоспламеняющихся жидкостей [Текст] / А.Ф. Шароварников, Н.К. Грашичев, С.С. Воевода // Методологические проблемы обеспечения пожарной безопасности: Сб. научн. тр. – М.: ВНИИПО, 1991. – С. 94-100.

60. Comparative tests on liquid fuel fires [Текст] // Fire International, 1968. – September, № 121, p. 65-79.

61. Кругляков, П.М. Исследование пеногасящей способности высших жирных спиртов [Текст] / П.М. Кругляков, А.Р. Таубе // Прикладная химия. – 1971. – Т.44. №1. – С. 129-131.

62. Шароварников, А.Ф. Исследование механизма контактного взаимодействия органических растворителей с водными пенами [Текст] / А.Ф. Шароварников // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. трудов. Вып. 17 – М.: МВД СССР ВНИИПО, 1978. – С. 111-123

63. Шароварников, А.Ф. Исследование кинетики разрушения пен водноорганическими смесями [Текст] / А. Ф. Шароварников, А.Е. Феоктистов // Сб. тр. – М.: ВНИИПО, 1980. – С.8-14.

64. Шароварников, А.Ф. Исследование механизма разрушения пен органическими веществами [Текст] / А. Ф. Шароварников // Коллоидный журнал. – 1982. – Т. 42. № 4. – С.797-799.

65. Шароварников, А.Ф. Закономерности тушения горючих жидкостей [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Аксенов, Н.К. Грашичев // Пожарная техника, тактика и автоматические установки пожаротушения: Сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ, 1989. – С. 80-87.

66. Шароварников, А.Ф. Контактное втягивание пен органическими растворителями [Текст] / А. Ф. Шароварников // Коллоидный журнал. – 1980. – Т. 40. № 5. – С. 1021-1023.

67. Баратов, А.Н. Исследование процессов контактного разрушения огнетушащих пен гидрофильными жидкостями [Текст] / А.Н. Баратов, В.А. Меркулов, В.М. Кучер // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО. – 1982.– С 42-47.

68. Шароварников, А. Ф. К вопросу о механизме контактного разрушения пен органическими веществами [Текст]/ А. Ф. Шароварников // Коллоидный журнал. – 1983. – Т. 45. № 3. – С. 616-619.

69. Шароварников, А.Ф. О характере взаимодействия горючих гидрофильных растворителей с пенами [Текст] / А.Ф. Шароварников / Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. – М.: ВНИИПО. – 1982. – С.51-57.

70. Корольченко, А.Я. Проблемы тушения смесевых топлив подачей пены под слой горючего [Текст] / А.Я. Корольченко, С.А. Шароварников // Научно-техническое обеспечение деятельности государственной пожарной службы: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1996. – С.152-158.

71. Шароварников, С.А. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров со смесевыми топливами [Текст] / С.А. Шароварников, А.Я. Корольченко,

А.М. Крымов // Пожарная безопасность 96: Тезисы докладов Научно-практической конференции. – М.: МИПБ, 1996. – С.167-170.

72. Корольченко, А.Я. Огнетушащая эффективность фторсинтетических пенообразователей с полимерным компонентом при тушении смесевых топлив [Текст] / А.Я. Корольченко, С.А. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность, – 1997. – т. 6., №3, С. 48-51.

73. Шароварников, С.А. Тушение смесевых топлив в резервуарах подачи пены под слой горючего: автореф.дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Шароварников Сергей Александрович. – М., 1997. – 24 с.

74. Макаров, С.А. Тушение нефтепродуктов низкократными пенами [Текст] / С.А. Макаров, А.Ф. Шароварников, В.В. Дутов // Материалы научно-практической конференции «Современные проблемы тушения пожаров». – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С. 105-107.

75. Макаров, С.А. Влияние электрокинетического потенциала фторсинтетических пенообразователей на тушение нефтепродуктов пеной [Текст] / С.А. Макаров, А.Ф. Шароварников // Материалы восьмой международной конференции «Системы безопасности» – СБ 99. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С. 240-243.

76. Макаров, С.А. К вопросу о влиянии коллоидных характеристик фторсинтетических пенообразователей на процесс тушения нефтепродуктов пенами [Текст] / С.А. Макаров, А.Ф. Шароварников, В.В. Дутов // Тезисы докладов научно-исторической конференции, посвященной 350-летию пожарной охраны России. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – С. 54-59.

77. Макаров, С.А. Влияние электрокинетических свойств на тушение горящих нефтепродуктов [Текст] / С.А. Макаров, С.Г. Беляев, А.Ф. Шароварников // Материалы девятой научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2000. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – С. 27-30.

