САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОССУДАРСТВЕННОИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ

На правах рукописи

ш

104.20 0.9 08319-

Бузюк Всеволод Васильевич

Снижение пожарной опасности технологического процесса слива-налива нефтепродуктов путем применения в системах пожаротушения пленкообразующей пены низкой кратности

05.26.03. Пожарная и промышленная безопасность.
(нефтегазовая отрасль)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, профессор
Крейтор Владимир Петрович

Санкт-Петербург - 2009

Содержание

Введение.	4
1. Глава 1 .Литературный обзор.	10
1.1. Современное состояние противопожарной защиты объектов хранения и транспортировки нефтепродуктами.	10
1.2. Оценка эффективности существующих установок автоматического пожаротушения.	12
1.3. Закономерности тушения нефтепродуктов низкократными пенами.	12
1.4. Механизм огнетушащего действия пленкообразующих пенообразователей.	15
1.5. Закономерности тушения нефтепродуктов пенами.	16
1.5.1. Экспериментальное определение огнетушащей эффективности пен.	19
1.6. Классификация и номенклатура пенообразователей для тушения пожаров.	27
1.7. Постановка задач исследований	34
2. Глава 2. Экспериментальная часть.	35
2.1. Методы исследований.	35
2.2.Определение скорости растекания водной пленки по поверхности углеводорода.	35
2.3. Метод определения электрокинетического потенциала в модельных пенных пленках.	45
2.4. Вещества, использованные в работе.	55
3. Глава 3. Результаты экспериментальных исследований.	57
3.1. Поверхностная активность водных растворов ПАВ.	58
3.2. Результаты исследований электрокинетических свойств модельных пленок.	64
4. Глава 4. Анализ результатов экспериментальных исследований.	71

4.1. Влияние скорости растекания водной пленки на огнетушащую эффективность фторсинтетической пены.	71
4.2. Скорость растекания водной пленки по поверхности углеводорода из пены различной кратности.	77
4.3. Скорость растекания водной пленки по поверхности углеводорода из составов с различным коэффициентом	82
4.4. Влияние водной пленки на процесс тушения углеводородов пеной.	87
5. Глава 5. Основные требования к системе тушения пожаров на объектах сливоналивных операций.	92
5.1. Противопожарная защита сливоналивных эстакад.	92
5.2. Установка пенного пожаротушения и водяного охлаждения железнодорожных сливо- наливных эстакадах.	94
5.3. Установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной.	96
5.4. Установки водяного охлаждения.	98
5.5. Установки пенного пожаротушения и водяные занавесы на причальных комплексах перегрузки нефти и нефтепродуктов.	99
5.6. Автоматические установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной.	102
5.7. Водяные занавесы.	105
5.8. Универсальные водопенные насадки.	106
5.9. Пожарные лафетные стволы.	107
5.10. Методика расчета систем пенного пожаротушения и водяного охлаждения на железнодорожных сливо- наливных эстакадах.	109
5.11. Требования к проектированию.	111
5.12. Тушения пожаров на причальных сооружениях. Общие требования к системам противопожарной защиты причальных комплексов.	122
5.13. Требования к системе автоматического пожаротушения пеной	123

низкой кратности причального комплекса.	
5.14. Требование по обеспечению пожарной безопасности причального комплекса и танкера, находящегося у причала.	124
5.15. Общие требования к системе тушения пожаров на объектах слива- налива.	125
5.16. Расчет огнетушащих средств на сливоналивных эстакадах.	126
Выводы.	133
Список литературы.	134
Приложение 1	146
Приложение 2	168

ВВЕДЕНИЕ

Нефтедобывающая промышленность представляет наибольшую пожарную опасность в народнохозяйственном комплексе страны, и тщательно разработанные меры, направленные на то, чтобы сохранить огромные капиталовложения, оказываются порой недостаточными для предотвращения потерь от пожаров. Если же учесть все разнообразие и сложность выпускаемых в настоящее время горючих веществ, станет ясно, что перед пожарной охраной стоит серьезная проблема обеспечения пожарной безопасности предприятий отрасли.

Противопожарная защита объектов резервуарных парков традиционно решается путем использования пены средней кратности, которую получают с помощью пеногенераторов, размещенных поблизости от объекта защиты, т.к. дальность пеной струи составляет 5-6 метров. Опыт эксплуатации автоматических систем пожаротушения и анализ произошедших пожаров показывает низкую эффективность противопожарного оборудования, поскольку уже в первые минуты пожара пеногенераторы типа ГПС выходят из строя.

Решение проблемы тушения пожаров нефтепродуктов на объектах резервуарного парка, включая железнодорожные сливо-наливные эстакады, в настоящее время связывается с использованием способа подачи расширенных струй низкократной пленкообразующей пены стационарными мониторами, установленными на расстоянии 15-25 метров. Причем, для реализации этого способа используются особые пленкообразующие пенообразователи, получившие в свое время, обобщенное название "Легкая вода". Эти пенообразователи содержат фторированные поверхностно-активные вещества, которые обеспечивают водному раствору необычайно низкое поверхностное натяжение, что позволяет образовывать на поверхности углеводорода саморастекающуюся равномерную пленку раствора пенообразователя.

Растекание водной пленки, являющейся непроницаемой для паров горючей жидкости, резко снижает скорость поступления паров горючего в зону горения, что в свою очередь приводит к потуханию пламени нефтепродукта и

длительное время после его тушения предотвращает загазованность окружающей Среды.

С освоением отечественного производства пенообразователей типа "Мультипена" (г. Новороссийск) перспектива внедрения "мониторного" способа тушения пожаров железнодорожных сливо-наливных эстакад становиться реальной, а для реализации предложенного способа тушения пожаров необходимо выявить научные принципы, позволяющие осуществить новый способ пожаротушения и создать специальный комплекс пеногенерирующего оборудования и пенообразователя, который предотвращает "загрязнение" пены нефтепродуктом в процессе ее "жесткой" подачи на горящую поверхность нефтепродукта. При этом состав пенообразователя должен обеспечивать предотвращение возможности повторного возгорания нефтепродукта путем образования водной пленки на поверхности углеводородов.

Для широкого освоения предлагаемой системы пожаротушения необходимо создать пленкообразующие составы, доступные по цене и объему производства. Поэтому задача разработки научных принципов осуществления нового способа тушения пожаров нефтепродуктов железнодорожных сливо-наливных эстакад и создание пленкообразующих пенообразователей является актуальной и соответствует Концепции развития пожарной безопасности Государственной нефтяной компании ОАО "НК "Роснефть", утвержденной 19.10.2003 г.

Целью данной работы является выявление закономерностей процесса тушения пожаров нефтепродуктов пленкообразующими составами, способными образовывать водную пленку раствора пенообразователя на поверхности горючей жидкости при тушении пожаров, и на их основе расчетно-экспериментальным способом обосновать основные требования к системе пожаротушения нефтепродуктов железнодорожных сливо-наливных эстакад.

На основе теоретических и экспериментальных исследований диссертационной работы:

выявлена взаимосвязь между огнетушащей и пленкообразующей эффективностью фторированных составов и определяющими параметрами, включающие: поверхностное и межфазное натяжение водного раствора, коэффициент растекания раствора по поверхности нефтепродукта, предельную мицеллярную растворимость горючей жидкости в растворе пенообразователя, пороговую концентрацию поверхностно-активных веществ;

впервые описан механизм самоочищения пен в процессе тушения и выявлена взаимосвязь степени загрязнения с интенсивностью подачи пены и межфазным натяжением границы "пена-нефтепродукт";

показано, что интенсивность термического разрушения частично "загрязненных" пен снижается при использовании стабилизаторов, повышающих порог коагуляции эмульгированных нефтепродуктов; определено минимальное значение толщины изолирующего слоя при использовании "загрязненных" пен; на основе анализа термического разрушения "загрязненных" пен предложена формула для определения времени тушения нефтепродуктов в резервуарах в зависимости от количества горючего, содержащегося в пенном слое;

разработан механизм образования, стабилизации и разрушения водных пленок, включающий гидростатическое истечение, испарение воды и солюбилизацию горючего, приводящую к нарушению сплошности пленок;

обоснованы показатели, характеризующие защитные действия пленкообразующих составов, в том числе относительный показатель защитного действия, определяемый по соотношению скоростей испарения горючего под пленкой и без нее, времени защитного действия и абсолютного показателя защитного действия; при этом эффективность защитного действия повышается с использованием стабилизаторов с минимальной мицеллярной растворимостью по отношению к конкретному нефтепродукту;

Существенным результатом работы является расчетно-экспериментальным обоснование технических . требований к системе . пожаротушения нефтепродуктов железнодорожных сливо-наливных эстакад.

Создана нормативная база документации в области проектирования

автоматических систем пожаротушения на основных объектов резервуарного парка.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений.

В первой главе анализируются проблемы и достижения в области противопожарной защите объектов резервуарных парков. Описаны способы тушения пожаров на железнодорожных сливо-наливных эстакадах. Рассмотрены характерные пожары, дана попытка проанализировать современное состояние систем пожаротушения объектов сливо-наливных операций, определены условия, затрудняющие тушение пожаров на эстакадах. Приведен обзор авторских изобретений в области технологий пожаротушения нефтепродуктов и пенных огнетушащих составов, который позволяет сделать анализ принятых взглядов на процесс тушения воздушно-механической пеной нефти и нефтепродуктов, с ее достоинствами и недостатками.

Приведен обзор пенообразующих композиций. Дается классификация и область применения пенообразователей в зависимости от природы горючего, свойств пены и способов ее применения. На основе анализа патентной и научной литературы проводится выбор направлений исследований.

Вторая глава содержит описание комплекса экспериментальных методов исследований огнетушащей, изолирующей и пленкообразующей эффективности пен, а также описаны фторированные поверхностно-активные вещества и пенообразователи, используемые в работе.

В третьей главе представлены результаты исследований, позволяющие прогнозировать пленкообразующие и изолирующие свойства экспериментальных составов пенообразователей. Приведены результаты исследований по определению скорости растекания водной пленки из растворов различных пенообразователей по поверхности гептана. Представлены результаты определения огнетушащей эффективности пены.

В четвертой главе анализируются выявленные закономерности существования водной пленки раствора пенообразователя на поверхности нефтепродуктов, на основании которых построена модель процесса

пленкообразования. Изложены результаты исследований процесса тушения пожаров нефтепродуктов пленкообразующими пенообразователями. Описана взаимосвязь исследуемых свойств состава пенообразователя и параметров процесса тушения пожаров нефтепродуктов Рассмотрен механизм формирования пенного слоя в процессе тушения пожара и сделан вывод об определяющей роли межфазного натяжения на границе раздела пены и горючей жидкости в процессе вытеснения нефтепродукта из пены. Получено уравнение для определения времени тушения пламени нефтепродукта пенами, на основе предложенной модели.

В пятой главе изложена технология применения низкократных пленкообразующих пен в системе пожаротушения железнодорожных сливо-наливных эстакад. На основе проведенного расчета определены тактико-технические параметры системы подачи мониторами низкократной пленкообразующей пены в на эстакаду и железнодорожную цистерну для тушения пожара различных типов нефтепродуктов.

На защиту выносятся следующие результаты и разработки:

закономерности процесса тушения пожаров нефтепродуктов пленкообразующими низкократными пенами; учитывающие взаимосвязь параметров процесса тушения пожаров нефтепродуктов и свойств пенообразователя;

закономерности образования и разрушения водной пленки раствора пенообразователя; позволяющие оптимизировать пленкообразующую композицию пенообразователя для применения в системе пожаротушения на эстакадах;

способы получения пен низкой и средней кратности ■ из пленкообразующих пенообразователей включающих технологию получения и механизм стабилизации пен различной кратности: низкократных пен при тушении эстакады, пен средней кратности при движении по нефтепродукту;

нормативно-техническая документация по комплексному применению пен для защиты объектов резервуарного парка;

По материалам диссертации опубликованы три статьи и получено положительное решение на изобретение.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Современное состояние противопожарной защиты объектов хранения и транспортировки нефтепродуктами

Наиболее распространенным средством тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах является воздушно-механическая пена. Широкие масштабы ее применения для этих целей обусловлены рядом преимуществ по сравнению с другими средствами тушения (газами, порошками и т.д.), такими, как обеспечение устойчивости к повторному возгоранию после тушения, возможностью тушить пожары в замкнутых объемах, на больших площадях и, в немалой степени, ее экономичностью [1].

Анализ длительного опыта эксплуатации резервуарных парков показал, что существующие системы противопожарной защиты резервуаров, в которых используется пена средней кратности не обеспечивают надежную защиту, поскольку выходят из строя в первый момент пожара [2-4].

В развитии современного резервуаростроения для хранения нефти и нефтепродуктов можно отметить два фактора, имеющих большое значение в деятельности пожарной охраны: значительное увеличение емкостей отдельных резервуаров и изменение конструкции резервуаров, связанных с их геометрическими размерами.

Максимальный объем резервуаров, находящихся в эксплуатации в России составляет 100 тыс.м . В ближайшее будущее предполагается строительство резервуаров объемом до 120 тыс.м . Увеличение емкости резервуаров привело к существенному изменению их конструкции. Вероятность сброса крыши при взрыве в резервуаре объемом более 10 тыс.м в начальной стадии пожара мала. В этом случае, как показывают пожары, происходит ее подрыв.

Происшедшие случаи пожаров в резервуарах, как у нас в стране, так и за рубежом в основном были потушены подразделениями пожарной охраны с использованием пожарной и иной техники для проведения пенных атак, что определило в настоящее время разработку современных технологий тушения пожаров.

Анализ причин возникновения пожаров и их развития до крупных размеров свидетельствует о недостаточной противопожарной защите объектов комплекса. При этом нельзя не учитывать специфику объектов комплекса. Пожары на них не только приводят к потерям важнейшего стратегического сырья, нарушению экологического природного баланса, но и своими последствиями представляют огромную опасность для целых городов и районов [5].

Трубопроводный транспорт в нашей стране получил самое широкое распространение [6], никто в мире не использует его в таких масштабах, как Россия. Особенно широко он применяется для транспортирования нефти и газа. Протяженность трубопроводных систем превышает 189 тыс. км. Магистральные нефтепроводы имеют протяженность 47 тыс. км, по которым только на нефтеперерабатывающие заводы России поставляется более 200 млн. тонн нефти в год.

Магистральные нефтепроводы, эксплуатируемые до 20 лет, составляют около 46%, до 30 лет - 29% и выше этого срока - 25%. К 2000 г. магистрали, которые будут эксплуатироваться более 20 лет, составят 73%, свыше 30 лет -41%, что свидетельствует о значительном износе трубопроводных систем, работающих непрерывно под нагрузкой, и во многих случаях, в условиях различной степени агрессивных сред и меняющихся воздействий на них.

Эти и многие другие неблагоприятные факторы и обстоятельства в ряде случаев приводили к разрушению магистральных нефтепроводов и возникновению пожаров, что связано со значительным экономическим ущербом, человеческими жертвами, отрицательным воздействием на экологию. По данным ВНИИСТа, в настоящее время в стране протяженность трубопроводов, требующих ремонта или замены, превышает протяженность и объемы вновь сооружаемых.

К наиболее опасным объектам следует отнести нефтеперерабатывающие предприятия и резервуары для хранения нефти и бензина, которые в силу различных обстоятельств оказались внутри городской границы. Если не ликвидировать пожар, то может произойти разрушение единичных резервуаров

и бензин покроет огромные площади. Учитывая сложность и длительность переноса таких предприятий за городскую черту и высокую стоимость таких работ необходимо обеспечить защиту этих объектов использованием более дорогих, но эффективных средств и способов борьбы с пожарами.

1.2.Оценка эффективности существующих **установок** автоматического пожаротушения

Анализ работы стационарных автоматических установок пожаротушения с использованием пены средней кратности показывает, что эти установки, как правило, не обеспечили тушения очагов пожара в начальной стадии по следующим основным причинам: в 50% пеногенераторы пены повреждаются взрывом, в 25% выходили из строя из-за пожара в обваловании.

По данным [34] до 20 % общих затрат на резервуарные парки приходится на автоматические установки пенного пожаротушения и, тем не менее, в нашей стране не зарегистрировано ни одного случая тушения пожара резервуара с помощью этих установок.

Причина несрабатывания установок пожаротушения - повреждение трубопроводов и пеногенераторов в начальный момент возникновения пожара.

В традиционной системе пожаротушения резервуаров пена средней кратности образуется в пеногенераторах типа ГПС или ГПСС и подаётся на поверхность горючей жидкости.

1.3. Закономерности тушения нефтепродуктов низкократными пенами

Использование низкократных пен в отечественной практике было приостановлено в конце 70-х годов, когда в практику пожаротушения было внедрено новое оборудование - пеногенераторы для получения пены средней кратности, а взамен белковым пенообразователям стали производить синтетические - углеводородные. Сопоставление огнетушащей эффективности этих пен, как в случае тушения нефтепродуктов, так и при тушении пожаров в подвальных помещениях однозначно показало преимущество пен средней кратности. Только один показатель пена средней кратности не могла

превзойти- это дальность подачи пены. Но эффект тушения при использовании пен средней кратности был несравненно большим, поэтому применение низкократных пен и белковых пенообразователей в дальнейшем не рекомендовалось. Белковые (протеиновые) пенообразователи с тех пор больше в пожарной охране не применяются, и практически не производятся отечественной промышленностью.

Плохая огнетушащая эффективность низкократных пен, полученных из белковых или углеводородных пенообразователей объясняется тем, что пена, попадая на поверхность горючего смешивается с ним, а всплывая на поверхность не способна образовать сплошной изолирующий слой. Часто такая пена сама становится горючей.

Пена средней кратности намного легче, чем низкократная пена, поэтому, попадая на поверхность углеводорода, уже не смешивается с ним, а плавает по поверхности. В результате ее тушащее действия оказались намного выше, чем у низкократной пены.

В нормах по тушению нефтепродуктов резервуарных парках было предусмотрено использование пеной только средней кратности.

В этот же период за рубежом начали использовать фторсодержащие пенообразователи, которые в отличие от белковых и углеводородных пенообразователей вовсе не смешиваются с нефтепродуктами, а поэтому обладают хорошей изолирующей способностью и высокой тушащей эффективностью.

Появление нового типа пенообразователей, которые получили общее название - "пленкообразующие" вновь пробудило пристальный интерес к низкократной пене, и , в первую очередь, из-за возможности подать пену на большое расстояние. В отличии от пен средней кратности , которые можно подавать максимум на 15-20 метров , а если используется пеногенератор высокой производительности - ГВП-2000 , то практически на 3-5 метров. Это создает угрозу для личного состава занятого тушением пожара. Поэтому, при равном тушащем действии применение низкократных пен более предпочтительно. Поскольку пенообразователи пленкообразующего типа'

стали изготавливать и в России, то вопрос о возврате или дополнительном применении пен низкой кратности снова стал актуальным.

Отсутствие отечественного опыта применения низкократных пен из пленкообразующих пенообразователей требует проведения исследований для выявления основных закономерностей тушения пламени нефтепродуктов, обоснования на их основе расходных норм и оптимального режима использования низкократной пены.

Целью данной работы является также, выявление закономерностей тушения пламени углеводородов нефтепродуктов низкократной пеной на основе пленкообразующих пенообразователей. Необходимо установить, почему, в пены низкой кратности на основе фторированных веществ, обладает высоким огнетушащим действием.

Экспериментальные исследования проведены на стендовой установке, которая предусматривает подачу пены в слой горючего заданной толщины. Меняя толщину слоя нефтепродукта, под которую подается пена, удается приблизить испытания к натурным условиям, когда розлив горючего может быть глубоким или не очень глубоким. Таким образом, можно проследить, как ведет себя пена, если ее подавать с большой скоростью непосредственно на поверхность жидкости.

Необходимо проследить, что влияет на степень загрязнения пены горючим, 'каков механизм загрязнения, как всплывает и растекается пена, и почему и в каких случаях процесс тушения проходит наиболее успешно. Отдельный вопрос о механизме изолирующего действия пленкообразующей и углеводородной пены.

При слабом изолирующем действии пены над поверхностью горючей жидкости достаточно паров, чтобы поддерживать горение.

Вопрос о механизме тушащего действия низкократной пены, является главным вопросом всей работы.

Предположение о механизме изолирующего действия позволяют поэтапно выяснить роль отдельных факторов, которые определяют процесс проникновения паров горючего сквозь пену.

В эксперименте постепенно меняется состав пенообразователя. Меняя основные компоненты пенообразователей, производится переход от пены углеводородной к фторированной - пленкообразующей.

Определяются: время тушения, расходные параметры по пене , характер и скорость растекания пены, степень загрязнения и удельные затраты пенообразователя.

При увеличении доли фторированного вещества примерно до 0,2 или 0,3 % изменяется механизм поведения пены при всплывании и распространении или формировании пенного слоя по поверхности.

1.4. Механизм огнетушащего действия пленкообразующих пенообразователей

Парциальной давление пара нефтепродукта возрастает по мере увеличения его температуры. При горении, температура поверхности жидкости близка к температуре ее кипения, поэтому пар имеет давление близкое к атмосферному. При контакте с пеной, в процессе ее растекания, пар заполняет пузырьки нижнего слоя пены, и в результате контакта с "холодными" пенными пленками охлаждается и оказывается перенасыщенным , поэтому конденсируется в виде мельчайших капель.

Как только микрокапельки сконденсировались на водных пленках пены, тут же образуются двухсторонние, не симметричные пленки. Капелька углеводорода способна растекаться по поверхности пленки, потому что сам углеводород имеет поверхностное натяжение ниже, чем водный раствор пенообразователя. Растекаясь по ней он образует сэндвич, с одной стороны которого очень низкое поверхностное натяжение - там где углеводород, а с другой стороны очень высокое там где воздух . Возникает локальное напряжение, которое приводит к быстрому разрушению пленки и первого слоя пены. Процесс повторяется в следующем слое пенных пузырьков. Таким образом, растекаясь вверх, пленка углеводорода приводит к быстрому лопанию пузырей. Пленка непрерывно подпитывается парами, которые поднимаются вверх с поверхности жидкости и в свою очередь конденсируется. Механизм

конденсации - смачивания приводит к быстрому формированию вертикальных полостей. Если эти полости сформировались, то они могут быть затянуты, если у пены низкая вязкость. Пена высокой кратности не сдвиниться и не закроет образовавшуюся полость, потому что у нее высокая структурная вязкость.

Углеводородная пена обладает низким изолирующим действием, потому что ее поверхностное натяжение выше, чем поверхностное натяжение у растворителя. Нужно изменить природу пенообразователя путем снижения его поверхностного натяжения. Если поверхностное натяжение пленки и углеводорода одинаковы, то уже неизвестно кто кого будет смачивать. Создается условие для более стабильного существования пены на поверхности, не тот ни другой уже не смачивают друг друга.

Если полностью предотвратить возможность смачивания углеводородом пены, то в этом случае эффект изолирующего действия будет не только за счет того, что пена всем своим слоем противится разрыву и нет возможности ее разорвать, но еще по поверхности начинает растекаться равновесная пленка жидкости. Если из водного раствора удастся сформировать на поверхности углеводорода пленку, то она резко снизит скорость испарения горючего.

Чтобы более широко начать использовать низкократную пену и выдать рекомендации по ее применению нужно четко представить, почему низкократная пена из фторированных пенообразователей может быть рекомендована. Предел использования пены ищется на основе сопоставления поверхностных натяжений. А если мы хотим создать условия самопроизвольного растекания, тогда возникает вопрос по межфазному натяжению, чтобы рассчитать величину термодинамической самопроизвольной готовности раствора потечь уже по горючему.

1.5. Закономерности тушения нефтепродуктов пенами

Наиболее распространенным средством тушения пожаров горючих жидкостей является воздушно-механическая пена. Широкие масштабы ее применения для этих целей обусловлены рядом преимуществ по сравнению с

другими средствами тушения (газами, порошками и т.д.), такими, как обеспечение устойчивости к повторному возгоранию после тушения, возможностью тушить пожары в замкнутых объемах, на больших площадях и, в немалой степени, ее экономичностью [1].

Процесс тушения пеной складывается из процессов ее разрушения и накопления, в результате которых на горящей поверхности образуется слой пены, достаточный для изоляции паров горючего от кислорода воздуха и охлаждения горячей поверхности жидкости [2-5].

При тушении пламени углеводородов эффективность применения пены оценивают критерием, называемым минимальной (критической) интенсивностью ее подачи J_{Kp}, который определяется из зависимости времени тушения модельного очага от интенсивности подачи раствора пенообразователя [6-8].

Математическая зависимость *m^ —J{J)* может быть выражена формулой [9]

$$r_T=-Sln(l-^-), \qquad (1.1)$$

где ?v - время тушения; *S* - коэффициент пропорциональности, определяющий скорость разрушения пены; *J* - текущая интенсивность подачи пены; J_{Kp} -критическая интенсивность подачи пены.

При этом критическая интенсивность подачи определяется объемом и кратностью пены, которую необходимо накопить на поверхности горючей жидкости для ее тушения. Поскольку объем пены в резервуаре пропорционален высоте слоя пены, то выражение, характеризующее J_{Kp}, принимает вид:

$$J_{Kp} = hJKS, \qquad (1.3)$$

где *hj* - толщина тушащего слоя пены; *S* - скорость разрушения пены.

В работе [10] на основе рассмотрения причин разрушения пены выявлена зависимость удельной скорости разрушения пены от параметров процесса тушения, характеристик пены и свойств горючего. Получена система уравнений, описывающая процесс тушения нефтепродуктов сверху и из-под слоя горючего. В результате изучения отдельных процессов, протекающих в пене при воздействии на нее основных факторов пожара, разработана

математическая модель тушения на основе уравнения материального баланса. Выведено соотношение для расчета времени тушения нефтепродуктов из-под слоя горючего:

$$*m = \frac{k_f p_t}{q/S_a - (u_T + u_c)/4} x \quad , \qquad (1.3)$$

$$(u_T + u_c)/4 = J_{KP}; \qquad q/S_0 = J$$

где h - толщина пенного слоя; p_t - плотность пены; q - расход пены; S_0 — площадь открытой поверхности горючей жидкости; u, - скорость термического распада пены; u_c - скорость сорбционного разрушения пены.

Из рассмотрения закономерностей растекания пены на основе представлений о движении тел с упруго-пластическими свойствами и с учетом условий горения и свойств горючей жидкости и раствора пенообразователя получено выражение [11]

$$r_r = a r_a F \wedge - \wedge n - \wedge \sim, \qquad (1.4)$$

где a - коэффициент пропорциональности; n - показатель степени; J, J_{Kp} -текущая и критическая интенсивности подачи; F_r - безразмерный параметр, аналогичный числу Фруда; x_a - параметр, имеющий размерность времени.

Коэффициент пропорциональности a и показатель степени n могут быть определены экспериментально. F_r определяют выражением

$$-F_r = K^3 4_P / ga \qquad (1.5)$$

где g - ускорение свободного падения; m_a - определяется выражением

Наиболее существенное отличие данной обобщенной формулы от ранее известных формул состоит в том, что коэффициент разрушения пены в ней зависит от интенсивности подачи раствора, однако свойства раствора и горючего в ней учитываются только косвенно, через критическую интенсивность.

Наиболее полно эти свойства учтены в работах [12, 13], в которых рассмотрены две модели тушения, различающиеся величиной скоростного напора пенной струи на поверхности жидкости.

Одна из моделей соответствует тушению пеной в реальных условиях, а другая отвечает условиям проведения стандартных испытаний. Выражение зависимости $r_T = f(j)$ имеет следующий вид:

$$r_T = \{aJ + b)\backslash n\{\backslash\text{-}\wedge\backslash, \qquad (1.6)$$

где w_p - удельная скорость разрушения пены (для углеводородов *щ* соответствует Лр); *a, b* - определяется выражениями:

$$2и_рK \qquad 2и_рK$$

где К - кратность пены; p_0 - плотность пенообразующего раствора; S_0 -площадь горения; /?- константа, связанная с размерностью; h_T— минимальная толщина слоя при тушении; *ру~* плотность пены.

Теоретические данные по расчету критической интенсивности подачи пены из-под слоя по литературным источникам отсутствуют.

1.5.1. Экспериментальное определение огнетушащей эффективности пен.

Определение эффективности пены при тушении нефтепродуктов в модельном очаге сводится к определению минимальной интенсивности подачи раствора пенообразователя исходя из зависимости $r_T = f(j)$, либо к

определению времени тушения при заданной интенсивности подачи.

Исследования проводятся, как правило, с целью сравнения эффективности составов или способа подачи огнетушащего вещества. Так, в работе [14] приведены описания экспериментальных методик и результаты исследований оптимальных режимов подачи низкократных пен. Отмечается высокая эффективность метода тушения пожаров в стационарных резервуарах путем введения огнетушащей пены через стенку непосредственно в

нефтепродукт. Наилучшие результаты получены при использовании для этой цели пены на основе фторсодержащего пенообразователя типа "Легкая вода". Даны рекомендации по реализации данного способа применительно к резервуарам различных типов.

В работе [15] описаны 14 огневых опытов по тушению 1370 литров автомобильного бензина в поддоне на площади 84 м с помощью различных типов пен. Использовались пены низкой кратности из растворов протеинового, фторпротеинового и пленколобразующего пенообразователя (AFFF), а также пены кратностью 20...30 и высокократная пена из растворов синтетического пенообразователя. В каждом опыте использовалось по 227 л-мин"[1] огнетушащего агента. Измерялось время 90 и 100 % тушения, проводились опыты по повторному зажиганию: определялось наименьшее время между окончанием тушения и повторным воспламенением топлива при поднесении источника зажигания. Эти испытания показали низкую эффективность протеиновой пены и необходимость замены ее в практике пожаротушения другими более эффективными видами пен, содержащих фторированные ПАВ.

В работе [16] приведены результаты огневых опытов по изучению горения и тушения нефтепродуктов и топлива М-15 (83 % бензина, 15 % метанола и 2 % изобутанола) на площадях 50, 11, 4, 0,6 и 0,25 м^2 с помощью низкократной пены, получаемой из растворов различных пенообразователей. Цель работы - изучение возможности тушения пенами углеводородных топлив и моделирования процесса тушения жидкостей пенами с целью создания надежного лабораторного метода оценки огнетушащей способности пен. В опытах измеряли интенсивность подачи раствора пенообразователя, время полного тушения, время 90%-ного тушения, удельный расход раствора пенообразователя на тушение. Два последних параметра оказались наиболее воспроизводимыми. Установлено, что хорошее соответствие наблюдается между результатами тушения на площади 50 м" и 4 м ; сделан вывод, что для получения надежных количественных данных следует проверять эффективность тушения пеной на площади не менее 4 м^2. Площадь 0,6 и 0,25 м^2 можно использовать для качественной оценки пенообразователя. Пена из

синтетического полимерообразующего пенообразователя оказалась наиболее эффективной для тушения топлива М-15. Фторпротеиновая спиртоустойчивая пена оказалась чувствительной к способу подачи и потребовала более высокой интенсивности подачи. Топливо М-15 оказалось возможным тушить также и пеной из обычного синтетического пенообразователя. Опыты на площади 11м^2 по тушению авиационного топлива и остатков бензина от опытов на 50 м^2 показали, что наибольшей огнетушащей способностью обладают пленкообразующие пенообразователи типа AFFF, удельный расход которых составил 0,1...0,22 л-м"^{2}; несколько менее эффективными оказались спиртоустойчивые пенообразователи, причем лучший из них - синтетический полимерообразующий пенообразователь; удельный расход их составлял 0,25...0,55 л-м" . Меньшую эффективность показали обычный синтетический, протеиновый, фторпротеиновый пенообразователи, их удельный расход для тушения составил 0,56...2,22 л-м"".

В работе [17] описываются опыты с применением фторпротеиновых пенообразователей, главным образом типа Petroseal и Alcoseal. Проведенные испытания огнетушащих пен, полученных с помощью фторпротеиновых пенообразователей, при подаче их под слой горючего показали эффективность фторпротеиновых пенообразователей для этих целей. Для испытаний использовали емкость диаметром 12 м, заполненную нефтью. Время предварительного горения составляло 30 мин. Температура вблизи зоны горения поднималась до 150 °С. Время тушения в серии опытов составляло 0,55... 1,50 мин. Пены, получаемые с помощью фторпротеиновых пенообразователей, более эффективны, чем пены, образующиеся с использованием синтетических пенообразователей типа AFFF. Это объясняется их большей термостабильностью.

В работе [18] анализируются опыты по тушению нефтепродуктов высокократной пеной, полученной из синтетических пенообразователей, путем подачи ее снизу. Результаты этих опытов показали, что пена быстро разрушается, поднимаясь вверх на поверхность горящих нефтепродуктов. Отмечается, что даже при использовании пены кратностью 3...4, которая не

поглощает такого большого количества нефтепродуктов, разрушение будет от 35 до 100 % при глубине слоя от 0,5 до 15 метров. Указывается, что при использовании чистого метода введения пены снизу кратность пены должна быть 3...4, а скорость подачи ее очень низкой.

В работе [19] описывается тушение пеной пожаров горючих жидкостей с низкой температурой воспламенения путем подачи пены снизу, а также аппаратура, необходимая для получения пены. Указываются выгоды применения пены снизу для тушения таких пожаров. Даваемая в данной статье информация основана на экспериментах малого масштаба (наибольший диаметр бака 3 м, высота 9 м). При проведении крупномасштабных опытов могут иметь место дополнительные проблемы, которые нельзя было предусмотреть на данной стадии.

В последнее время разработан ряд методик проведения полигонных испытаний, которые обеспечили возможность определения соотношения между эффективностью тушения пожара пенами для модельных очагов и реальных резервуаров. В работе [20] приводится описание 150 опытов по тушению нефтепродуктов на различных площадях от 9 м~ до 600 м" с помощью пены, полученной из растворов различных пенообразователей. При проведении испытаний использовался бензин, толуол и дизельное топливо. Учитывалась точная воспроизводимость условий проведения опытов. Обработка данных привела к составлению многочисленных таблиц.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что влияние изменения площади пожара на время тушения мало. Отмечено влияние условия распределения пены на процесс тушения пожара, так как время покрытия свободной поверхности горючего зависит от количества вводов пены. Сделан вывод о том, что результаты маломасштабных испытаний могут быть экстраполированы на крупномасштабные опыты, т.е. маломасштабные испытания являются адекватными и обеспечивают возможность сравнения различных пенообразующих веществ при проведении конкретных опытов. Испытания показали высокую эффективность пены, полученной из фторсинтетического пенообразователя.

Эффективность применения огнетушащих пен определяется их свойствами, которые в свою очередь зависят от химического состава пенообразующей композиции.

Таблица 1.1 Результаты огневых испытаний по тушению нефтепродуктов низкократной пеной, подаваемой на открытую поверхность горючего

Площадь модельного очага, м^2	37 (бетонный резервуар)						150 (бетонный резервуар)					600 (бетонный резервуар)	
Вид топлива	Бензин		Толуол								Бензин	Толуол	
Вид пенообразователя	Фтор-протеиновая	Фтор синтетичес					Протеиновая	Синтетическая			Протеиновая	Фтор-протеиновая	Фтор-синтетическая
Интнсивность подачи раствора пеообразователя, кг-м"^{2} «-• •с Время свободного горения, мин Общий расход, л-с"^{1} Начальная толщина пенного слоя, см Время локализации, с	0,075 2,5 8 130	0,075 2,5 8 65	0,075 2,5 8 40	0,075 2,5 8 40	0,0355 1,3 8 240	0,0355 1,3 8 220	0,135 20 9 Нет	0,135 20 8 95	0,075 10 8 220	0,075 10 8 85	0,07 ' 5 10 5 115	0,07 5 40 7 210	0,075 40 8 145

	150	120	145	95	Нет	300	Нет	100	250		120	270	200
Время тушения, с	10	8	9,7	6,3	5 мин	10	7 мин	13,3	16,7	300	8	18	13,4
Удельный расход, кг-м"	5	4,5	3,5	4	подачи	4	подачи	6	5	20	3	4	6
Толщина пенного слоя после тушения, см													

Таблица 1.2

Результаты огневых испытаний по тушению нефтепродуктов низкократной пеной, подаваемой в слой горючего

Площадь модельного очага, $м^2$	95 (резервуар)			45			113		5,7		100		
Вид горючего	Толуол			Бензин			Бензин		Бензин		Толуол		
Время свободного горения, мин	5	2	5	3	5	1	1	2	1	1	5		
Тип пеообразователя	Фторирован-ный												
Кратность	5	5	5	3	3,5	4	4,5	4,5	3	5	4	4	4
Интенсивность подачи водного раствора пенообразователя, кг-м" -с"	0,10 10 17,5	0,10 10	0,07 10	0,08	0,08	0,085	0,09	0,09	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10
Общий расход раствора, л-с"		12,0	20,0	3,6	3,6	3,6	10	10	0,5	0,5	10	10	10
Начальная толщина пенного													

слоя, СМ	5,7	0,7	3,6	2,3	2,31	1,72	2,37	2,37	0,66	1,25	2,2	2,2	2,2
Скорость ввода пены в слой горючего, м-с"[1]	85	70	95	—	——	——	——	—	—	——	——	——	-
Время локализации, с	95	85	125	330	360	90	180	240	160	150	Нет	125	75
Время тушения, с	9,9	8,5	12,1	26,4	28,8	7,2	16,2	21,6	12,8	12,0	Нет	12,5	7,5
Удельный расход, кг-м*[2]	13	10,5	17,5										
Толщина пенного слоя после тушения, см													

1.6. Классификация и номенклатура пенообразователей для тушения пожаров

Исходные пенообразующие композиции, предназначенные для тушения пожаров, принято подразделять в связи со свойствами и назначением пен, получающихся из их водных растворов или в соответствии с химической природой основного компонента.

Основными компонентами пенообразователей - стабилизаторами пены - являются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Необходимость введения в составы, кроме основного компонента, обеспечивающего пенообразование, других добавок мотивируется рядом специфических требований, предъявляемых к пенообразователям для тушения пожаров: повышенной устойчивостью пены; пониженной коррозионной активностью; низкой температурой застывания; стойкостью к замерзанию и оттаиванию; сохраняемостью и т.д.

Отечественные пенообразователи, предназначенные для тушения пожаров, согласно [21], в зависимости от применения делятся на две группы:

пенообразователи общего назначения, которые используются для получения пены и растворов смачивателей при тушении пожаров нефти, нефтепродуктов и твердых горючих материалов;

пенообразователи целевого назначения, которые используются для тушения пожаров отдельных видов горючих жидкостей или применяются в особых условиях (с морской водой, при низких температурах и т.д.).

Стандартом ИСО [22] предусмотрены следующие группы пенообразователей по назначению в зависимости от природы горючего, свойств пены и способов ее применения:

пенообразователи для тушения углеводородов подачей сверху пены низкой кратности (до 20);

пенообразователи для тушения углеводородов подачей пены низкой кратности под слой горючего;

пенообразователи для тушения пожаров пеной средней кратности (20...200); ЭД.