78. Макаров С.А. Тушение горящих нефтепродуктов низкократной пеной [Текст] / С.А. Макаров, А.П.Кряквин, С.А. Шароварников, С.Г. Беляев //

Материалы девятой научно-технической конференции «Системы безопасности» - СБ-2000. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – С. 30-32.

79. Макаров, С.А. Влияние электрокинетического потенциала фторсинтетических пенообразователей на тушение горящих нефтепродуктов пенами [Текст] / С.А. Макаров, С.Г. Беляев, А.А. Гончаров, А.В. Углов // Материалы девятой научно-технической конференции «Системы безопасности» - СБ-2000. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – С. 32-35.

80. Воевода, С. С. Экспериментальное определение характеристик тушения пленкообразующей пеной [Текст] // С.С. Воевода, С.А. Макаров, М.А. Грошев, С.А. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – Т. 12. – №6. – С.49-52.

81. Воевода, С. С. Математическое моделирование тушения пламени нефтепродуктов пленкообразующей пеной [Текст] / С.С. Воевода, С.А. Макаров, М.А. Грошев // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – Т. 12. – №6. – С.43-45.

82. Федеральный закон «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях [Текст]: федер. закон: принят Гос. Думой 17 июня 2011 г. № 164-ФЗ // Рос. газета. – 2011. – 29 июня. Федеральный выпуск №5514 – полоса 21.

83. Martin, J.W. Identification of Long-Chain Perfluorinated Acids in Biota from the Canadian Arctic [Text] / J.W. Martin, M.M. Smithwick, B.M. Braune, P.F. Hoekstra, D.C.G. Muir, S.A. Mabury // Environmental Science and Technology. – 2004. – 38 (2). – pp. 373-380.

84. Cortina, T. The safety & benefits of AFFF agents. Special analysis: Foam [Text] / T.Cortina // Industrial Fire Journal. – 2007. – pp.70-75.

85. Воевода, С.С. Математическое моделирование процесса тушения евротоплив фторсинтетической пеной [Текст] / С.С. Воевода, С.А. Макаров, В.А. Маркеев, А.Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 1. С. 78-81.

86. Воевода, С.С. Эффективность тушения спиртосодержащих углеводородных топлив в зависимости от жёсткости воды [Текст] / С.С. Воевода,



С.А. Макаров, А.В. Маркеев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 1. С. 82-86.

87. Воевода, С. С. Изолирующее действие фторсинтетической пены на поверхности углеводородного и спиртосодержащего топлива [Текст] / С.С. Воевода, С.А. Макаров, В.П. Молчанов, А.Ф. Шароварников // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2010.– №2. – С.5-11.

88. Воевода, С. С. Моделирование процесса тушения спиртосодержащих бензинов фторсинтетической пеной [Текст] / С.С. Воевода, С.А. Макаров, В.П. Молчанов, А.Ф. Шароварников // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2010.– №2. – С.12-17.

89. Битуев, Б.Ж. Тушение спиртосодержащих топлив фторсинтетической пеной: монография [Текст] / Б.Ж. Битуев и [др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – С. 5–14.

90. Битуев, Б.Ж. О влиянии жёсткости воды на эффективность тушения пожаров смесевых топлив [Электронный ресурс] / Б.Ж. Битуев и др. // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 5 (45). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-5/10-05-12.ttb.pdf>.

91. Бастриков, Д.Л. Комбинированный способ тушения пожаров автомобильных бензинов в вертикальных стальных резервуарах [Электронный ресурс] / Д.Л. Бастриков, С.С. Воевода, В.П. Молчанов, А.Ф. Шароварников // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 6 (52). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-6/18-06-13.ttb.pdf>.

92. Воевода, С.С. Тушение пламени полярных горючих жидкостей [Текст] / С.С. Воевода, В.П. Молчанов, А.Ф. Шароварников, Д.Л. Бастриков // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 6. С. 69-73.

93. Саутиев, М.И. Оценка влияния концентрации спирта в топливе на величину интенсивности подачи противопожарной пены [Электронный ресурс] / М.И. Саутиев, С.А. Макаров [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 6(58). с. 7. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/29-06-14.ttb.pdf>.