пенообразователи для объемного тушения пожаров пеной высокой кратности (более 200);

пенообразователи для тушения пожаров полярных и водорастворимых горючих жидкостей.

Сообщается о пенообразователях для тушения пожаров и предотвращения испарения ядовитых, взрывоопасных и агрессивных химических продуктов, таких как аммиак, гидразин, щелочи, кислоты (пенообразователи Hazmat NF № 1 и № 2, Biotec, National Hazmat) [23-25], о номенклатуре пенообразователей швейцарского филиала фирмы 3МС для тушения пожаров топлив, растворителей и спиртов [26].

Часто назначение пенообразователей определяется исходя из характеристик пожара.

Фирма Dr. Richard Stamer (ФРГ) сообщает о пенообразователе Foamousse, предназначенном для тушения пожаров нефтепродуктов на больших площадях (розливов) [27]. В работах [28, 29] сообщается о пенообразователях для тушения розливов, пожаров при авиакатастрофах, пожаров в резервуарах, для применения в спринклерных системах, для объемного тушения.

Наиболее общим признаком классификации пенообразователей является их состав и, в частности, химическая природа основы пенообразователя.

Исходя из химической природы ПАВ - стабилизатора пены -пенообразователи принято подразделять на [30-37]:

протеиновые, в которых стабилизатором пены является продукт гидролизации природного белка;

фторпротеиновые, которые готовятся на основе протеиновых, добавлением к ним фторсодержащих ПАВ (ФПАВ);

синтетические - на основе смесей углеводородных ПАВ (УПАВ);

фторсинтетические пенообразователи на основе ФПАВ, не содержащие белковые соединения.

Все приведенные выше системы классификации являются в значительной мере условными, так как вычленение какого-то одного свойства из системы ("концентрат" - раствор пенообразователя - пена - горючее - тушение) не дает и сдерживающей информации о пенообразователе. Поэтому при характеристике пенообразователей часто пользуются признаками различных систем классификации. Например, фторсинтетические пенообразователи нередко дополнительно характеризуют их свойствами и, в частности, способностью образовывать на поверхности нефтепродуктов водную пленку (Light Water, AFFF, AЗF). Химическую природу фторпротеиновых пенообразователей также иногда дополняют абревиатурой AЗF [38, 39].

Фторсинтетические пенообразователи AЗF с добавкой водорастворимого полимера, пена из которых способна тушить не только пламя углеводородов, но и полярных растворителей, называют универсальными или AЗF/АТС (пленкообразующие с концентратом спиртового типа) [40-43]. Изготовители и разработчики, представляя номенклатуру пенообразователей, как правило, приводят характеристики, учитывающие химическую природу основы состава, область его применения или описывают некоторые свойства, которые определяют область применения. Так, фирма "Hoechst" (ФРГ), представляя свои пенообразователи [44], за основу берет химический состав, но приводит также области применения каждого пенообразователя в зависимости от характеристики пожара. Фирма предлагает потребителям 14 пенообразователей, которые делит на пять групп: протеиновые, фторпротеиновые, синтетические, пленкообразующие и универсального действия. Протеиновые пенообразователи представлены пятью марками и общим названием "Tutogen" и различаются по некоторым свойствам (температуре застывания, гидростатической устойчивости пены, термостойкости, пенообразующей способности, возможности использования для растворов морской воды). Фторпротеиновый

пенообразователь выпускается под названием "Tutogen FP" в двух модификациях, которые различаются рабочей концентрацией раствора (3 и 6 %).

Синтетические пенообразователи имеют общее название "Expyrol F". Четыре различных модификации нефторированных синтетических пенообразователей различаются температурами применения (застывания) -минус 5, минус 15 и минус 30 °С, и концентрацией рабочего раствора (1, 2, 3 %).

Пленкообразующий пенообразователь "Expyrol CF" также представлен двумя модификациями, различающимися рабочими концентрациями (3 и 6 %). Относительно фтор- и полимерсодержащего пенообразователя "Expyrol FA" указано, что он предназначен для тушения полярных растворителей, углеводородов и их смесей, а также в виде пены средней кратности для тушения газового конденсата.

Пожары фирма подразделяет на 14 разновидностей в соответствии с отраслью хозяйства, видом горящего материала, типом применяемого оборудования. Так, для пожаров в резервуарах с углеводородами, оборудованных стационарными установками пожаротушения, рекомендуется обычный протеиновый "Tutogen U" в виде пены низкой кратности. Если резервуары оборудованы полустационарными установками, рекомендуется пена средней кратности из синтетического пенообразователя "Expyrol F". Если резервуары не оборудованы установками пожаротушения, рекомендуется пена низкой кратности из фторпротеинового пенообразователя "Tutogen FP", подаваемая с помощью передвижных стволов с большой дистанции. К остальным типам фирма относит пожары: резервуаров с химическими продуктами на предприятиях, полярных растворителей (таких, как эфиры, кетоны, спирты), на кораблях и в зоне порта, резервуарных парков в портах, в зданиях и сооружениях и кабельных тоннелях, на складах химикатов, автоцистерн с горючим на дорогах, в хранилищах сельскохозяйственных продуктов, станциях

техобслуживания, крупных розливов горючего при авиакатастрофах, в ангарах. Предусмотрены также случаи использования пены для профилактического покрытия взлетно-посадочных полос в аэропортах.

Номенклатура пенообразователей фирмы "Totse Walther" представлена 9 составами с общей торговой маркой "Komet Extract" 45, 46]. Из них 3 состава протеиновых: K.E. - для защиты резервуаров, K.E.L.B. -для покрытия пеной посадочных полос и K.E.A. - для пожаров спиртов. Фторпротеиновые пенообразователи предназначены: K.E.F. - для тушения углеводородов подачей пены под слой горючего и K.E.AF - для тушения спиртов. Синтетические пенообразователи K.E.S и K.E.S5 представлены как составы многоцелевого применения и различаются температурой застывания. Пенообразователи K.E/AFFF и K.E.AX - фторсинтетические. Первый предназначен для тушения пожаров на больших площадках; второй, содержащий полимер - универсального назначения.

Фирма "National Foam System" (США) предлагает [28] для спиртов -полимерсодержащий пенообразователь Universal C8, для смесей углеводородов со спиртами (газоолов) - пенообразователь National Aer-O-Foam XL-3, для химического материала - National Hazmat, для пожаров углеводородов в резервуарах - фторпротеиновый пенообразователь Aer-O-Water Plus, для розливов нефтепродуктов и пожаров при авиакатастрофах -Universal.

Большое разнообразие в типах и марках пенообразователей для тушения пожаров объясняется необходимостью сочетания в конкретном составе нескольких, зачастую взаимоисключающих, свойств. Анализ истории возникновения и развития пенного пожаротушения показывает, что решающим фактором, обуславливающим разнообразие составов пенообразователей, является экономический.

В соответствии с [47-49] свойства пенообразователей можно подразделить на физико-химические показатели и функциональные

характеристики. Физико-химические показатели, такие как pH Среды, рабочая концентрация, плотность, вязкость, наличие осадка, в основном носят информативный характер, либо являются дополнительными к основному функциональному показателю - огнетушащей способности [48].

На протяжении всей истории совершенствования пенообразователей физико-химические свойства изменялись в сторону снижения эксплуатационных затрат - обеспечения большего срока сохраняемости за счет уменьшения коррозионной активности, увеличения стабильности при хранении, снижения тмпературы замерзания, уменьшения рабочей концентрации и т.д. [30, 32, 50]. Потребительские характеристики пенообразователей и, в частности, ограждающая и пенообразующая способность развивались в сторону универсализации, что, требует расширения диапазона свойств. Как уже было сказано выше, свойства пенообразующих композиций обеспечиваются в основном их химическим составом. Усложнение составов влечет за собой удорожание композиций. Именно этим можно объяснить сохранение узкой специализации (например, выпуск и применение, наряду с высокоэффективными универсальными композициями типа "Light Water/ATC", дешевых протеиновых пенообразователей. Многообразие типов пожаров приводит к тому, что находятся условия, в которых более дешевый, но менее эффективный состав, более экономически выгоден, чем самый эффективный и дорогой. С другой стороны, существуют условия, в которых использование других эффективных составов необходимо.

Эффективность пены или огнетушащая способность часто оценивают временем тушения в стационарных условиях [14-22, 35-37, 51-53]. Более полной характристикой эффективности считается минимальный удельный расход пенообразователя в единицу времени, при котором возможно тушение (водонерастворимых соединений) или критическая интенсивность подачи [47, 49, 54, 55]. Отмечается, однако, что кроме свойств пенообразователя и характеристик пены критическая интенсивность

зависит от природы ГЖ, температуры ее поверхности, толщины слоя, способа подачи пен и т.д. Тем не менее, даже с учетом перечисленных факторов полученные результаты определения огнетушащей способности имеют неоднозначное толкование. Например, в работе [30] сообщается о преимуществе пены средней кратности (70) из синтетических пенообразователей перед пеной низкой кратности, получаемой из фторпротеиновых и фторсинтетических пенообразователей, при тушении пожаров нефтепродуктов. В работе [56] приведены результаты опытов по тушению гексана в резервуарах площадью от 2,3 до 150 м" низкократной пеной из пенообразователей: протеинового, пленкообразующего и спиртового, и высокократной пеной из синтетического пенообразователя. Лучшая эффективность отмечена у высокократной пены, худшая - у пленкообразующего пенообразователя.

Проливы бензина на площади 84 м тушили высокократной пеной из фторпротеинового пенообразователя и пеной средней и высокой кратности из синтетичского пенообразователя [57]. Отмечается наибольшая эффективность у среднекратной пены. При этом сообщается о том, что для сбивания пламени в начальный момент более эффективна низкократная пена.

Аналогичными были условия испытаний, описанные в [58]. Указывается, что наибольшую эффективность имела пена высокой кратности и наименьшую - низкократная пена. Отмечается, что у низкократной пены хорошая изолирующая способность и что применение высокократной пены технически затруднено. Относительно протеиновых пенообразователей сообщается, что их не испытывали, так как ранее доказана их неэффективность.

В работе [54] экспериментально получены значения критической интенсивности подачи при тушении нефтепродуктов пеной из двух образцов протеиновых пенообразователей (0,042 и 0,022 л-м"^{2}-с$^{-1}$) и фторпротеинового FP70 (0,015 л-м" -с"). Делается вывод, что при

нормативной интенсивности подачи, принятой в разных странах на уровне 0,05...0,1 л-м^-с"[1], разница во времени тушения различными пенообразователями невелика и в этих условиях допустимо использование протеиновых составов.

Различные углеводороды (гексан, гептан, додекан, смесь гептана и додекана, высокосортный бензин, керосин, дизельное топливо и нефть) тушили пеной из протеинового, фторпротеинового, синтетического и пленкообразующего пенообразователей [55]. По результатам испытаний был получен следующий ряд значений предельной вязкости пены, при которой она теряет огнетушащую эффективность: протеиновая пена < синтетическая и фторпротеиновая < пленкообразующая. При тушении по методике КАО авиатоплива низкократной пеной из синтетического пенообразователя общего назначения, синтетического пенообразователя с повышенной огнетушащей эффективностью и пленкообразующего пенообразователя было показано, что тушение достигается только пленкообразующей пеной [53]. Наилучшая эффективность пены из пленкообразующего пенообразователя отмечается по результатам испытаний четырех различных типов пенообразователей: пленкообразующего, фторпротеинового, синтетического и протеинового при тушении различных ГЖ (всего 14 наименований) с температурами кипения от 36 до 350 °С на площадях от 0,2 до 500 м" [59].

1.7. Постановка задач исследований

Анализ пожаров, имевших место как у нас в стране так за рубежом показывает, не только низкую эффективность противопожарной защиты резервуарных парков, но и высокую степень опасности для личного состава пожарных подразделений и персонала предприятий, участвующего в тушении пожаров на резервуарах.

В связи с этим в работе ставятся следующие задачи исследований:

провести анализ существующих норм и правил хранения нефтепродуктов, расчетных методов и экспериментальных данных по применению пленкообразующей низкократной пены при пожаре на объектах слива — налива нефтепродуктов, а также современных стационарных средств подачи пены при тушении объектов;

разработать научные принципы, позволяющие применить комплексную систему пожаротушения на объектах резервуарного парка;

выявить на основании экспериментальных исследований основные закономерности процесса тушения пожаров нефтепродуктов составами фторсинтетических пенообразователей с пленкообразующим эффектом;

разработать руководящие документы по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках, уточнив существующую технологию и нормы подачи пены на объекты резервуарного парка хранения нефтепродуктов.

Разработать рекомендации по применению комплексной системы пожаротушения объектов слива - налива резервуарного парка.

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Методы исследований

2.2. Определение скорости растекания водной пленки по поверхности углеводорода.

Огнетушащая эффективность фторсинтетической пены во многом определяется способностью выделившегося водного раствора, самопроизвольно растекаться по поверхности углеводорода и образовывать водную пленку, которая препятствует испарению горючего и, тем самым, ликвидировать пожар.

Первые эксперименты строились на предположении, что водная пленка равномерно растекается по поверхности горючей жидкости. Исследования основывалась на принципе того, что углеводороды не электропроводны, а водная пленка на их поверхности электропроводна. Разработанное устройство представляло собой двухэлектродную систему -ячейку с блоком умножения исходной величины (электропроводности водной пленки) на коэффициент корреляции. Ячейка состоит из двух сообщающихся частей, корпус изготовлен из органического стекла. В первой части находятся две вертикально расположенные друг напротив друга металлические пластины, играющие роль электродов.

После заполнения ячейки гептаном во вторую часть ячейки помещается пена. Водная пленка, выделившаяся в результате синерезиса пены, растекается по поверхности гептана и замыкает металлические электроды. Так как со временем при растекании увеличивалась площадь контакта водной пленки с металлическими пластинами и увеличивалась величина электрической проводимости.

При проведении измерений таким способом столкнулись с трудностями определения времени, за которое водная пленка полностью растечется по поверхности гептана. Это связано с тем, что даже после полного растекания, происходило увеличение толщины водной пленки и увеличение электропроводности. Поэтому момент полного растекания определялся визуально. Излишек раствора, образовавшийся в результате синерезиса пены, может растекаться по дну ячейки и замыкать контакты, поэтому для сбора выпавшего раствора имеются отстойники. Когда пленка только выходит за пределы второй части ячейки происходит резкое увеличение электропроводности между электродами, причем значение этого изменения составляет 20...25 % от конечного значения.

Это связано с влиянием на показания электропроводности между пластинами, проводимости самой пены, которая часто выходит за пределы второй части ячейки. Визуальное наблюдение за растеканием водных

пленок с положительными коэффициентами растекания близкими к 0 мН/м не соответствовало показаниям прибора.

Водная пленка из низкократной пены сначала растекалась по всей поверхности гептана и только после этого через 5...7 секунд происходило изменение значения электропроводности между металлическими пластинами. Тщательный анализ показал, что причиной такого поведения водной пленки является большая величина краевого угла смачивания между металлическими пластинами и гептаном.

При помощи вышеописанного устройства нельзя определить скорость растекания, если с распространением фронта водной пленки происходит ее разрыв на площади углеводорода, которая была уже покрыта пленкой либо пленка растекается неравномерно.

Разработано устройство, позволяющее определить скорость растекания равномерно и неравномерно растекающейся водной пленки из низкократной пены. Устройство представляет собой двухэлектродную систему - ячейку с блоком измерения исходной величины (электрической емкости) и регистрации ее изменения во времени при помощи персонального компьютера.

Измерение электрической емкости производится измерителем имитанса Е 7-8, который способен выделять реактивную составляющую цепи в автоматическом режиме. Корпус ячейки изготовлен из органического стекла. Внутри ячейка состоит из двух сообщающихся частей, расположенных на различных горизонтальных уровнях.

В первой - основной части, расположены горизонтально выровненный водно-солевой раствор и гептан над ним.

Гептан по принципу сообщающихся сосудов находится как в первой, так и во второй части ячейки. В начале и в конце устройства находятся металлические электроды. Первый электрод опущен в водно-солевой

раствор. Нижняя часть второго металлического электрода касается поверхности гептана. Пена наносится во вторую часть ячейки, где и происходит контакт с металлическим электродом. Излишек раствора, образовавшийся в результате синерезиса пены, собирается в отстойнике.

Для того чтобы пена не вышла в другую часть ячейки, на расстоянии 6 мм от поверхности гептана расположен барьер. Водная пленка, выделившаяся из пены, растекается по поверхности углеводорода. Емкость измеряется между двумя, горизонтально выровненными друг напротив друга электродами, одним из которых является водно-солевой раствор, другим водная пленка. Увеличение электрической емкости пропорционально увеличению площади углеводорода покрытого пленкой.

Последовательность проведения измерений скорости растекания водной пленки по поверхности гептана:

1. Рабочие растворы приготавливаются в одноразовых стаканах объемом 50 мл путем смешивания, предварительно приготовленных смесей растворов УПАВ и ФПАВ. Например, если нужно приготовить состав, в котором суммарная концентрация ПАВ составляет 1% масс, при этом 50% ПАВ углеводородный и 50% ПАВ фторированный, то из колбы с углеводородным ПАВ в стакан нужно налить 25 мл раствора из колбы с фторированным ПАВ в стакан также наливают 25мл раствора. Приготавливаются растворы с различным содержанием углеводородного и фторированного компонента.

2. В колбе объемом 500 мл приготавливается водный раствор хлористого калия концентрацией 0.3 % масс. Удельная электропроводность такого раствора 0.51 См/м.

3. Водно-солевой раствор заливается в первую часть ячейки, при этом верхний уровень водно-солевого раствора не выше нижнего уровня второй части ячейки. Исходная емкость ($c_{нсх}$) ячейки с водно-солевым раствором составляет около 1.35 пФ.

4. В первую часть ячейки наливается гептан, который по принципу сообщающихся сосудов также растекается по поверхности водно-солевого слоя. Расстояние между поверхностью гептана и поверхностью водно-солевого слоя около 3—3.5 миллиметров. Если толщина слоя гептана менее 2.5 миллиметров, то образовывавшиеся в результате скопления раствора димплы могут касаться водно-солевого слоя. В этом случае возможно резкое падение величины емкости и результаты будут не достоверными.

5. Измерения начинаются с составов с меньшим содержанием фторированного компонента. В шприц объемом 10 мл всасывается 2 мл раствора и 4 мл воздуха. Взбалтыванием получаем пену кратностью 3. Во вторую часть ячейки наносится 6 мл приготовленной пены.

6. Водная пленка, образовавшаяся в результате синерезиса пены, растекается по поверхности гептана, увеличивается площадь поверхности, покрытая пленкой. Увеличивается значение электрической емкости между слоем водно-солевого раствора и водной пленкой, которое определяется на прибором для измерения емкости и регистрируется компьютером. Если электрическая емкость практически не меняется, то система находится в таком состоянии, когда водная пленка полностью растеклась по поверхности гептана.

7. Производится обработка результатов измерений электрической емкости изменяющейся в результате растекания пленки, и расчет скорости растекания.