94. Саутиев, М.И. О механизме разрушения пены для тушения пожара экстракционно-разделяемых спиртосодержащих топлив [Электронный ресурс] / С.А. Макаров, М.И. Саутиев [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 5(63). с. 7. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/47-05-15.ttb.pdf>

95. Саутиев, М.И. Тактика пенного тушения экстракционно-разделенных спиртосодержащих топлив [Электронный ресурс] / С.А. Макаров, М.И. Саутиев [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 6(64). с. 9. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-6/38-06-15.ttb.pdf>

96. Молчанов, В.П. Определение величины интенсивности подачи пены для тушения топлива с различной концентрацией полярных горючих жидкостей [Текст] / В.П. Молчанов, М.И. Саутиев // Сб. IV Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 128-130

97. Шенфельд, Н. Неионогенные моющие средства продукты присоединения окиси этилена [Текст] / Н. Шенфельд.– М.: Химия, 1965 – 488 с.

98. Казаков, М.В. Исследование пенообразующей способности поверхностно-активных веществ: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.00 / Казаков Моисей Владимирович. – М., 1969. – 20 с.

99. NFPA 11 Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam [Text]. – 2002 Edition.

100. Казаков, М.В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров [Текст] / М.В. Казаков. – М.: Стройиздат, 1977. – 81 с.

101. Розенфельд, Л.М. Физико-химия стойких воздушно-механических пен, применяемых в пожаротушении / Л.М. Розенфельд. - М.: Наркомхоз РСФСР, 1941. – 77 с.

102. Tuve, R.L. Characterization of foams for fire extinguishment [Text] / R.L. Tuve, H.B. Peterson // Industrial and Engineering Chem. – 1956. – С.2024-2030

103. Ratzler, A. F. History and Development of Foam as a Fire Extinguishing Medium [Text] / A. F. Ratzler // Industrial and Engineering Chem. – 1956. – С.2013-2016
104. Реутт, В.Ч. Определение потерь давления в двухфазном потоке при пенообразовании на сетках [Текст] / В.Ч. Реутт // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. тр. – М.: ВНИИПО, 1973. – вып.10. – С.25-31.
105. Яковлев, А.А. Исследование влияния различных реагентов на разрушение пен и предупреждение пенообразования у буровых растворов [Текст] / А.А. Яковлев, М.В. Турицына, А.С. Кузнецов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – №15. – С. 48-56.
106. Тихомиров, В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения [Текст] / В.К. Тихомиров – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
107. Устройство для определения кратности пен : а. с. 911288 СССР: М.Кл<sup>3</sup>. G 01 N 27/02 / А. Ф. Шароварников, Е. В. Кокорев; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны. – №2813644/18-25; заявл. 03.09.79; опубл. 07.03.82, Бюл. № 9. – 2 с.
108. Котов, А.А. Применение высокократной пены при тушении пожаров [Текст] / А.А. Котов, И.И. Петров, В.Ч. Реутт. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 113 с.
109. Безродный, И.Ф. Забытые имена – забытые знания... или «Почему не тушит пена?..» [Текст] / И.Ф. Безродный // Пожаровзрывобезопасность, 2011, т. 20., №12, С.49-55.
110. Дегаев, Е.Н. Влияние кратности пен на основные параметры процесса тушения углеводородов [Текст] / Е.Н. Дегаев, Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников // Материалы IV-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 508 с.

111. Хиль, Е.И. Экспериментальное определение минимального удельного расхода и оптимальной интенсивности подачи пенообразователя при тушении пламени нефтепродуктов [Текст] / Е.И. Хиль, Воевода С.С., И.П. Макарова, А.Ф. Шароварников // Пожарная безопасность, – 2015. – № 4. – С. 76-81.

112. Фещенко, А.Н. Обзор работ по влиянию кратности воздушно-механической пены на эффективность тушения нефти и нефтепродуктов [Текст] / А.Н. Фещенко, С.А. Макаров // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2017. – С 277-280.

113. Воевода, С.С. Заполнение насосных по перекачке нефти пеной высокой кратности [Текст] / С.С. Воевода, А.Ф. Шароварников, Д.В. Матвеев, С.А. Макаров // Пожаровзрывобезопасность, – 2003. – т. 12., N 6. – С.56-58.

114. ГОСТ Р 53280.2–2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.07.2010 г. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с

115. НПБ 304-2001 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. Введ. 01.01.2002. – М.: ГУГПС МЧС России, 2002. – 22 с.

116. ГОСТ Р 53290-2009. Техника пожарная. Установки пенного пожаротушения. Генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 18.02.2009 г. – М.: Стандартинформ, 2009 – 8 с.

117. Корольченко, Д.А. Факторы, снижающие огнетушащую эффективность подслоной системы при тушении пламени нефтепродуктов [Текст] / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – №4. – С.56-67.

118. ГОСТ Р 50588–2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.09.2012 г. – М.: Стандартиформ, 2012. – 28 с.

119. ГОСТ Р 53280.1 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водорастворимых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.07.2010 г. – М.: Стандартиформ, 2010. – 12 с.

120. ГОСТ 6709–72 Вода дистиллированная. Технические условия [Текст]. – М.: ФГУП «Стандартиформ», 2010. – 10 с.

121. ГОСТ 9805–84. Спирт изопропиловый. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 9805-76. – Введ. 28.08.1984. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 16 с.

122. ГОСТ 6307–75. Нефтепродукты. Метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 3 с.

123. ГОСТ 25828-83. Гептан нормальный эталонный. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 5.395-70. – Введ. 01.07.1984. – М.: Издательство стандартов, 2009. – 4 с.

124. ГОСТ 4568-95. Калий хлористый. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.07.1987. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 16 с.

125. Фещенко, А.Н. Особенности выбора модельной горючей жидкости для исследования процесса тушения пожаров углеводородно-спиртовых топлив [Электронный ресурс] / А.Н. Фещенко, С.А. Макаров, О.К. Рахманин // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 2 (74). – С. 1-5. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/07-02-17.ttb.pdf>

126. Фещенко, А.Н. Подготовка модельного топлива для исследования процесса тушения высокооктановых бензинов [Текст] / А.Н. Фещенко, О.К. Рахманин // Сборник материалов двадцать шестой международной научно-

технической конференции «Системы безопасности –2017». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 262–264.

127. ГОСТ 1770–74. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 1770–63. Введ. 01.01.1976. – М.: Издательство стандартов, 2008. – 22 с.

128. ГОСТ 2405–88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры. Общие технические условия [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2008. – 32 с.

129. ГОСТ 28498–90. Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 7 с.

130. Фещенко, А.Н. Методика направленного регулирования кратности пены для изменения ее огнетушащей эффективности при подслоной подаче [Текст] / Фещенко А.Н., Макаров С.А., Третьяков А.В. // Сборник материалов V научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 268 – 270.

131. Фещенко, А.Н. Определение кратности пленкообразующей пены для подслоного тушения пожаров горючих жидкостей [Текст] / С.А. Макаров, А.Н. Фещенко, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, А.В. Третьяков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 26. – № 9. – С. 65-73.

132. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы: Справочник химика [Текст] / Под ред. Б.П. Никольского. – М.: Химия, 1965. – 448 с.

133. Андреев, А.П. Устойчивость огнетушащей пены с добавками специального назначения [Электронный ресурс] / А.П. Андреев, В.П. Молчанов, А.Н. Фещенко // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 4 (68). – С. 8. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/37-04-16.ttb.pdf>

134. Фещенко, А.Н. Тушение спиртосодержащих моторных топлив пеной средней кратности [Текст] / А.Н. Фещенко, С.А. Макаров, М.И. Саутиев / Сборник материалов Актуальные вопросы естествознания: материалы II Межвузовской научно-практической конференции, Иваново: – 2016. – С. 89-92.

135. Фещенко, А.Н. Определение пригодности пенообразователей для подслоного пожаротушения спиртосодержащих нефтепродуктов [Текст] / А.Н. Фещенко, О.К. Рахманин // Сборник материалов VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности –2018» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 37-40.

136. Макаров, С.А. Определение основных параметров пенного пожаротушения экстракционно-разделяемых спиртосодержащих моторных топлив кратности [Электронный ресурс] / С.А. Макаров, М.И. Саутиев, А.Н. Фещенко, А.В. Третьяков, И.А. Апанасенко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 6 (76). – 10 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-6/06-06-17.ttb.pdf>

137. Фещенко, А.Н. Закономерности тушения спиртосодержащих топлив подслоным способом пеной различной кратности [Электронный ресурс] / А.Н. Фещенко // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 1 (83). – 10 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-1/05-01-19.ttb.pdf>