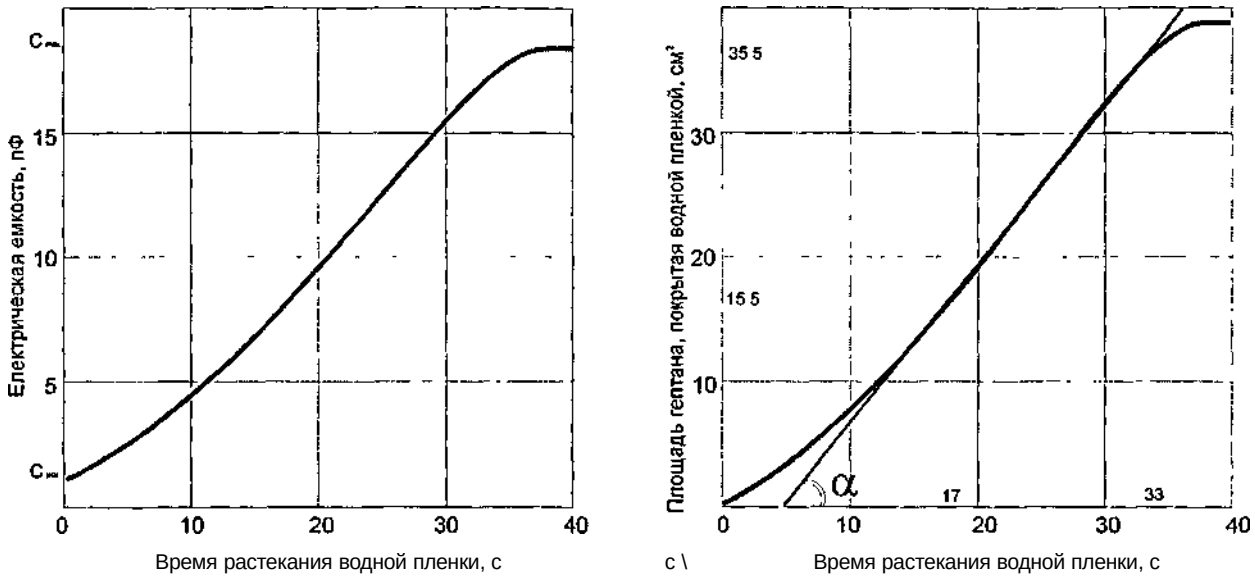


Рис. 2.5. Пример определения скорости растекания методом графического дифференцирования: а) График зависимости электрической емкости изменяющейся в результате растекания водной пленки по поверхности углеводорода во времени; б) График зависимости увеличения площади поверхности углеводорода, покрытой водной пленкой во времени.

Значение электрической емкости между водно-солевым раствором и пленкой зависит и от электрической проводимости раствора поверхностно-активных веществ, поэтому для удобства дальнейших расчетов и связи величины емкости с площадью покрытия вводится поправочный коэффициент ($к_c$). Достижение значения максимальной емкости ($с_{max}$) соответствует состоянию системы, когда водная пленка полностью растеклась по всей поверхности (S) гептана. Перерасчет значений электрической емкости в площадь углеводорода, покрытую водной пленкой, и определение скорости растекания производится по формулам:

$$S' = k_c(c_{mm}\text{-}cJ \qquad \textbf{(2.1.2.1)}$$

$$k_c = \frac{L_{TM}{}^{thm}}{C_{max} - C_{ucx}} \qquad (2.1.2.2)$$

$$V^{paan} = tga = \frac{}{Лг} \qquad \textbf{(2.1.2.3)}$$

Графическое дифференцирование сводится к построению касательной к кривой S=f(x) и определению тангенса угла наклона касательной к оси т, который численно равен значению производной в данной точке. Значение tga равно скорости растекания водной пленки по поверхности
углеводорода.
Для более точного определения скорости растекания водной пленки из низкократной пены для каждого состава снималось 5-7 кривых.

Определяя скорость растекания водной пленки из низкократной пены, обязательно следует учитывать кратность исследуемой пены, так как на скорость растекания влияет процесс синерезиса. Чтобы определить скорость растекания без учета влияния синерезиса пены необходимо получать пленку не из пены, а из раствора. Для этого разработано дополнительное устройство. Устройство представляет собой емкость в форме прямоугольного параллелепипеда. Раствор ПАВ выделяется из емкости через две дюзы. Необходимо также учитывать количество выделяющейся жидкости, и процесс формирования пленки. Расход определяется уровнем раствора в емкости. Если устройство установить строго вертикально поверхности гептана то выделившийся раствор упадет на дно ячейки. Поэтому устройство устанавливается под углом 120° к поверхности гептана.

Результаты экспериментов по определению скорости растекания пленки из водного раствора содержанием углеводородного компонента С и

фторсинтетического компонента «Fluortensid II», по поверхности гептана представлены в таблице № 2.1.2.1.

Таблица № 2.1.2.1

№ п/п	Концентрация углеводородного компонента (% масс)	Концентрация фторированного компонента (% масс)	Скорость растекания водной пленки по поверхности гептана мм /с
1	0.24	0.082	1.34
2	0.24	0.082	1.15
3	0.24	0.082	1.35
4	0.24	0.082	1.25
5	0.24	0.082	1.27
6	0.24	0.082	1.10

9. Производится обработка результатов экспериментов по определению скорости растекания водной пленки из низкократной пены по поверхности гептана:

9.1. Определение среднего арифметического для п - числа измерений скорости растекания водной пленки по поверхности гептана;

Г'~=и-'|>7яв",i=1,2,…, п. (2.1.2.4)
;=1

9.2. Определение абсолютной погрешности отдельных измерений измерений скорости растекания водной пленки по поверхности гептана;

щрасп, = у рост _ ураст^ \= \^ ..., П. (2.1.2.5)

9.3. Определение среднего квадратического отклонения среднего значения серии измерений скорости растекания водной пленки по поверхности гептана;

S = n{n-\) \= 1,2,..., п. (2.1.2.6)

9.4. Определение коэффициента Стьюдента - t_s, для п - числа измерений с доверительной вероятностью P = 0.95 из таблиц распределения Стьюдента;

9.5. Определение величины доверительного интервала истинного значения измерений скорости растекания водной пленки по поверхности гептана с надежностью 95%;

$$E = t_r S \qquad (2.1.2.7)$$

9.6. Определение относительной погрешности;

$$S = \frac{}{V^{pacm}} \cdot 100 \qquad (2.1.2.8)$$

9.7. Определение результата измерений скорости растекания водной пленки по поверхности гептана;

$$ур°ш_{=}ур«*»_{\pm E} \qquad \textbf{(2.1.2.9)}$$

Итоги обработки результатов экспериментов определения скорости растекания водной пленки из водного раствора содержанием углеводородного компонента С и фторсинтетического компонента «Fluortensid II», по поверхности гептана представлены в таблице № 2.1.2.2.

Таблица №2.1.2.2.

Количество измерений, п	б
Скорость растекания водной пленки из низкократной пены по поверхности гептана (среднее арифметическое), см /с.	1,24
Среднее квадратическое отклонение среднего значения скорости растекания водной пленки из низкократной пены по поверхности гептана, $см^2/с$.	0,1007
Доверительный интервал истинного значения скорости растекания водной пленки из низкократной пены по поверхности гептана с надежностью 95%, $см^2/с$.	0,197
Относительная погрешность измерений скорости растекания водной пленки из низкократной пены по поверхности гептана, %.	15.88

2.3. Метод определения электрокинетического потенциала в модельных пенных пленках

Для определения электрокинетического потенциала в модельных пленках необходимо смоделировать процесс течения жидкости в пленке под действием электрического поля. Проведены эксперименты, позволяющие визуально наблюдать процесс электропереноса в пленке при наложении разности потенциалов. Водная пленка формируется на металлическом кольце диаметром 29 ... 31мм, путем окунания кольца в раствор ПАВ с последующим подъемом. Кольцо изготавливается из проволоки диаметром 1мм. Для снижения самопроизвольного перераспределения жидкости в пленке под действием силы тяжести производилось выравнивание кольца относительно поверхности воды.

В центр кольца помещается электрод, изготовленный из металлической проволоки диаметром 0.3 мм. После формирования на кольце водной пленки, на центральный электрод и кольцо от источника постоянного тока подается разность потенциалов 300 В сила тока зависит от сопротивления пленки и составляет 0.1. ..2мА. Полярность определяется таким образом, чтобы происходил отток жидкости к центральному электроду (рис. 2.1.4.2). В редких случаях возле центрального электрода скапливается такое количество жидкости, что происходит самопроизвольный ее отрыв в виде капли под действием силы тяжести. Если электрод делается из проволоки диаметром свыше 0.7 мм, возникают определенные, особенно для углеводородных пенообразователей, трудности наблюдения, так как пленка лопается уже через 3 ... 5 секунд после наложения разности потенциалов, если же диаметр проволоки менее 0.1мм, даже через 15 секунд наблюдения не происходит видимых изменений состояния пленки.

Если центральный электрод поменять на узкую рамочку, то будет происходить отток скопившейся жидкости по пленке внутри рамочки. На конце рамочки образуется капля, сформированная в результате

перемещения жидкости под воздействием электрического поля. Когда капля достигает определенной массы, происходит ее отрыв. Рамочка изготавливается из металлической проволоки диаметром 0.1мм, при использовании проволоки с большим диаметром снижается время жизни пленки после наложения разности потенциалов, и удается получить только 2...3 капли из одной пленки. Ширина, длинна рамочки под кольцом, а также ее форма подбирается отдельно для каждого раствора. Положение рамочки относительно кольца должно быть таким, чтобы сразу после формирования пленок в кольце и центральной рамочке не происходило самопроизвольного оттока жидкости без наложения разности потенциалов. Измерение объема капли производится на устройстве, состоящим из специального измерительного капилляра изогнутого и расширенного на одном конце, пористого фильтра приклеенного к широкому концу капилляра, шприца для создания разряжения в капилляре и реометра -манометра для определения разряжения. Величина разряжения в капилляре составляла 150...200 мм водного столба. В качестве пористого фильтра использовалась металлическая сетка размером пор 1.5 мк с величиной капиллярного давления 570 мм водного столба на водопроводной воде. Измерительный капилляр имеет внутренний диаметр 0.504 мм, поэтому

перемещение мениска на 1 см соответствует объему жидкости 2-10"^{9}м^{3}. Капля после отрыва от конца центральной рамочки падает и всасывается на пористом фильтре, сразу меняется положение мениска в капилляре. Для удобства измерений на капилляр одевается свободно двигающаяся шкала, позволяющая по положению мениска сразу определить объем упавшей капли.

Для определения величины электроосмотического переноса жидкости в свободной водной пленке разработана установка, позволяющая определить объем перенесенной жидкости, а также регистрировать период формирования капли и силу тока в любой момент времени исследования. Как видно из схемы к узлам установки, которые были описаны выше, прибавилась дополнительная электрическая часть. Время формирования капли и сила тока требуется для дальнейших расчетов количества электричества необходимого для переноса определенного объема жидкости, чем и характеризуется величина электроосмотического переноса. Специально для исследований пенообразователей различной природы имеется переключатель позволяющий менять направление тока. С целью увеличения времени жизни пленки в нижней части герметичного баллона помещается, смоченный водой, параллон для создания нужной влажности воздуха.

Последовательность проведения измерений электрокинетического потенциала свободной пленки от концентрации ПАВ в растворе:

1. Приготавливается раствор с концентрацией пенообразующего вещества 2.0% масс. Затем последовательным разбавлением дистиллированной водой готовятся растворы с концентрацией: 1.0; 0.5; 0.25; 0.12; 0.06 % масс. Концентрации пенообразующего вещества могут быть и иными, это зависит от содержания ПАВ в исследуемом составе.

Определяем кислотно-щелочной показатель pH каждого раствора для последующего определения природы исследуемого поверхностно-активного вещества.

2. Настраивается установка для последующих измерений. Сначала кольцо и центральную рамочку погружаем в стакан с водопроводной водой, затем нажимаем на переключатель изменения направления тока, тем самым на кольцо и рамочку подается разность потенциалов. В этот момент вольтметр показывает величину напряжения 300В, амперметр силу тока 2мА. Включаем контрольный самописец. Проверяем соответствие

величины силы тока на амперметре с показаниями самописца. Если показания приборов не соответствуют друг другу, производим настройку при помощи тумблера настроечного сопротивления.

Производим заполнение измерительного капилляра водой. Для этого переворачиваем капилляр так, чтобы широкая его часть с пористым фильтром погрузилась в предварительно поставленный на подставку стакан с водой. Вода отсасывается из стакана в шприц через капилляр, тем самым из капилляра вытесняется весь воздух. Капилляр считается полностью заполненным, если в рабочем состоянии под сеткой нет пузырьков воздуха. После полного заполнения капилляра начинаем вытеснение воды из капилляра при помощи шприца в таком количестве, чтобы мениск вывести начало измерительной шкалы. Скорость движения мениска должна быть такой, чтобы не образовалось двух менисков в капилляре. Выделившиеся на пористом фильтре капельки воды собираем фильтровальной бумагой. К узкому концу измерительного капилляра подсоединяется соединительная трубка от реометра - манометра и шприцом создается разряжение 170 мм водного столба.

В измерительный стакан наливается исследуемый раствор. Производится выравнивание кольца относительно поверхности раствора. Кольцо вместе с центральной рамкой погружается в раствор и поднимается с определенной скоростью. Скорость поднятия кольца с рамкой должна быть такой, чтобы после окончательного формирования пленки не было интенсивного самопроизвольного выкапывания жидкости с кончика центральной рамочки без наложения разности потенциалов, допускается выкапывание 1...2 капель в течение первых 10 секунд. Если удается получить нужную пленку, но происходит выкапывание 3...4 капель за 10 секунд, необходимо поднять центральную рамочку на 2 мм и повторить вышеописанные действия. Если центральную рамочку поднять очень высоко, то самопроизвольное выкапывание вообще прекратится, и даже после наложения разности потенциалов не будет происходить достаточный

отток жидкости, скопившейся у центральной рамочки, поэтому настройка длинны рамки под кольцом, а так же подбор экспериментальным путем ее формы необходима для получения достоверных результатов эксперимента. Параллон в герметичном баллоне смачивается водой. Дверца баллона закрывается. Внутри происходит увлажнение воздуха.

3. Определяем, каким является исследуемое поверхностно - активное вещество: анионным; катионным; амфолитным; неионогенным. После формирования водной пленки на кольцо и центральную рамочку подается разность потенциалов и меняется направления тока. По интенсивности выкапывания капель и положению скопления перенесенной жидкости определяем природу поверхностно - активного вещества. При исследованиях анионного поверхностно - активного вещества минус подается на рамочку, при этом возле ее скапливается жидкость и происходит интенсивное выкапывание, если минус подается на кольцо, то выкапывание прекращается и через 2...3 секунды пленка лопается. В пленке из раствора катионного поверхностно - активного вещества скопление жидкости у центральной рамочки и интенсивное выкапывание будет происходить при подаче минуса на кольцо. Пленки из растворов амфолитных поверхностно - активных веществ на дистиллированной не очень активны после наложения разности потенциалов, поэтому они требуют дополнительных исследований с учетом pH раствора. Так при pH=8 водного раствора амфолитного поверхностно — активного вещества, его пленка в электромагнитном поле проявляет себя как из анионного, при pH=3 как из катионного. В водных пленках из неионогенных поверхностно - активных веществ не происходит движения жидкости при наложении разности потенциалов.

4. После определения природы поверхностно - активного вещества приступаем непосредственно к определению электроосмотического переноса жидкости в пленке.

Включаем контрольный самописец. Окунаем кольцо и рамочку в раствор ПАВ, поднимаем, после прекращения самопроизвольного выкапывания жидкости подаем разность потенциалов в нужном направлении. От кончика центральной рамочки с различным интервалом начнут отрываться капельки и падать на пористый фильтр. Время формирования капли регистрируется на ленте с каждым нажатием кнопки на пульте управления. Одновременно регистрируется изменение положения мениска в измерительном капилляре.. Например, положение мениска было напротив отметок: 0, 4.4, 8.6, 13.2, 18,3 измерительной шкалы. Объем капель соответственно составит: 4.4, 4.3, 4.6 и 5,1 $м^3/10"^9$. Значения объема регистрируются в тетрадь напротив момента времени попадания капли на пористый фильтр измерительного капилляра. Для получения надежных результатов электроосмотического переноса требуется исследовать минимум 10 водных пленок из раствора ПАВ одинаковой концентрации.

5. Производится расшифровка измерительной ленты (рис. 2.1.4.6-2.1.4.7). Для этого вся кривая регистрации силы тока от времени условно делится на несколько трапеций. Количество шагов зависит от времени формирования каждой капли и формы кривой между периодами выкапывания. Площадь трапеций пропорциональна количеству электричества, необходимого для переноса жидкости в пленке.

6. В термостатируемой ячейке с помощью платиновых электродов определяется величина удельной электропроводности исследуемого раствора. В качестве измерителя используется мост переменного тока Р-5010 с частотой 1000 Гц.

На ленте отмечена кривая, по которой определяется количество электричества, необходимое для формирования четырех капель, объем которых известен.

Коэффициент ячейки находился путем сопоставления удельной электропроводности растворов хлористого калия с дистиллированной

водой в различных концентрациях, измеренной на лабораторном оборудовании, с известными величинами удельной электропроводности. Значения электрической проводимости растворов хлористого калия находятся по таблицам в справочнике химика. Многочисленные эксперименты определения коэффициента ячейки показали, что на него влияет не только площадь металлических электродов и расстояние между ними, но и внутренний объем ячейки.

Ячейка изображенная на рис. 2.1.4.8 имеет коэффициент 30.7, то есть если измеритель фиксирует величину проводимости 0,0043 См/м то электропроводность этого раствора 0,135См/м.

7. Расчет электрокинетического потенциала производился на основе соотношений Гельмгольца - Смолуховского

$$\frac{\mu \cdot r V^{\wedge}}{D \cdot D_Q \cdot I} \qquad (2.1.4.1)$$

где г] - вязкость раствора; % - удельная электропроводность раствора; D, D_0 - относительная и абсолютная величина диэлектрических постоянных; т - время формирования капли; V - объем перенесенной жидкости; I - сила тока.

Результаты измерений заносятся в таблицу 2.1.4.1.

Исходные данные: название ПАВ, температура внутри герметичного баллона Т °С.

Табл. 2.1.4.1.

Результаты измерений

№ пп	Концентрация ПАВ, **с,** (%масс)	Объем перенесеиной жидкости *V,* $м^{ъ}$ -КГ^{9}	Время переноса *г,* с	Сила тока */,* *мА*	Электроосмотическии перенос *V* / ***m - I'*** ------10^{6} *Кл*	Удельная электропроводность *См* *м*	Электрокинетический потенциал мВ

1.							
2.							
3.							
4.							
п.							

Результаты измерений электрокинетического потенциала в свободной водной пленке из состава "Sodiumoctylsulphate 42%" представлены в приложении № 2.

8. Обработка результатов эксперимента по определению эклектрокинетическго потенциала:

8.1. Определение среднего арифметического для п - числа измерений электрокинетического потенциала;

$$\pounds = n\text{-}\sum_{/=i}^{l}\pounds l,\ i = 1,2,\ldots,\ п. \qquad (2.1.4.2)$$

8.2. Определение абсолютной погрешности отдельных измерений электрокинетического потенциала;

|, i= 1,2,..., п. (2.1.4.3)

8.3. Определение среднего квадратического отклонения среднего значения серии измерений электрокинетического потенциала;

$$\tilde{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta\xi_i)^2}{n(n-1)}}, \qquad (2.1.4.4)$$

i = 1,2, ..., п.