**Приложение А**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОТЕ**



Таблица А.1 – Технические характеристики пенообразователя ПО№1

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Внешний вид	Однородная жидкость без осадка и расслоения	Соответствует
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	1000 – 1100	1082
Кинематическая вязкость при 20°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> , не более	100	5,4
Динамическая вязкость, Па·с, не более	0,11	0,006
Водородный показатель (рН) пенообразователя	6,5 – 8,5	7,8
Температура застывания, °С, не выше	Минус 15	Минус 20
Кратность пены из рабочего раствора с использованием питьевой, жесткой и морской воды, не более		10,5
		10,8
	20	11,4
Показатель устойчивости пены низкой кратности с использованием питьевой, жесткой и морской воды (ГОСТ Р 50588), с, не менее		326
		319
	300	310
Время тушения н-гептана пеной низкой кратности при интенсивности подачи рабочего раствора (0,059±0,002) дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с) с использованием питьевой воды (ГОСТ Р 50588), с, не более		
	90	77
Время тушения н-гептана пеной низкой кратности при интенсивности подачи рабочего раствора (0,059±0,002) дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с) с использованием жесткой воды (ГОСТ Р 50588), с, не более		
	120	81
Время тушения н-гептана пеной низкой кратности при интенсивности подачи рабочего раствора (0,059±0,002) дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с) с использованием морской воды (ГОСТ Р 50588), с, не более		
	120	88
Время тушения н-гептана подачей в слой горючего пены низкой кратности, полученной из рабочего раствора с использованием дистиллированной воды пенообразователя с интенсивностью (0,030±0,003) кг/(м <sup>2</sup> ·с), с, (ГОСТ Р 53280.2) не более	43	38

## Продолжение таблицы А.1

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Время повторного воспламенения модельного очага после тушения пеной низкой кратности с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не менее	450	498
Время повторного воспламенения модельного очага после тушения пеной низкой кратности с использованием жесткой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не менее	330	437
Время повторного воспламенения модельного очага после тушения пеной низкой кратности с использованием морской воды, с, (ГОСТ Р 50588) не менее	330	394
Поверхностное натяжение рабочего раствора при температуре 20°C, мН/м, (ГОСТ Р 53280.2), не более - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода	17,3	15,9 16,3 18,8 20,5
Межфазное натяжение на границе раздела водного раствора пенообразователя с н-гептаном при температуре 20°C, мН/м, (ГОСТ Р 53280.2), не менее - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода	2,5	2,9 1,9 1,5 2,4

Таблица А.2 – Технические характеристики пенообразователя ПОН<sub>2</sub> типа AFFF/AR-LV

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Внешний вид	Однородная жидкость без осадка и расслоения	Соответствует
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	1000 – 1100	1072
Кинематическая вязкость при 20°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> , не более	2000	1416
Динамическая вязкость, Па·с, не более	2,5	1,52
Водородный показатель (рН) пенообразователя	6,5 – 8,5	7,4

## Продолжение таблицы А.2

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Температура застывания, °С, не выше	Минус 15	Минус 20
Кратность пены из рабочего раствора с использованием питьевой воды (ГОСТ Р 50588):		
- низкая, не более	20	11,6
- средняя, не менее	40	78
- высокая, не менее	200	478
Кратность пены из рабочего раствора с использованием жесткой воды:		
- низкая, (ГОСТ Р 50588) не более	20	12,4
- средняя, не менее	40	81
- высокая, не менее	200	495
Кратность пены из рабочего раствора с использованием морской воды (ГОСТ Р 50588):		
- низкая, не более	20	13,1
- средняя, не менее	40	85
- высокая, не менее	200	511
Показатель устойчивости пены с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не менее:		
- низкая кратность	300	624
- средняя кратность	200	781
- высокая кратность	180	251
Показатель устойчивости пены с использованием жесткой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не менее:		
- низкая кратность	300	592
- средняя кратность	200	724
- высокая кратность	180	231
Показатель устойчивости пены с использованием морской воды, с, (ГОСТ Р 50588) не менее:		
- низкая кратность	300	578
- средняя кратность	200	628
- высокая кратность	180	218

## Продолжение таблицы А.2

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Время тушения н-гептана при установленной интенсивности подачи рабочего раствора с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более: - пеной низкой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной средней кратности при интенсивности $(0,032 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной высокой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	90	79
	100	75
	90	78
Время тушения н-гептана при установленной интенсивности подачи рабочего раствора с использованием жесткой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - пеной низкой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной средней кратности при интенсивности $(0,032 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; пеной высокой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	120	83
	120	77
	120	84
Время тушения н-гептана при установленной интенсивности подачи рабочего раствора с использованием морской воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - пеной низкой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной средней кратности при интенсивности $(0,032 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной высокой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	120	86
	120	81
	120	88
Время тушения ацетона (изопропанола) пеной низкой кратности при интенсивности подачи $(0,110 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием, с, (ГОСТ Р 50588) не более: - питьевой воды, - жесткой воды, - морской воды	180	145
	180	152
	180	166
Время тушения ацетона (изопропанола) пеной средней кратности при интенсивности подачи $(0,080 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием, с, (ГОСТ Р 53280.1) не более: - питьевой воды, - жесткой воды, - морской воды	120	91
	120	98
	120	106