8.4. Определение коэффициента Стьюдента - t_s, для п - числа измерений с доверительной вероятностью P = 0.95 из таблиц распределения Стьюдента;

8.5. Определение величины доверительного интервала истинного значения измерений электрокинетического потенциала с надежностью 95%;

$E = t \cdot S$ (2.1.4.5)

8.6. Определение относительной погрешности;

£ = £•100 (2.1.4.6)

8.7. Определение результата измерений электрокинетического потенциала;

% = ~%±E (2.1.4.7)

Результаты обработки результатов экспериментов по определению электрокинетического потенциала в свободной водной пленке из состава «Sodiumoctylsulphate 42%» представлены в таблице № 2.1.4.2

Таблица №2.1.4.2

Концентрация ПАВ, (% масс)	1.000	0.500	
Количество измерений, п	45	48	
Электроосмотический перенос, (среднее арифметическое), $м^3$/Кл	0,557	1,10	
Удельная электропроводность водного раствора, См/м 10"^{3}	135	67,5	
Электрокинетический потенциал (среднее арифметическое), мВ	106,3	104,0	

Среднее квадратическое отклонение среднего значения электрокинетического потенциала, мВ	4,97	4,05
Доверительный интервал истинного значения электрокинетического потенциала с надежностью 95%, мВ	9,75	7,95

Относительная погрешность измерений электрокинетического потенциала, %	9,17	7,65	8,94	9,17	8,67

Водные пленки из растворов фторированных поверхностно активных веществ, сформированные на металлическом кольце, оказались довольно стабильными не только на разделе фаз с воздухом, но и на поверхности гептана. Когда кольцо касается поверхности гептана, пленка на нем не лопается. Требовалось определить значения поверхностного и межфазного натяжения, при которых пленка из растворов ПАВ не разрушалась после соприкосновения с гептаном. Пленки из углеводородных поверхностно -активных веществ не устойчивы на поверхности гептана, поэтому к ним добавляются ФПАВ. Момент разрушения пленки определялся визуально. Как только пленка лопается, происходит выпадение множества капель водного раствора на дно измерительного стакана. Минимальный коэффициент растекания, при котором возможно формирование пленки на поверхности гептана при помощи металлического кольца равен -1,5 мН/м. Пленки из растворов ПАВ с коэффициентом растекания близким к 0 мН/м наиболее устойчивы, они не разрушаются даже после подъема кольца над поверхностью гептана после касания его поверхности.

Разработана установка по определению электроосмотического переноса жидкости в водной пленке на межфазной границе с углеводородом. Для определения электроосмотического переноса видоизменено устройство для измерения объема капли. Специальный измерительный капилляр изогнут и расширен на одном конце. Пористый фильтр находится в широкой части капилляра. Над пористым фильтром должны выступать стенки на 20 мм. Таким образуется емкость для гептана дном, которой является пористый фильтр. Так как нужно измерить объем капли именно водного раствора капилляр под пористым фильтром заполнялся 50% раствором этиленгликоля в дистиллированной воде. Под

пористым фильтром должен быть полностью вытеснен воздух. Так образуется высокое межфазное натяжение между гептаном и приготовленной смесью. Сам пористый фильтр является границей двух несмешивающихся жидкостей. Поэтому внутрь капилляра подсасывается капля именно водного раствора, а не гептан. В качестве пористого фильтра использовалась металлическая сетка размером пор 1.5 мк с величиной капиллярного давления 570 мм водного столба на водопроводной воде. Измерительный капилляр имеет внутренний диаметр 0.504 мм. Если заполнять капилляр дистиллированной водой после измерения объема 10... 15 капель через фильтр просачивается гептан, это связано со снижением натяжения на межфазной границе.

Использование чистого этиленгликоля, влечет возникновение трудностей определения объема капли, так как из-за высокой вязкости медленно перемещается мениск в измерительном капилляре. Разряжение внутри капилляра создается шприцом и определяется реометром -манометром. Величина разряжения должна составлять не более 70мм водного столба в противном случае произойдет всасывание в капилляр гептана вместе с падающими на пористый фильтр каплями раствора ПАВ. Электрическая схема установки, порядок измерения электроосмотического переноса и проводимости раствора ПАВ остались неизменными. Расчет электрокинетического потенциала производился также на основе соотношений Гельмгольца - Смолуховского (2.1.4.1), результаты измерений заносились в табл. 2.1.4.1.

2.4. Вещества, использованные в работе

Для проведения исследований использовались следующие вещества:

1. углеводороды: гептан нормальный эталонный ГОСТ 25828-83;

2. фторсодержащие поверхностно-активные вещества (ФПАВ);

3. углеводородные поверхностно-активные вещества (нефторированные УПАВ).

Таблица 2.2.1.

Физико-химические свойства фторированных ПАВ

Наименование показателя	Поверхностно-активное вещество			
	FC	F	Fluortensid I	Fluortensid II
1	2	3	4	5
Температура кипения, около, °С	100	100	100	100
Кислотность, pH	8,5	8,0 - 8,5	7,0	8,0
Растворимость в воде	полная	полная	полная	полная
Группа горючести жидкости	негорючая	негорючая	негорючая	негорючая
Температура замерзания, °С	*-15+2*	-17	-15	-14
Вязкость, сСт	20	20	19	21

Таблица 2.2.2.

Физико-химические свойства углеводородных ПАВ

Наименование показателя	Поверхностно-активное вещество	
	Sodiumoctylsulphate	C
Температура кипения, около, °C	100	100
Кислотность, pH	6	7-8
Растворимость в воде	полная	полная
Группа горючести Жидкости	негорючая	негорючая
Температура замерзания, °C	-2	0
Вязкость, сСт	30	25

* - данные получены экспериментальным путем на кафедре общей и специальной химии Академии ГПС МВД России.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методология направленного регулирования огнетушащих параметров и пленкообразующей способности пены, на основании проведенного обоснования основных направлений исследований, заключается в изменении физико-химических свойств пены, на которые влияет состав пенообразующей композиции и структура пены. Огнетушащая эффективность пены связана со способностью предотвращения поступления горючих паров и газов от поверхности углеводорода в зону горения, то есть с изолирующей способностью пены. Она в свою очередь зависит от способности водной пленки, выделившейся из пены, самопроизвольно растекаться по углеводороду, и характеризуется скоростью растекания. Изолирующая эффективность тем выше, чем меньше пара проникает через пенный слой. Предполагается, что пена, выделяющая пленку с высокой скоростью растекания термодинамически пассивна к самому углеводороду, а значит и менее подвержена загрязнению. Планируется использовать пену, поверхность пленок которой полностью покрыта монослоем поверхностно-активных веществ, который обуславливается концентрацией ПАВ и определяется критической концентрацией мицеллообразования исходя из анализа зависимостей поверхностного натяжения раствора и межфазного натяжения на границе с углеводородом. Двойной электрический слой на разделе фаз с воздухом характеризуется величиной электрокинетического потенциала, который является дополнительным фактором стабилизации пены. Концентрация поверхностно-активных веществ, степень их диссоциации и способность к адсорбции влияют на параметры двойного электрического слоя. Электрокинетический потенциал системы водная пленка - гептан является дополнительным фактором изолирующего действия пены и способности выделившейся пленки к растеканию по поверхности углеводорода.

Принимая во внимание вышеперечисленные параметры, обеспечивается соразмерность пенообразующей и пленкообразующей способности пены.

Экспериментальные исследования проводились в следующей последовательности:

определение огнетушащей эффективности низкократной пленкообразующей пены;

- измерение скорости растекания водной пленки по поверхности углеводорода и определения воздействия кратности на пленкообразующую способность пены;
- исследование поверхностной активности водных растворов поверхностно-активных веществ.
- исследование электрокинетических свойств водных пленок на разделе различных фаз;

3.1. Поверхностная активность водных растворов ПАВ

Определение поверхностного и межфазного натяжения растворов в зависимости от содержания в них ПАВ позволяет изучить закономерности формирования плотного монослоя молекул поверхностно-активных веществ в результате их адсорбции. Проведены исследования поверхностной активности углеводородных и фторированных компонентов. Для характеристики используемых в работе веществ на рисунках 3.3.1-3.3.6 представлены изотермы поверхностного и межфазного натяжения водных растворов от концентрации в них поверхностно-активного вещества.

В ходе работы проведены исследования поверхностно-активных свойств используемых углеводородных ПАВ. Водные растворы «Sodiumoctylsulphate» (Рис. 3.3.1) характеризуются высоким поверхностным и низким межфазным натяжением. При концентрации 0.5%

масс раствор имеет поверхностное натяжение 24.5 мН/м, межфазное
натяжение на границе с гептаном 4.7 мН/м. Данное вещество имеет

достаточно высокую поверхностную активность, увеличение его концентрации в растворе с 0.0078% масс до 0.031% масс приводит к снижению поверхностного натяжения с 46 мН/м до 32 мН/м, межфазное натяжение снизилось в два раза с 16мН/м до 8 мН/м.

Углеводородный компонент «С» (Рис.3.1.2) менее активен в малых концентрациях, однако при его содержании в растворе 0.25%масс поверхностное натяжение составляет 24.6 мН/м и затем практически не меняется, что говорит о достижении критической концентрации мицеллообразования.

На рис. 3.3.3 представлены изотермы поверхностного и межфазного натяжения с термодинамическим коэффициентом растекания раствора по поверхности гептана от концентрации фторсинтетического поверхностно-активного вещества «FC». Небольшое количество данного соединения, 0.5 % масс, снижает поверхностное натяжение воды до 17.2 мН/м, но не позволяет достичь положительного коэффициента растекания, так как межфазное натяжение остается достаточно высоким и составляет 4.7 мН/м. Дальнейшее увеличение концентрации поверхностно-активного вещества до 4 % масс приводит к росту коэффициента растекания до 0.2 мН/м за счет небольшого снижения поверхностного натяжения, межфазное натяжение остается высоким и составляет 4.4 мН/м. Фторсинтетическое поверхностно-активное вещество Fluortensid I (Рис. 3.3.4) позволяет снизить поверхностное натяжение воды до 16.9 мН/м при концентрации 0.25 % масс и достичь точки критической концентрации мицеллообразования. Межфазное натяжение продолжает снижаться с увеличением содержания в растворе ПАВ свыше 0.25% масс, что влечет за собой повышение величины коэффициента растекания. На рис. 3.3.5 представлены изотермы поверхностного и межфазного натяжения с термодинамическим коэффициентом растекания раствора по поверхности гептана от концентрации фторсинтетического поверхностно-активного

вещества «Fluortensid II». При концентрации 0.125 % масс поверхностное

натяжение воды снижается до 16.2 мН/м, межфазное натяжение остается высоким и составляет 4,8 мН/м, оно снижается с увеличением содержания в растворе ПАВ свыше 0.25% масс, что влечет за собой повышение величины коэффициента растекания. В ходе работы исследовались поверхностные свойства водных растворов фторированного компонента «F». Концентрацией данного вещества в 0.5 % масс поверхностное натяжение воды снижается до 17.1 мН/м и достигается критическая концентрация мицеллообразования. С концентрации 0.5 % масс до концентрации 1 % масс межфазное натяжение снижается от 3.8 мН/м до 3.3мН/м, поверхностное натяжение практически не изменилось. Положительный коэффициент растекания раствора по горючему возможен лишь при содержании поверхностно-активного вещества свыше 1 % масс.

Углеводородные ПАВ и фторированные ПАВ в чистом виде редко используются для приготовления огнетушащей пены. Составы из фторированных поверхностно-активных веществ обладают низкой пенообразующей способностью, из-за высокого значения межфазного натяжения достижение положительного коэффициента растекания раствора по горючему возможно при расходе достаточно большого количества поверхностно-активного вещества. Углеводородные поверхностно-активные вещества обладают высокой пенообразующей способностью, однако пена из таких веществ хорошо смешивается с горючим и не является пленкообразующей. Поэтому в работе используются смеси углеводородных и фторированных компонентов. Составы приготавливались с различным процентным содержанием углеводородного и фторированного компонента.

Для определения поверхностного и межфазного натяжения с термодинамическим коэффициентом растекания каждого из используемых рабочих растворов строятся изотермы поверхностного и межфазного натяжения с коэффициентом растекания от процентного содержания в смеси углеводородного и фторированного поверхностно-активного

вещества. Таким образом, определяются системы, которые обладают высокой поверхностной активностью при меньших концентрациях ПАВ, и устанавливается вклад термодинамических величин на пленкообразующую способность пены и на ее огнетушащую эффективность. Для выявления закономерностей изменения исследуемых величин необходимо выполнить условие неизменной суммарной концентрации углеводородного и фторированного компонента в сопоставляемых рабочих растворах.

В работе использовались водные растворы с содержанием 1.3% масс концентрата смеси поверхностно-активных веществ «FC» и «Sodiumoctylsulphate» в различных процентных соотношениях (Рис. 3.3.7). Добавление в концентрат фторированных поверхностно-активных веществ, для приготовления рабочих растворов, углеводородного компонента до процентного соотношения 50% от массы концентрата, приводит к снижению до 3.14 мН/м межфазного натяжения на границе с гептаном. Поверхностное натяжение возрастает с 16 мН/м до 17 мН/м. Термодинамический коэффициент растекания практически не иеняется для рабочих растворов, приготовленных на основе концентратов: 62.5% «Sodiumoctylsulphate» + 37.5%) «FC», 50%> «Sodiumoctylsulphate» + 50% «FC», 62.5% FC + 37.5%) «Sodiumoctylsulphate», 25%о «Sodiumoctylsulphate» + 75%) «FC», 12.5% «Sodiumoctylsulphate» + 87.5%> «FC». Сильное снижение коэффициента растекания растворов заметно с увеличением процентного содержания фторированного компонента в концентрате свыше 75% масс, что связано с ростом поверхностного натяжения раствора. Данная система интересна тем, что содержит участок с неизменным коэффициентом растекания при различном содержании углеводородных и фторированных поверхностно-активных веществ.

На рис. 3.3.8 представлен график зависимости поверхностного и межфазного натяжения, коэффициента растекания от процентного содержания в концентрате для приготовления растворов углеводородного ПАВ «С» и фторсинтетического ПАВ «Fluortensid I» при суммарной

концентрации поверхностно-активных веществ рабочем растворе 0.33% масс. Увеличение содержания углеводородного компонента в смеси ПАВ влечет снижение межфазного натяжения, что в свою очередь влияет на рост величины термодинамического коэффициента растекания. Минимальное межфазное натяжение 2.45 мН/м соответствует максимальному коэффициенту растекания, равному 0.45 мН/м при поверхностном натяжении 17.39 мН/м . Рабочий раствор с процентным соотношением 50% углеводородного компонента к 50% фторированного компонента имеет коэффициент растекания ниже на 0.25 мН/м при поверхностном натяжении 17.44 мН/м, что связано с увеличением межфазного натяжения до 2.65мН/м . Резкое снижение коэффициента растекания раствора начинается с увеличением процентного содержания фторированного компонента в концентрате свыше 75% масс, что связано с ростом поверхностного и межфазного натяжения раствора. Данная система интересна тем, что имеет участок с изменяющимся коэффициентом растекания при неизменном поверхностном натяжении. График зависимости поверхностного и межфазного натяжения, коэффициента растекания от процентного содержания в концентрате для приготовления растворов углеводородного ПАВ С и фторсинтетического ПАВ «Fluortensid II» при суммарной концентрации поверхностно-активных веществ рабочем растворе 0.33% масс представлен на рисунке 3.3.9. Увеличение концентрации углеводородного компонента в смеси ПАВ влечет снижение межфазного натяжения, что в свою очередь влияет на рост величины термодинамического коэффициента растекания. Минимальное межфазное натяжение 2.3 мН/м соответствует максимальному коэффициенту растекания 1.89 мН/м при поверхностном натяжении 16.1 мН/м . Рабочий раствор с процентным соотношением 50% углеводородного компонента к 50% фторированного компонента имеет коэффициент растекания 1.29 мН/м при поверхностном натяжении 16.5 мН/м, что связано также с ростом

межфазного натяжения до 2.5 мН/м . Снижение коэффициента растекания раствора ниже 0 мН/м начинается с увеличением процентного содержания фторированного компонента в концентрате свыше 75% масс, так как происходит рост поверхностного и межфазного натяжения раствора. Данная система интересна тем, что имеет участок с высоким термодинамическим коэффициентом растекания. В этом случае имеются составы, которые при различном поверхностном и межфазном натяжении дают одинаковый коэффициент растекания то на примере этой системы можно определить вклад поверхностного и межфазного натяжения растворов пенообразователей в пленкообразующую способность пены.

Зависимости поверхностного натяжения, межфазного натяжения и коэффициента растекания от процентного содержания в концентрате для приготовления растворов углеводородного компонента «С» и фторированного компонента «F» при суммарной концентрации поверхностно-активных веществ рабочем растворе 1% масс представлен на рис. 3.3.10. Данная система вызывает интерес тем, что имеет участок на котором, не смотря на низкое межфазное натяжение коэффициент растекания не велик в сравнении с предыдущей системой за счет высокого поверхностного натяжения. Увеличение концентрации углеводородного компонента влечет рост коэффициента растекания приготавливаемых растворов. Наблюдается рост и поверхностного натяжения. Так если 1% раствор компонента «F» имеет поверхностное натяжение 16.9 мН/м то 1% раствор смеси, в которую входит 37.5% углеводородного компонента «С» и 62.5 % фторированного компонента «F» имеет поверхностное натяжение 17.25 мН/м. Межфазное натяжение 2.45 мНУм соответствует максимальному коэффициенту растекания 0.59 мНУм, при поверхностном натяжении 17.25 мН/м. Рабочий раствор с процентным соотношением 50% углеводородного компонента к 50% фторированного имеет коэффициент

растекания 0.4 мН/м при поверхностном натяжении 17.31 мН/м, и межфазном натяжении 2.55 мН/м . Снижение коэффициента растекания раствора ниже 0 мН/м как и во всех рассматриваемых выше системах начинается с увеличением процентного содержания фторированного компонента в концентрате свыше 75% масс, это связано с ростом поверхностного и межфазного натяжения растворов.

3.2. Результаты исследований электрокинетических свойств модельных пленок.

Проведение исследований электрокинетических явлений, протекающих в модельной пенной пленке во внешнем электрическом поле, позволяет более глубоко изучить процессы, происходящие в результате адсорбции молекул поверхностно-активных веществ на разделе фаз. Величина электроосмотической активности и электрокинетического потенциала обусловлены особенностями формирования двойного электрического слоя и свойствами поверхностно-активного вещества. По значению электрокинетического потенциала определяется группа, к которой принадлежит данное поверхностно-активное вещество, а значит и знак заряда который приобретает поверхность раствора при адсорбции. Степень диссоциации поверхностно-активных веществ, концентрация, их способность к адсорбции влияют на параметры формирования двойного электрического слоя, что в свою очередь отражается на значении электрокинетического потенциала. Проведены исследования в модельных пененных пленках на основе водных растворов чистых углеводородных поверхностно-активных веществ и чистых фторированных поверхностно-активных веществ на разделе фаз с воздухом.

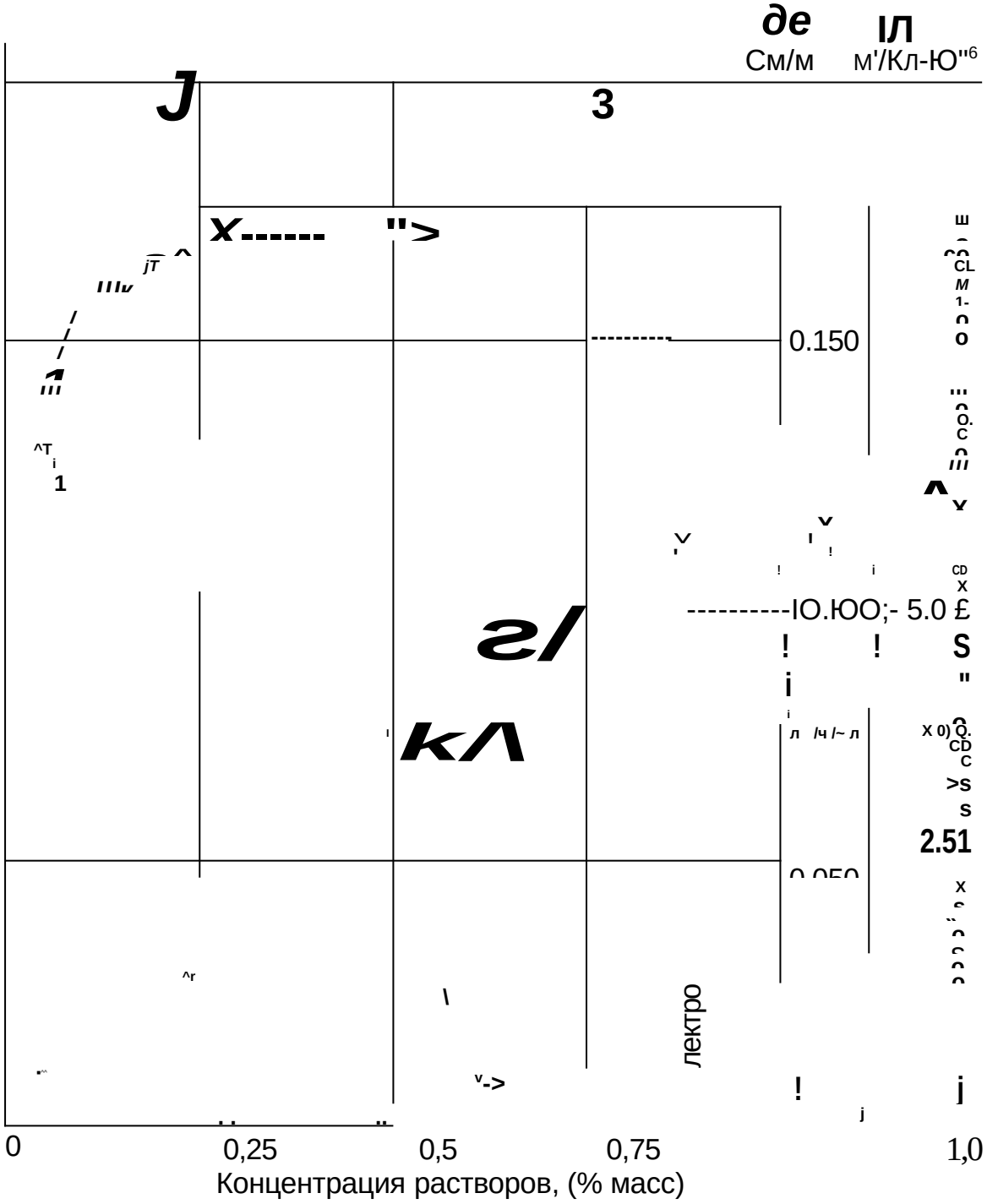


Рис. 3.4.1 График зависимости электроосмотического переноса жидкости в свободной пленке (1), удельной электропроводности водного раствора (2) и электрокинетического потенциала на разделах фаз воздух -водная пленка - воздух (3) от концентрации углеводородного поверхностно-активного вещества «Sodiumoctylsulphate » в растворе.

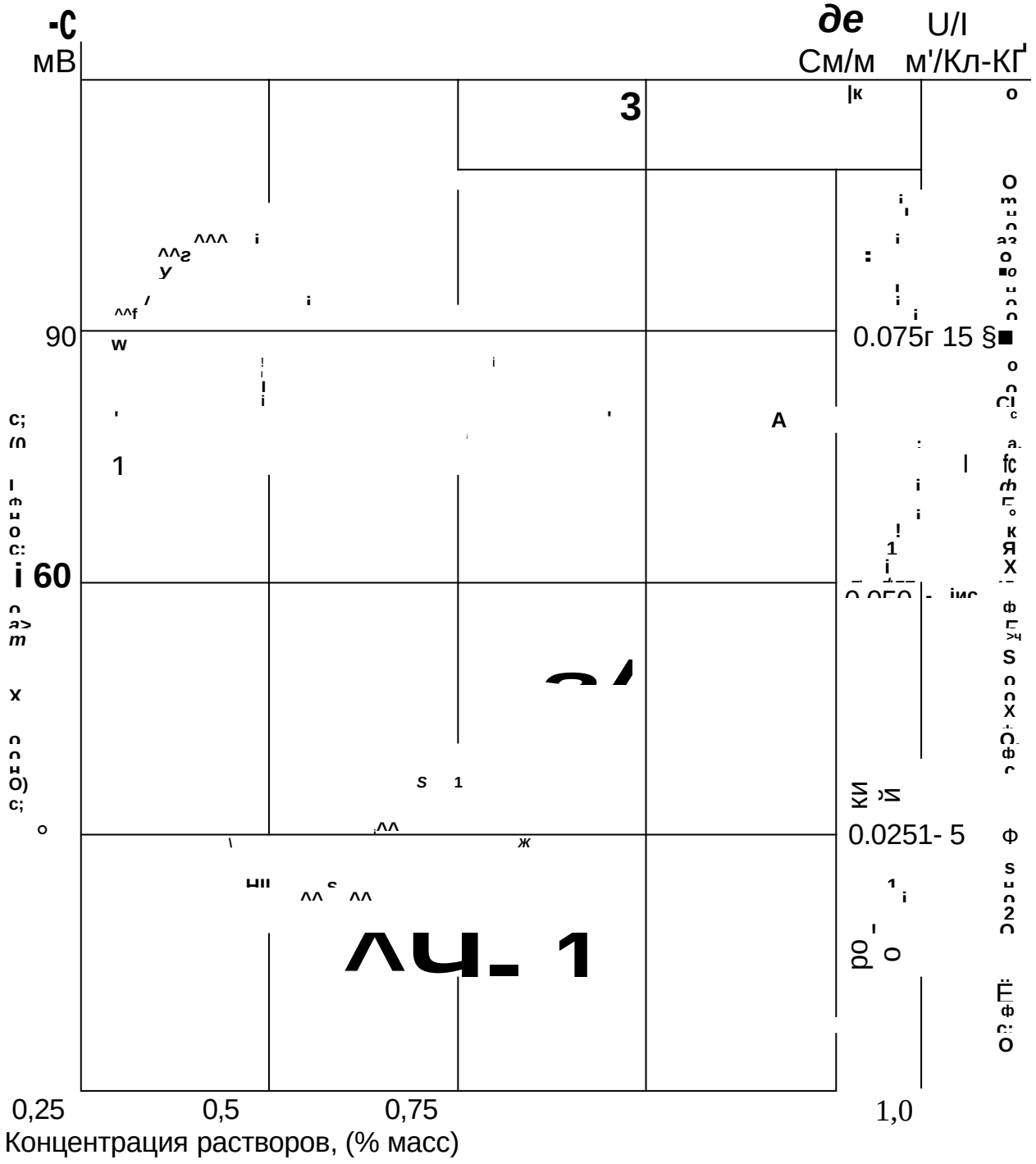


Рис. 3.4.2 График зависимости электроосмотического переноса жидкости в свободной пленке (1), удельной электропроводности водного раствора (2) и электрокинетического потенциала на разделах фаз воздух -водная пленка - воздух (3) от концентрации углеводородного поверхностно-активного вещества «С » в растворе.

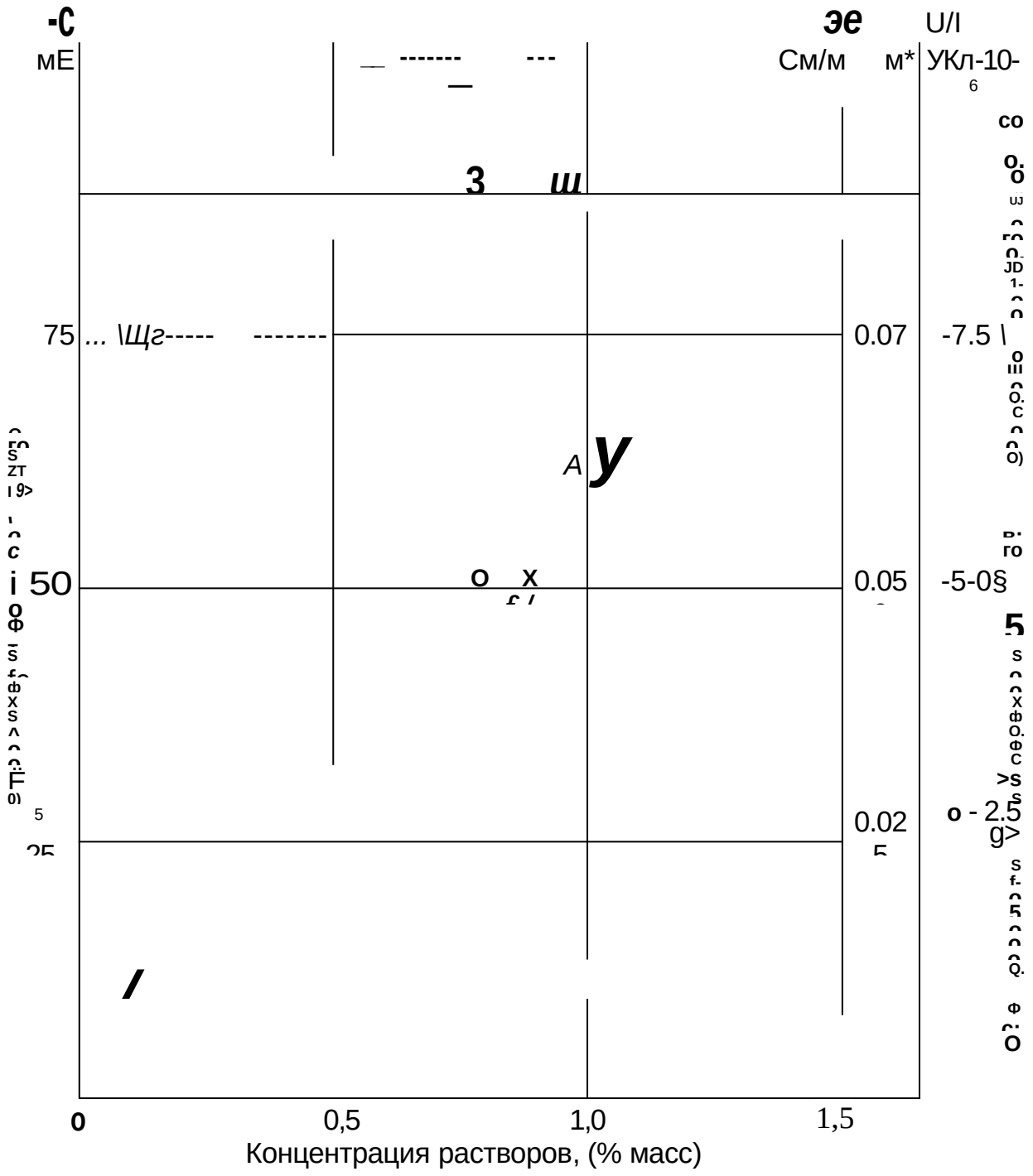


Рис. 3.4.3 График зависимости электроосмотического переноса жидкости в свободной пленке (1), удельной электропроводности водного раствора (2) и электрокинетического потенциала на разделах фаз воздух -водная пленка - воздух (3) от концентрации фторсинтетического поверхностно-активного вещества «FC » в растворе.

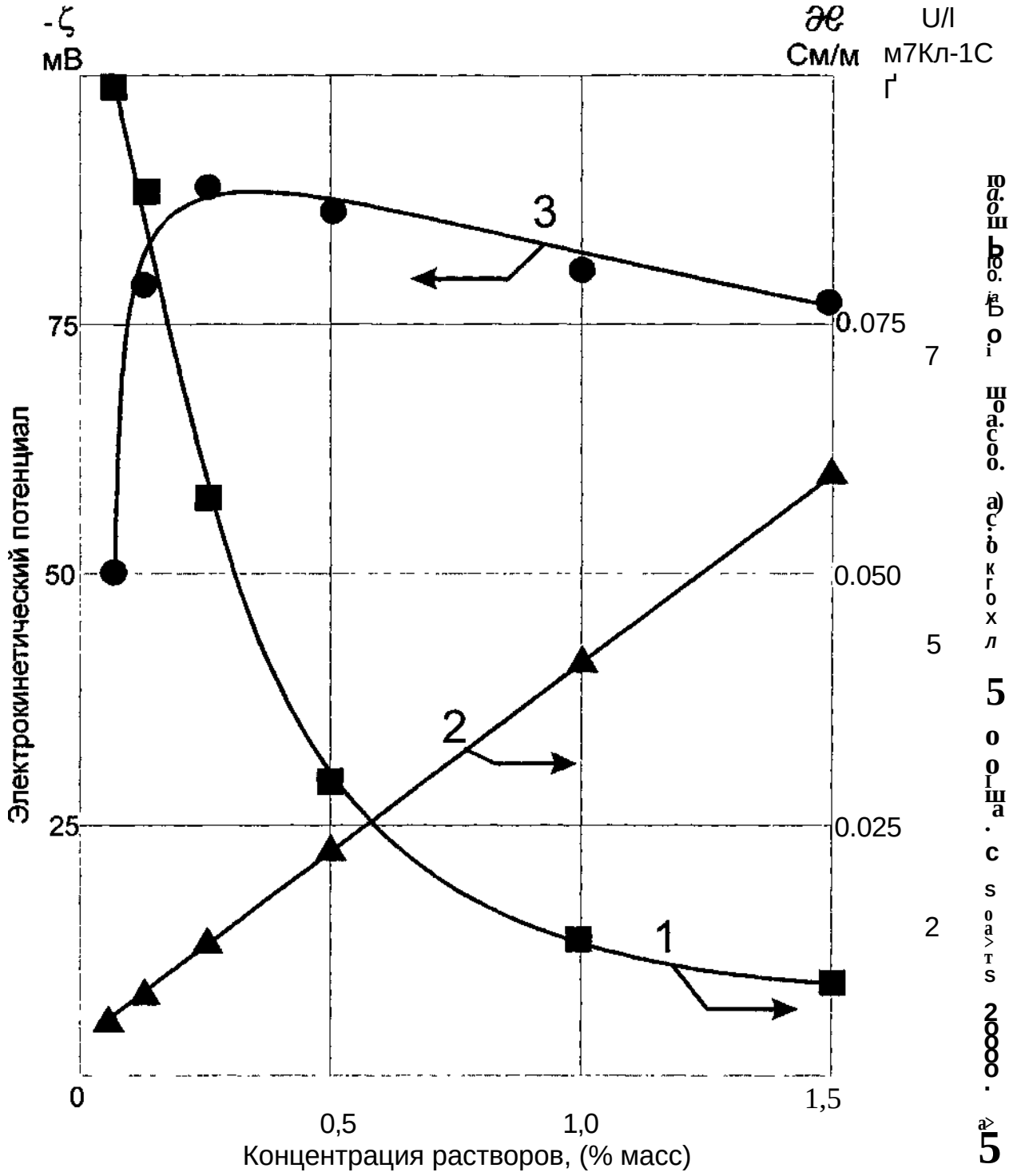
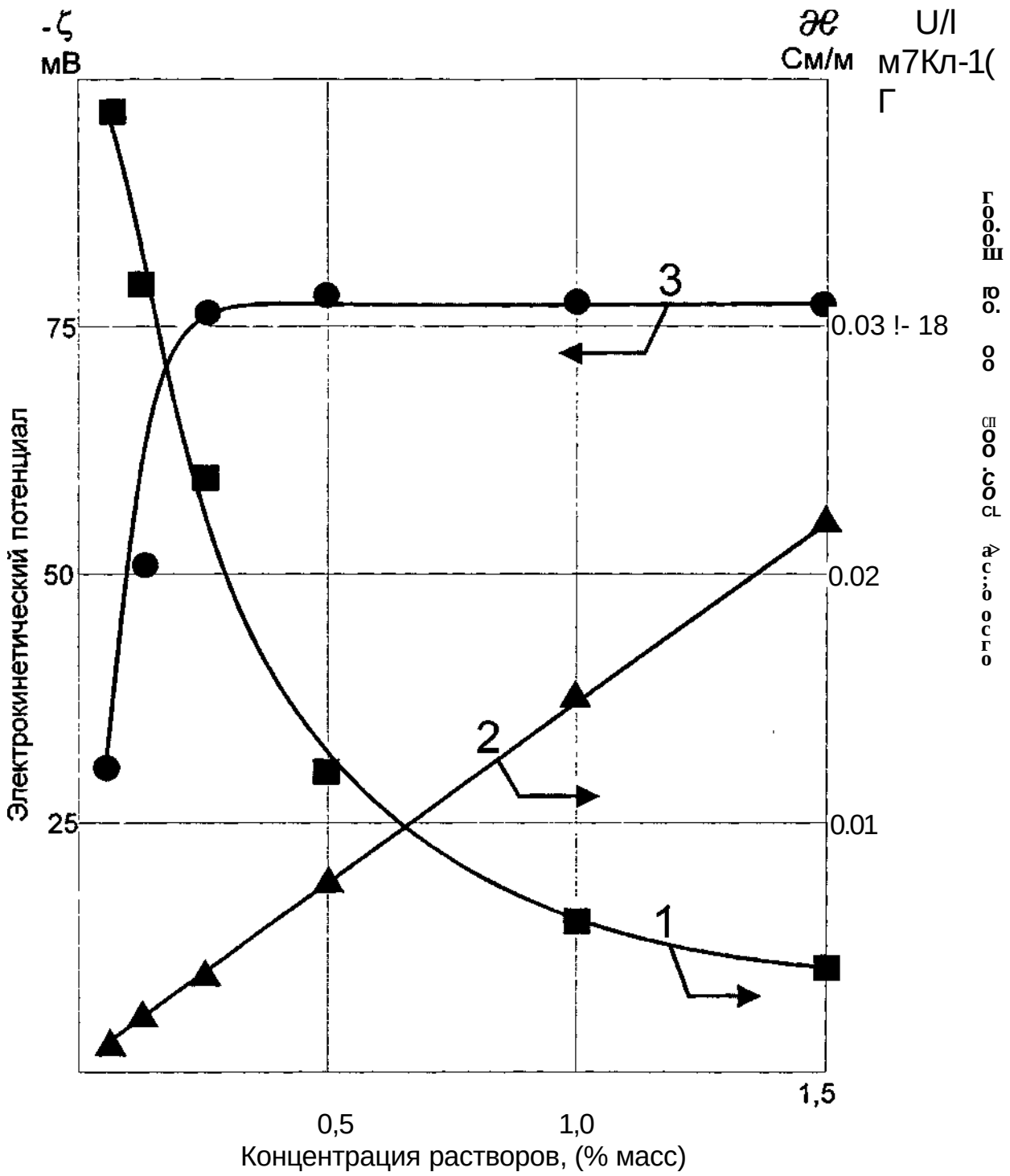


Рис. 3.4.4 График зависимости электроосмотического переноса жидкости в свободной пленке (1), удельной электропроводности водного раствора (2) и электрокинетического потенциала на разделах фаз воздух-водная пленка - воздух (3) от концентрации фторсинтетического поверхностно-активного вещества «Fluortensid I » в растворе.