## Продолжение таблицы А.2

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Время повторного воспламенения модельного очага н-гептана после тушения пеной с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - низкой кратности; - средней кратности	700	738
	400	512
Время повторного воспламенения модельного очага н-гептана после тушения пеной с использованием жесткой и морской воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - низкой кратности; - средней кратности	450	651/542
	330	514/431
Время повторного воспламенения ацетона в модельном очаге при тушении пеной низкой кратности при интенсивности подачи $(0,110 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием, с, (ГОСТ Р 53280.1) не менее - питьевой воды, - жесткой воды, - морской воды	600	633
	600	624
	600	615
Поверхностное натяжение рабочего раствора при температуре 20°C, мН/м, (ГОСТ Р 50588) не более - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода		16,1
		16,7
		18,3
		20,9
Межфазное натяжение на границе раздела водного раствора пенообразователя с н-гептаном при температуре 20°C, мН/м, (ГОСТ Р 50588) не менее - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода		2,8
		2,1
		1,9
		2,5

Таблица А.3 – Технические характеристики пенообразователя ПО№3 типа AFFF/AR

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Внешний вид	Однородная жидкость без осадка и расслоения	Соответствует

## Продолжение таблицы А.3

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	1000 – 1100	1092
Кинематическая вязкость при 20°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup> , не более	100	13,7
Динамическая вязкость, Па·с, не более	0,11	0,015
Водородный показатель (рН) пенообразователя	6,5 – 8,5	7,6
Температура застывания, °С, не выше	Минус 15	Минус 20
Кратность пены из рабочего раствора с использованием питьевой воды (ГОСТ Р 50588):		
- низкая, не более	20	11,2
- средняя, не менее	40	72
- высокая, не менее	200	462
Кратность пены из рабочего раствора с использованием жесткой воды (ГОСТ Р 50588):		
- низкая, не более	20	11,7
- средняя, не менее	40	78
- высокая, не менее	200	476
Кратность пены из рабочего раствора с использованием морской воды (ГОСТ Р 50588):		
- низкая, не более	20	12,4
- средняя, не менее	40	81
- высокая, не менее	200	487
Показатель устойчивости пены с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588), не менее:		
- низкая кратность	300	331
- средняя кратность	200	356
- высокая кратность	180	221
Показатель устойчивости пены с использованием жесткой воды, с, (ГОСТ Р 50588), не менее:		
- низкая кратность	300	325
- средняя кратность	200	347
- высокая кратность	180	214
Показатель устойчивости пены с использованием морской воды, с, (ГОСТ Р 50588), не менее:		
- низкая кратность	300	319
- средняя кратность	200	335
- высокая кратность	180	196

## Продолжение таблицы А.3

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Время тушения н-гептана при установленной интенсивности подачи рабочего раствора с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более: - пеной низкой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной средней кратности при интенсивности $(0,032 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной высокой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	90	87
	100	90
	90	88
Время тушения н-гептана при установленной интенсивности подачи рабочего раствора с использованием жесткой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - пеной низкой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной средней кратности при интенсивности $(0,032 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной высокой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	120	89
	120	93
	120	92
Время тушения н-гептана при установленной интенсивности подачи рабочего раствора с использованием морской воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - пеной низкой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной средней кратности при интенсивности $(0,032 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; - пеной высокой кратности при интенсивности $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	120	92
	120	98
	120	96
Время тушения ацетона (изопропанола) пеной низкой кратности при интенсивности подачи $(0,110 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием, с, (ГОСТ Р 53280.1) не более: - питьевой воды, - жесткой воды, - морской воды	180	127
	180	137
	180	149
Время тушения ацетона (изопропанола) пеной средней кратности при интенсивности подачи $(0,080 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием, с, (ГОСТ Р 53280.1) не более: - питьевой воды, - жесткой воды, - морской воды	120	98
	120	105
	120	112

## Продолжение таблицы А.3

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Время повторного воспламенения модельного очага н-гептана после тушения пеной с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - низкой кратности; - средней кратности	700	741
	400	462
Время повторного воспламенения модельного очага н-гептана после тушения пеной с использованием жесткой и морской воды, с, (ГОСТ Р 50588) не более - низкой кратности; - средней кратности	450	634/503
	330	446/424
Время повторного воспламенения ацетона в модельном очаге при тушении пеной низкой кратности при интенсивности подачи ( $0,110 \pm 0,002$ ) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием, с, (ГОСТ Р 50588) не менее - питьевой воды, - жесткой воды, - морской воды	600	635
	600	627
	600	618
Поверхностное натяжение рабочего раствора при температуре 20°C, мН/м, не более - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода		16,3
		17,5
		18,6
		19,9
Межфазное натяжение на границе раздела водного раствора пенообразователя с н-гептаном при температуре 20°C, мН/м, не менее - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода		2,8
		2,1
		2,4
		2,9

Таблица А.4 – Технические характеристики пенообразователя ПОН№4 типа АFFF

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Внешний вид	Однородная жидкость без осадка и расслоения	Соответствует
Плотность при 20°C, $\text{кг}/\text{м}^3$ , в пределах	1000 – 1100	1084
Кинематическая вязкость при 20°C, $\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ , не более	100	5,4



Продолжение таблицы А.4

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Динамическая вязкость, Па·с, не более	0,11	0,006
Водородный показатель (рН) пенообразователя	6,5 – 8,5	7,7
Температура застывания, °С, не выше	Минус 15	Минус 20
Кратность пены из рабочего раствора с использованием питьевой, жесткой и морской воды (ГОСТ Р 50588), не более	20	10,1
		11,1
		11,3
Показатель устойчивости пены низкой кратности с использованием питьевой, жесткой и морской воды (ГОСТ Р 50588), с, не менее	300	328
		323
		311
Время тушения н-гептана пеной низкой кратности при интенсивности подачи рабочего раствора $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием питьевой воды (ГОСТ Р 50588), с, не более	90	89
Время тушения н-гептана пеной низкой кратности при интенсивности подачи рабочего раствора $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием жесткой воды (ГОСТ Р 50588), с, не более	120	88
Время тушения н-гептана пеной низкой кратности при интенсивности подачи рабочего раствора $(0,059 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ с использованием морской воды (ГОСТ Р 50588), с, не более	120	98
Время тушения н-гептана подачей в слой горячего пены низкой кратности, полученной из рабочего раствора с использованием дистиллированной воды пенообразователя с интенсивностью $(0,030 \pm 0,003) \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , с, (ГОСТ Р 50588), не более	43	39
Время повторного воспламенения модельного очага после тушения пеной низкой кратности с использованием питьевой воды, с, (ГОСТ Р 50588), не менее	450	495
Время повторного воспламенения модельного очага после тушения пеной низкой кратности с использованием жесткой воды, с, (ГОСТ Р 50588), не менее	330	445

## Продолжение таблицы А.4

Наименование показателя	Требования нормативных документов	Показатель
Время повторного воспламенения модельного очага после тушения пеной низкой кратности с использованием морской воды, с, (ГОСТ Р 50588), не менее	330	394
Поверхностное натяжение рабочего раствора при температуре 20°C, мН/м, (ГОСТ Р 53280.2), не более - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода	17,3	16,1 16,9 18,6 20,0
Межфазное натяжение на границе раздела водного раствора пенообразователя с н-гептаном при температуре 20°C, мН/м, (ГОСТ Р 53280.2), не менее - дистиллированная вода, - питьевая вода, - жесткая вода, - морская вода	2,5	2,5 1,8 1,5 2,3

**Приложение Б**

**АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ**

Утверждаю

Генеральный директор  
ООО «Компания Южное Региональное  
Объединение Специализированной  
Промышленности»



А.В. Старченко

«27» июля 2018г.

внедрения результатов диссертационной работы адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров капитана внутренней службы Фещенко Александра Николаевича на тему: «Влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения спиртосодержащих моторных топлив»

Комиссия ООО «Компания ЮГРОСПРОМ» в составе:

- заместителя директора, кандидата экономических наук Костюченко И.Г.;
- заместителя директора по сбыту Козарезова А.И.;
- инженера контроля качества Симоненко Н.Н.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Фещенко А.Н. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» использованы для разработки порядка применения фторсодержащих пенообразователей выпускаемых на предприятии ООО «Компания ЮГРОСПРОМ» для тушения пожаров автомобильных бензинов экологического класса К4 и К5.

Председатель комиссии:

И.Г. Костюченко

Члены комиссии:



А.И. Козарезов

Н.Н. Симоненко

«Утверждаю»

Генеральный директор  
ООО «СЕРВИССНАБГАЗ»



  
А.Ю. Протасов

«17» апреля 2018 г.

### А К Т

внедрения результатов диссертационной работы адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров капитана внутренней службы  
Фещенко Александра Николаевича на тему:

«Влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения спиртосодержащих моторных топлив»

Комиссия ООО «СЕРВИССНАБГАЗ» в составе:

- директора по науке, кандидата технических наук Наумова В.В.
- коммерческого директора Федюнина Ю.П.
- инженера контроля качества Стариковская Л.Б.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Фещенко А.Н. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» используются при проведении испытаний генераторов пены низкой кратности «Феникс» для подслоного тушения резервуаров.