-ζ
мВ
æ
См/м
U/l
м7Кл-1(
Г
3
2
1
75
50
25
0.03 !- 18
0.02
0.01
1,5
0,5
1,0
Электрокинетический потенциал
Концентрация растворов, (% масс)

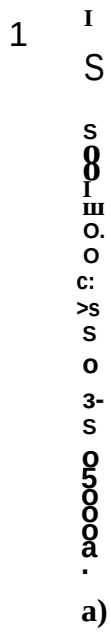


Рис. 3.4.5 График зависимости электроосмотического переноса жидкости в свободной пленке (1), удельной электропроводности водного раствора (2) и электрокинетического потенциала на разделах фаз воздух -водная пленка - воздух (3) от концентрации фторсинтетического поверхностно-активного вещества «Fluortensid II » в растворе.

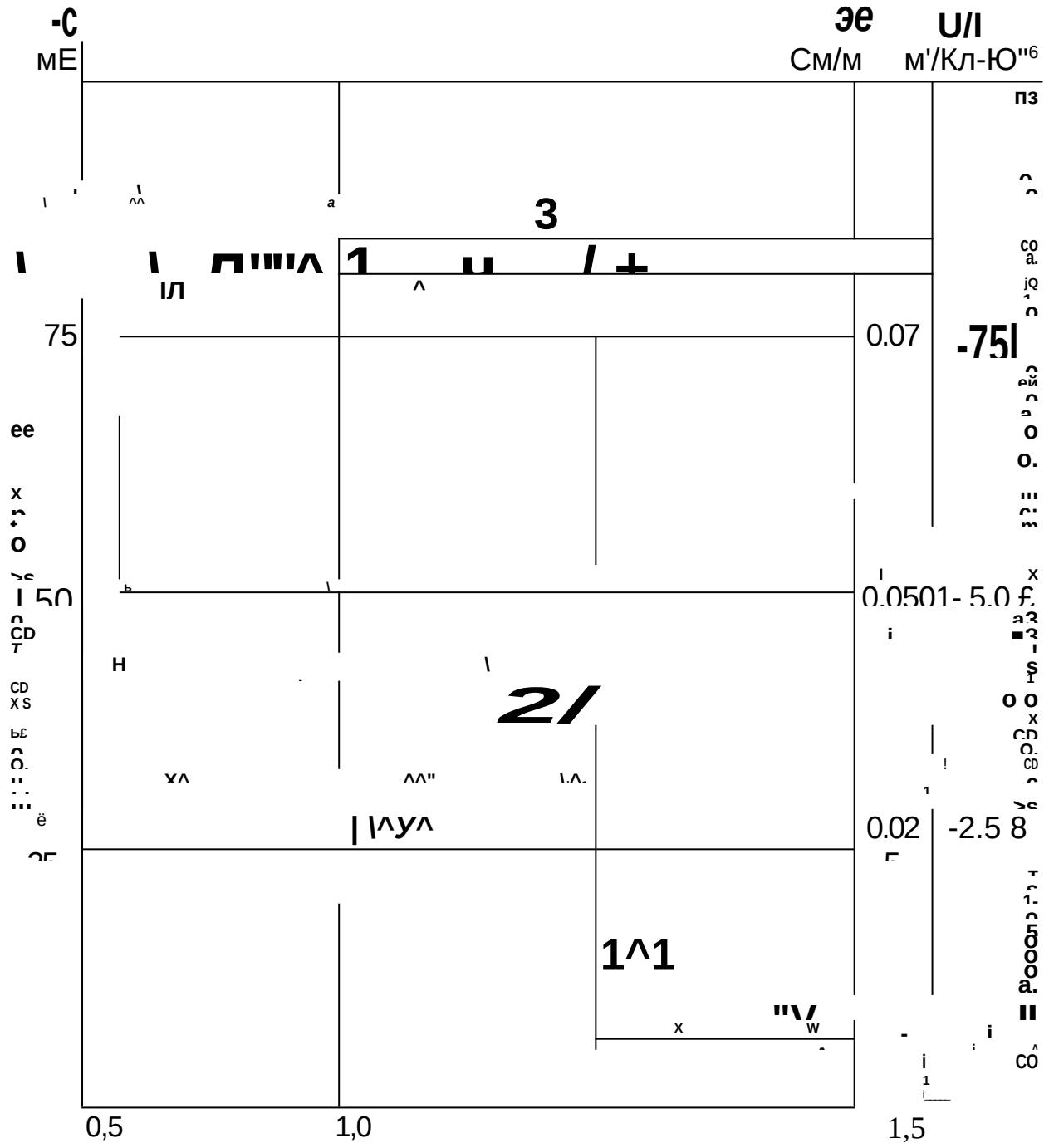


Рис. 3.4.6 График зависимости электроосмотического переноса жидкости в свободной пленке (1), удельной электропроводности водного раствора (2) и электрокинетического потенциала на разделах фаз воздух -водная пленка - воздух (3) от концентрации фторсинтетического поверхностно-активного вещества «F» в растворе.

Данные эксперименты направлены на . изучение природы используемого поверхностно-активного вещества и процесса изменения структуры двойного электрического слоя при изменении концентрации вещества в растворе, а также для нахождения точки критической концентрации мицеллообразования, которая соответствует максимальному значению электрокинетического потенциала. Анализируя кривые электрокинетического потенциала от концентрации поверхностно-активного вещества в растворе можно определить какое из используемых поверхностно-активных веществ по своей природе обладает лучшей пенообразующей способностью.

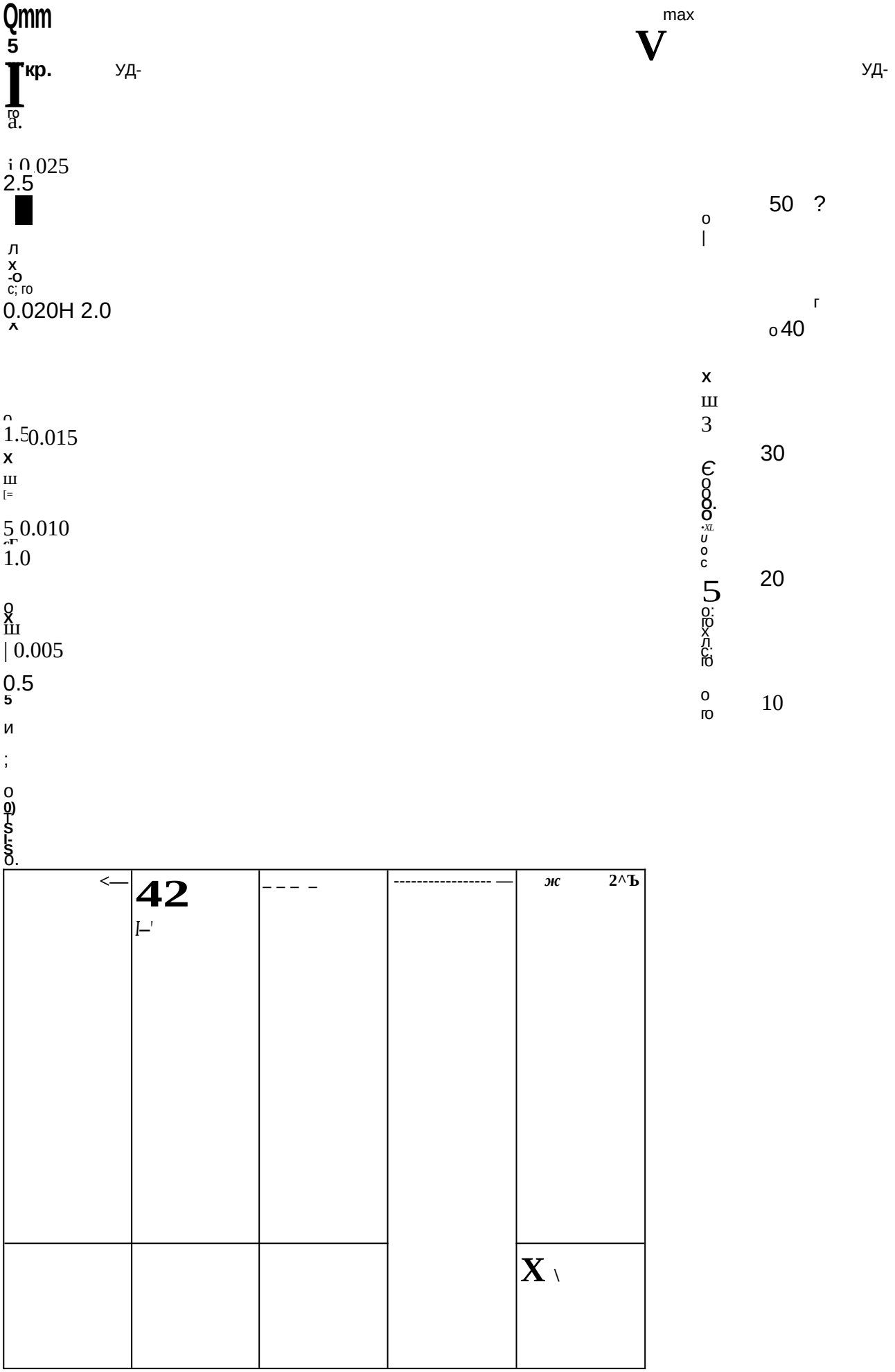
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из экспериментального материала представленного в предыдущей главе следует, что для более полного понимания причин изменения огнетушащего действия низкократной фторсинтетической пены необходимо рассмотреть широкий спектр вопросов. Анализ результатов экспериментальных исследований производился для определения закономерностей процесса тушения и выявления области влияния различных параметров на огнетушащую эффективность пены.

4.1. Влияние скорости растекания водной пленки на огнетушащую эффективность фторсинтетической пены

Огнетушащая эффективность фторсинтетической пены во многом зависит от того, как быстро водная пленка, образовавшаяся в результате синерезиса пены, покрывает поверхность углеводорода и предотвращает доступ пара в зону горения. Изменение состава пенообразующей композиции оказывает влияние не только на пленкообразующую

способность пены, но и на ее огнетушащую эффективность.



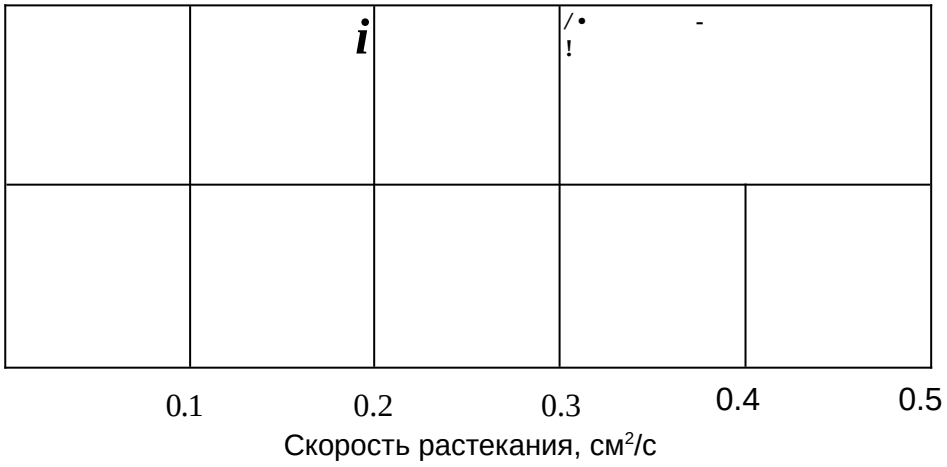
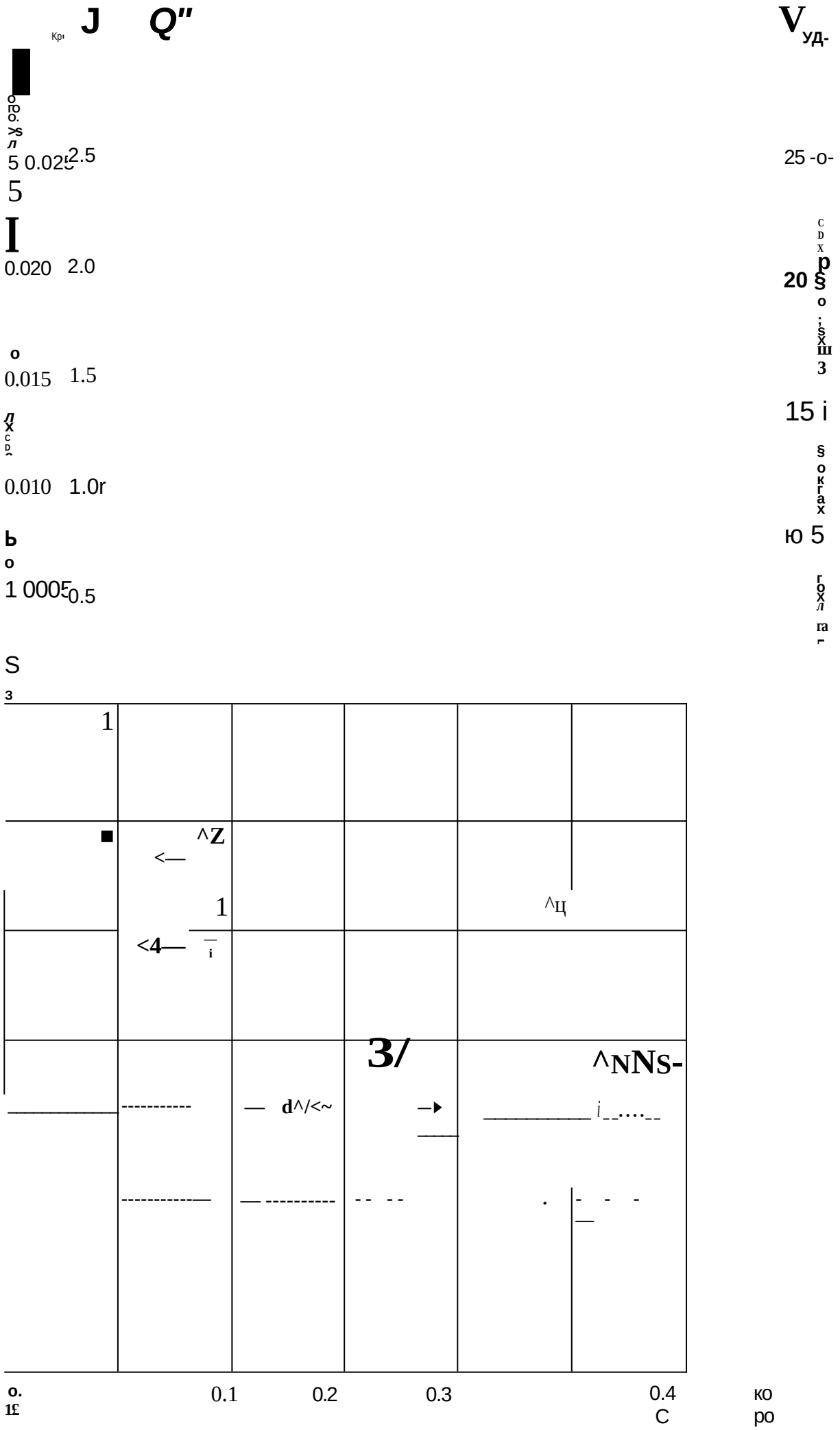


Рис. 4.1.1. Зависимости критической интенсивности подачи пены (1), минимального удельного расхода (2) и максимальной удельной скорости тушения (3) от скорости растекания по поверхности гептана водной пленки из низкократной пены, приготавливаемой из рабочих растворов на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического «Fluortensid I».


J
Q"
V
5 0.025
2.5
25 -o-
5
I
0.020
2.0
20
0.015
1.5
15 i
0.010
1.0r
ю 5
1 0005
0.5
S
1
^Z
<—
1
^Ц
<4—
i
3/
^NNS-
d^/<~
i
0.1
0.2
0.3
0.4
C

ст ь растекания, $см^2/с$ 0.5 0.6

Рис. 4.1.2. Зависимости критической интенсивности подачи пены (1), минимального удельного расхода (2) и максимальной удельной скорости тушения (3) от скорости растекания по поверхности гептана водной пленки из низкократной пены, приготавливаемой из рабочих растворов на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического «Fluortensid II».

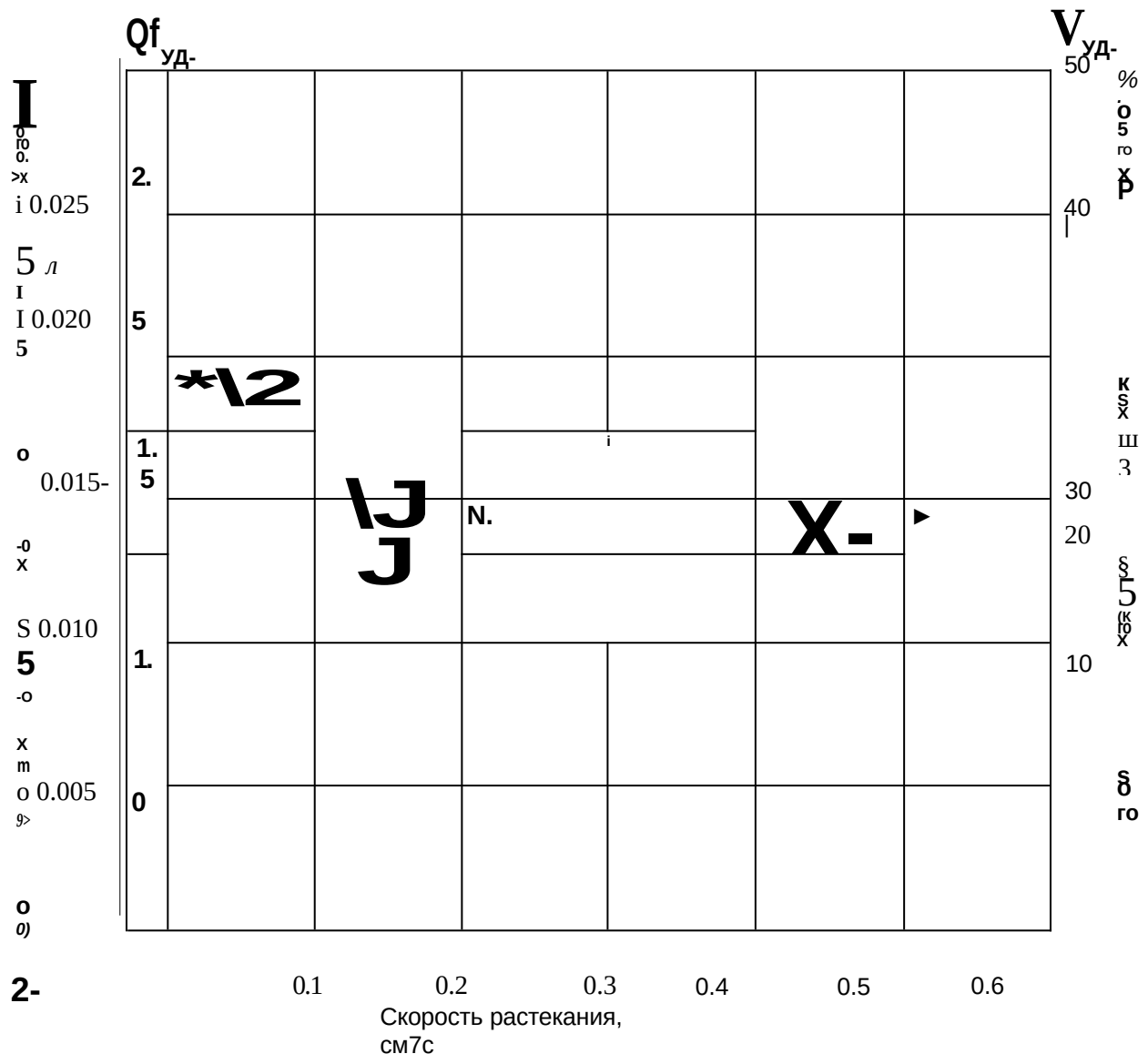


Рис. 4.1.3. Зависимости критической интенсивности подачи пены (1), минимального удельного расхода (2) и максимальной удельной скорости тушения (3) от скорости растекания по поверхности гептана водной пленки из низкократной пены, приготавливаемой из рабочих растворов на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического компонента «F».

mm

J

max

V

УД-

1

0.02

5

Ъ

20

"

с

р

I

Ё

I

s

"о

15

х

с

р

х 0.010

ш

ю Ъ

го

в

о;

а

з

х

0.5

§0.005

го

s

0

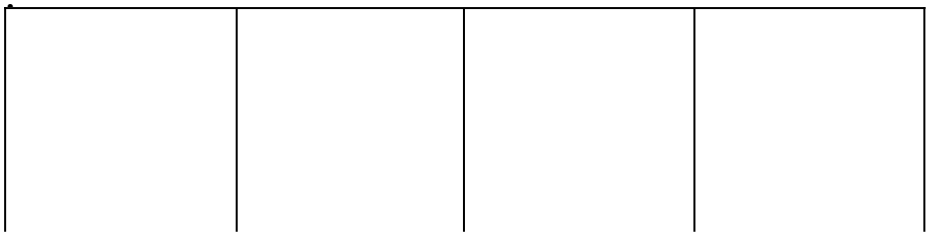
х

р

I

s

0



.