Председатель комиссии:

  
\_\_\_\_\_

/ Наумов В.В./

Члены комиссии:

  
\_\_\_\_\_

/ Федюнин Ю.П./

  
\_\_\_\_\_

/ Стариковская Л.Б./

Утверждаю

Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по научной работе

М.В. Алешков

« 20 » 2018 г.



### А К Т

внедрения результатов диссертационной работы адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров капитана внутренней службы Фещенко Александра Николаевича на тему: «Влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения спиртосодержащих моторных топлив»

Комиссия в составе:

– заместителя начальника УНК ПАСТ – начальника НИО ПАСТ Академии ГПС МЧС России полковника внутренней службы Емельянова Романа Александровича;

– начальника отдела пожарной безопасности ПАО «Транснефть» Морозова Сергея Николаевича

– старшего научного сотрудника сектора пожарной безопасности ООО «НИИ Транснефть» Калачинского Дмитрия Викторовича

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Фещенко А.Н. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» использованы при разработке ООО «НИИ Транснефть» изменений к нормативным документам ПАО «Транснефть»:


1) изменение № 1 к ОТТ-13.220.10-КТН-115-12 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Пенообразователи для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов. Общие технические требования»;

2) изменение № 1 к ОР-13.220.10-КТН-008-16 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Пенообразователи для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов. Порядок проведения испытаний».

Председатель комиссии:

  
\_\_\_\_\_ Р.А. Емельянов

Члены комиссии:

  
\_\_\_\_\_ С.Н. Морозов

  
\_\_\_\_\_ Д.В. Калачинский

ООО ЭГИДА ПТВ

Россия, 127299, Москва, ул. Клары Цеткин. д. 18Б, к.1, эт.1, пом. VI.  
Тел./Факс: +7 (495) 787-42-82/81 e-mail: info@egida-ptv.ru  
ИНН 7743096136, КПП 774301001, ОГРН 1157746316485  
Р/С 40702810838040116107 в ПАО Сбербанк г. Москва,  
БИК 044525225, К/С 30101810400000000225

WWW.EGIDA-PTV.RU



Утверждаю  
Генеральный директор  
ООО «ЭГИДА ПТВ»

А.В. Третьяков  
«27» сентября 2018 г.



### А К Т

внедрения результатов диссертационной работы адъюнкта ФПНПК  
Академии ГПС МЧС России капитана внутренней службы  
Фещенко Александра Николаевича на тему:  
«Влияние кратности пены на основные параметры подслоного  
пожаротушения спиртосодержащих моторных топлив»

Комиссия общества с ограниченной ответственностью «ЭГИДА ПТВ»  
в составе:

Председателя комиссии:

– главного инженера, кандидата химических наук В.Ю. Гаравина.

Членов комиссии:

– главного технолога С.М. Добычина;

– начальника лаборатории В.В. Барешкина.

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы  
Фещенко А.Н. в части определения влияния коэффициента пеногашения на  
пенообразующую способность рабочих растворов используются при оценке  
показателей качества пенообразователей целевого назначения для тушения  
спиртосодержащих моторных топлив, выпускаемых на ООО «ЭГИДА ПТВ».

Председатель комиссии:

*Гаравин В.Ю. Гарф*  
(ФИО, подпись)

Члены комиссии:

*Добычин С.М. Доб*  
(ФИО, подпись)

*Барешкин В.В.*  
(ФИО, подпись)

Утверждаю

Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по учебной работе  
полковник внутренней службы



М.В. Бедило

2018 г.

### А К Т

внедрения результатов диссертационной работы адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров капитана внутренней службы Фещенко Александра Николаевича на тему: «Влияние кратности пены на основные параметры подслоного пожаротушения спиртосодержащих моторных топлив».

Комиссия в составе:

– профессора кафедры общей и специальной химии, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника Андреева Александра Петровича;

– профессора кафедры общей и специальной химии, кандидата химических наук, доцента Дегтярева Сергея Викторовича;

– заместителя начальника кафедры процессов горения, кандидата технических наук, подполковника внутренней службы Соловьева Сергея Владимировича

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Фещенко А.Н. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» использованы при разработке учебно-методических материалов для проведения практических и лабораторных работ по дисциплине «Химия» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность».

Председатель комиссии:

Члены комиссии:



А.П. Андреев



С.В. Дегтярев



С.В. Соловьев