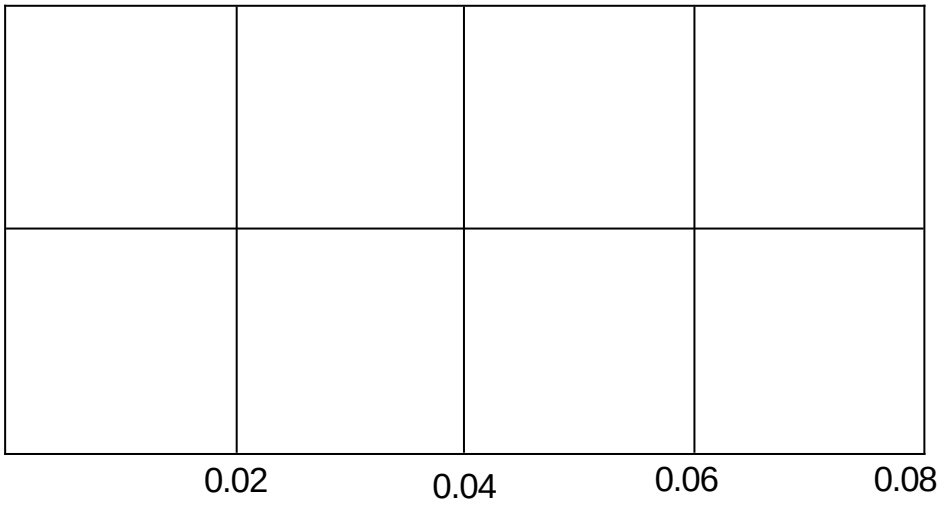


Рис. 4.1.4. Зависимости критической интенсивности подачи пены (1), минимального удельного расхода (2) и максимальной удельной скорости тушения (3) от скорости растекания по поверхности гептана водной пленки из низкократной пены, приготавливаемой из рабочих растворов на основе углеводородного компонента «Sodiumoctylsulphate» и фторсинтетического «FC».

Для того чтобы правильно установить влияние скорости растекания водной пленки на процесс тушения пламени углеводородов, необходимо учитывать также физические свойства исследуемой пены. Например, если огнетушащая эффективность определяется с использованием фторсинтетической пены кратностью 6, то необходимо установить влияние на тушение пленкообразующей способности пены такой же кратности. На рис.4.1.1 - 4.1.4 представлены диаграммы, характеризующие влияние скорости растекания водной пленки из низкократной пены на критическую интенсивность подачи пены, минимальный удельный расход максимальную удельную скорость тушения гептана.

Из графиков видно, что с увеличением скорости растекания водной пленки по поверхности гептана улучшаются параметры, определяющие огнетушащую эффективность низкократной фторсинтетической пены. При этом изменения минимального удельного расхода и критической интенсивности подачи пены от скорости растекания происходят более равномерно, чем удельная скорость тушения. Удельная скорость тушения возрастает в геометрической прогрессии. Если увеличение скорости растекания водной пленки из низкократной пены приготавливаемой из рабочих растворов на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического «Fluortensid» II с 0.1см7с до 0.25см /с приводит к росту удельной скорости тушения пламени гептана на 0.003 м /(кг-с), то увеличение скорости растекания с 0.48см7с до 0.58см7с приводит к росту удельной скорости тушения на 0.017 м7(кг-с). Продолжив кривые скорости тушения до оси ординат, которая соответствует скорости растекания 0 см /с, можно определить, что показатель огнетушащей эффективности пены - удельная скорость тушения, для всех исследуемых случаев будет находиться в районе б- 10м7(кг-с). То есть пена, обладающая достаточно высокой термической устойчивостью, но не образующая водную пленку, которая самопроизвольно

растекается по поверхности углеводорода, все равно способна тушить пламя горящих углеводородов. Однако рост пленкообразующей способности пены ведет к улучшению огнетушащей эффективности в 5 -10 раз, судя по максимальной удельной скорости тушения, и снижению расхода пены на тушение в 1.5-3 раза. Поэтому проведение исследований, направленных на определение пленкообразующей способности низкократной фторсинтетической пены является необходимым условием поиска наиболее эффективных пенообразующих составов для тушения пламени углеводородов.

4.2. Скорость растекания водной пленки по поверхности углеводорода из пены различной кратности

Исследования пленкообразующей способности пены различной кратности, приготовленной на основе одного и того же рабочего раствора, направлены на определение влияния кратности пены на скорость растекания водной пленки, образующейся на поверхности углеводорода в результате синерезиса низкократной фторсинтетической пены.

На рисунках 4.2.1 - 4.2.3 представлены графики, характеризующие влияние кратности пены на пленкообразующую способность пены, которая характеризуется скоростью растекания. Из графиков видно, что скорость растекания водной пленки из низкократной пены ниже скорости растекания из раствора пенообразователя. На пленкообразующую способность пены оказывают влияние кратность пены, состав и концентрация поверхностно-активных веществ в рабочем растворе. Увеличение кратности пены в большей степени сказывается на снижении скорости растекания водной пленки по поверхности гептана из пены, приготовленной на основе растворов с высокой пленкообразующей способностью.

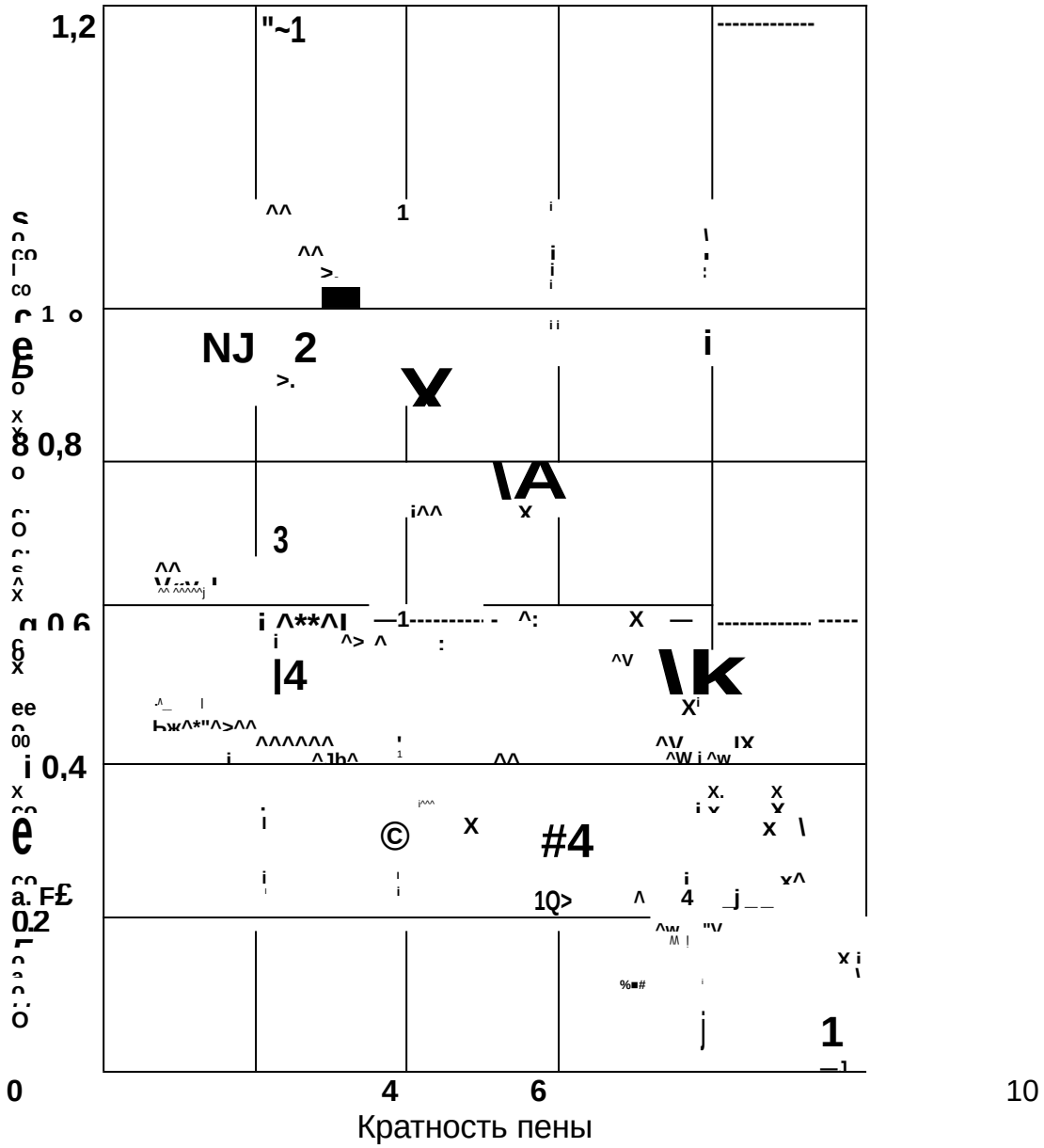


Рис. 4.2.2 График зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены. Пена приготавливалась из рабочих растворов на основе «Fluortensid II» и углеводородного компонента «С»: 1 - концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.24 % масс, концентрация компонента «С» 0.082% масс; 2 - концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.28% масс, концентрация компонента «С» 0.042%о масс; 3 - концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе *0.165%* масс, концентрация компонента «С» 0.165%) масс; 4 - концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.082 % масс, концентрация компонента «С» 0.24%о масс.

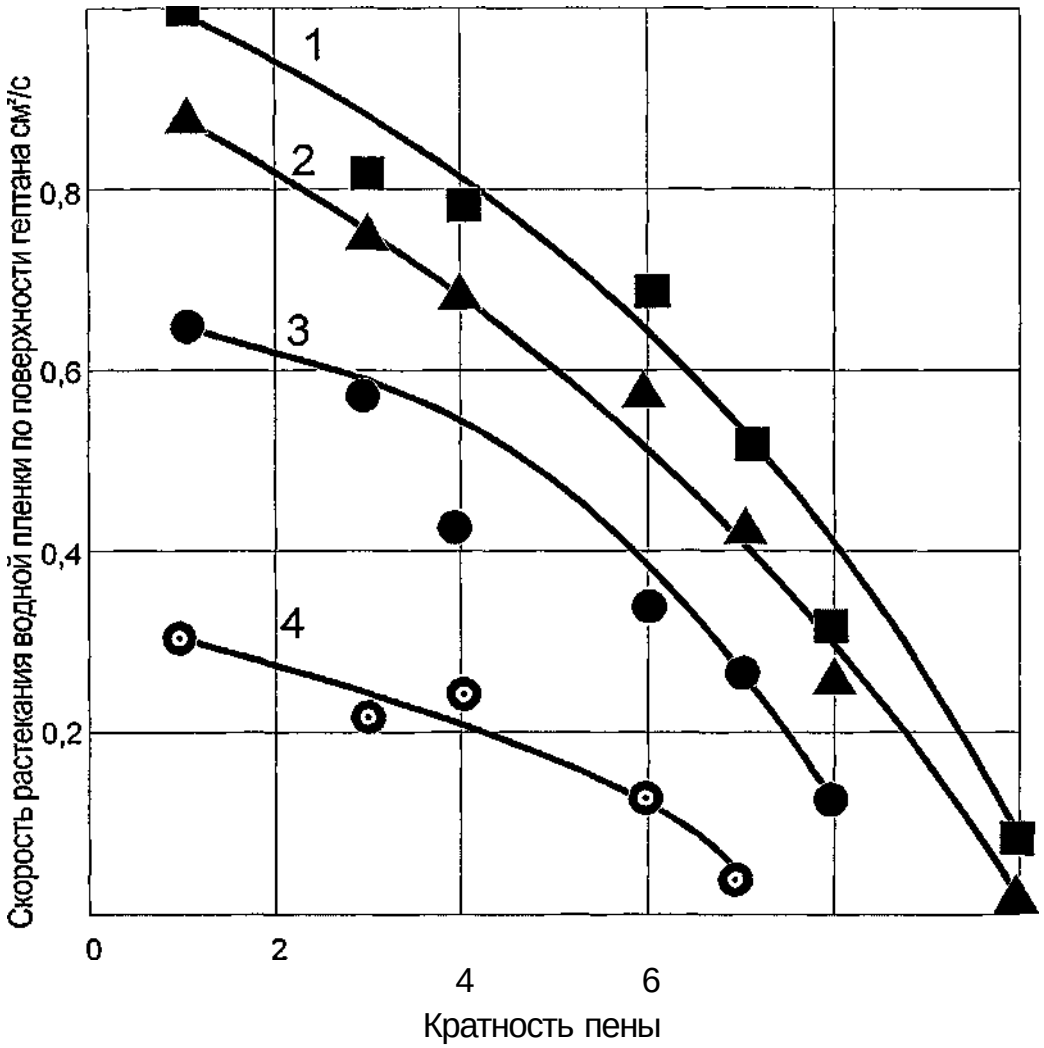


Рис. 4.2.3 График зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены. Пена приготавливалась из рабочих растворов на основе фторсинтетического поверхностно-активного вещества «F» и углеводородного «С»: 1 — концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.75 % масс, концентрация компонента «С» 0.25% масс; 2 -концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.875% масс, концентрация компонента «С» 0.125% масс; 3 - концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.5% масс, концентрация компонента «С» 0.5% масс; 4 - концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.375% масс, концентрация компонента «С» 0.625% масс.

Если скорость водной пленки из раствора поверхностно активных веществ ниже 0.15 см /с, то лишь при кратности пены более 6 происходит значительное снижение скорости растекания. Это свидетельствует о том, что в данном случае при синерезисе пены происходит выделение большего количества жидкости, чем способно растечься по гептану. И лишь когда кратность пены более 6, интенсивность синерезиса такова, что за определенное время из пены выделяется количество раствора способное полностью растекаться по гептану.

На рисунке 4.2.1 представлен график зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены, приготовленной из рабочих растворов на основе «Fluortensid I» и углеводородного компонента «С». Максимальные значения скорости растекания для всех кривых соответствуют минимальному значению кратности, то есть когда водная пленка получалась прямо из раствора. Достаточно сложно было определить скорость растекания водной пленки из пеноэмульсии кратностью 2. Уже через 2 — 3 секунды из нее выделялось около 30% раствора. На поверхность гептана возможно было нанести только обезвоженную пену. Кратность такой пены около 2.8 единиц. Поэтому эксперименты по определению пленкообразующей способности пены начинались с кратности 3. Для всех представленных составов увеличение кратности пены свыше 10 приводило к снижению скорости растекания водной пленки из низкократной пены до значений близким к 0.05 см /с. Увеличение содержания углеводородного компонента в концентрате ПАВ для приготовления рабочих растворов свыше 25% масс снижает пленкообразующую способность пены.

График зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены, приготовленной из рабочих растворов на основе «Fluortensid II» и углеводородного компонента «С», представлен на рисунке 4.2.2. При концентрации «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.24 % масс, и

компонента «С» 0.082% масс изменение кратности пены с 1 до 10 приводит к снижению скорости растекания с 1.24 см/с до 0.18 см/с. С ростом концентрации Fluortensid II в рабочем растворе до 0.28 % масс, и снижением концентрации компонента «С» до 0.042% масс происходит снижение пленкообразующей способности. При кратности пены 10 водная пленка растекается по поверхности гептана со скоростью 0.1 см /с. Увеличение содержания углеводородного компонента в концентрате ПАВ для приготовления рабочих растворов свыше 25% масс снижает пленкообразующую способность пены. Это связано не только с увеличением времени синерезиса пены но и с снижением способности водной пленки быстро покрывать поверхность гептана. Пленка из раствора с концентрацией фторсинтетического компонента «Fluortensid II» 0.082% масс и углеводородного компонента «С» 0.245% масс растекается со скоростью 0.42 см /с, а пленка из пены кратностью 7 на основе этого же раствора со скоростью 0.11 см /с.

График зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены, приготовленной из рабочих растворов на основе фторированного компонента «F» и углеводородного компонента «С», представлен на рисунке 4.2.3. При концентрации «F» в рабочем растворе 0.75 % масс, и компонента «С» 0.25% масс изменение кратности пены с 1 до 10 приводит к снижению скорости растекания с 1.02 см/с до 0.08 см/с. Увеличение содержания углеводородного компонента в концентрате ПАВ для приготовления рабочих растворов свыше 25% масс снижает пленкообразующую способность пены. Пленка из раствора с концентрацией фторсинтетического компонента «F» 0.375% масс и углеводородного компонента С 0.625% масс растекается со скоростью 0.3 $см^2$/с. Пленка из пены кратностью 7 на основе этого же раствора растекается со скоростью 0.11 $см^2$/с. Таким образом установлено, что скорость растекания пленки из раствора ПАВ зависит от

состава пенообразующей композиции. Пленкообразующая способность пены зависит от величины скорости растекания водной пленки из рабочего раствора и кратности пены.

4.3. Скорость растекания водной пленки по поверхности углеводорода из составов с различным коэффициентом растекания

Термодинамический коэффициент растекания (Щ $_{раст}$) является важной характеристикой водных растворов поверхностно-активных веществ, используемых при получении низкократной фторсинтетической пены для тушения пожаров. Именно он характеризует, силу с которой углеводород натягивает на свою поверхность водную пленку, образовавшуюся либо в результате синерезиса пены либо в результате растекания капли раствора пенообразователя. Исследования, направленные на определение скорости растекания водной пленки по поверхности углеводорода дают возможность установить влияние коэффициента растекания на пленкообразующую способность пены, а значит и на ее огнетушащую эффективность.

На рисунках 4.3.1 - 4.3.3 представлены диаграммы скорости растекания водной пленки от величины коэффициента растекания. Увеличение коэффициента растекания неоднозначно сказывается на росте скорости растекания водной пленки, формирование которой происходит из водных растворов смесей фторсинтетического поверхностно-активного вещества «F», фторсинтетического поверхностно-активного вещества «Fluortensid I» с углеводородным компонентом «С». Между зависимостями скорости растекания водной пленки из низкократной пены, приготовленной на основе данных растворов и зависимостями скорости растекания водной пленки из самих растворов, наблюдается вполне очевидная корреляция, экстремумы соответствуют одной и той же концентрации.

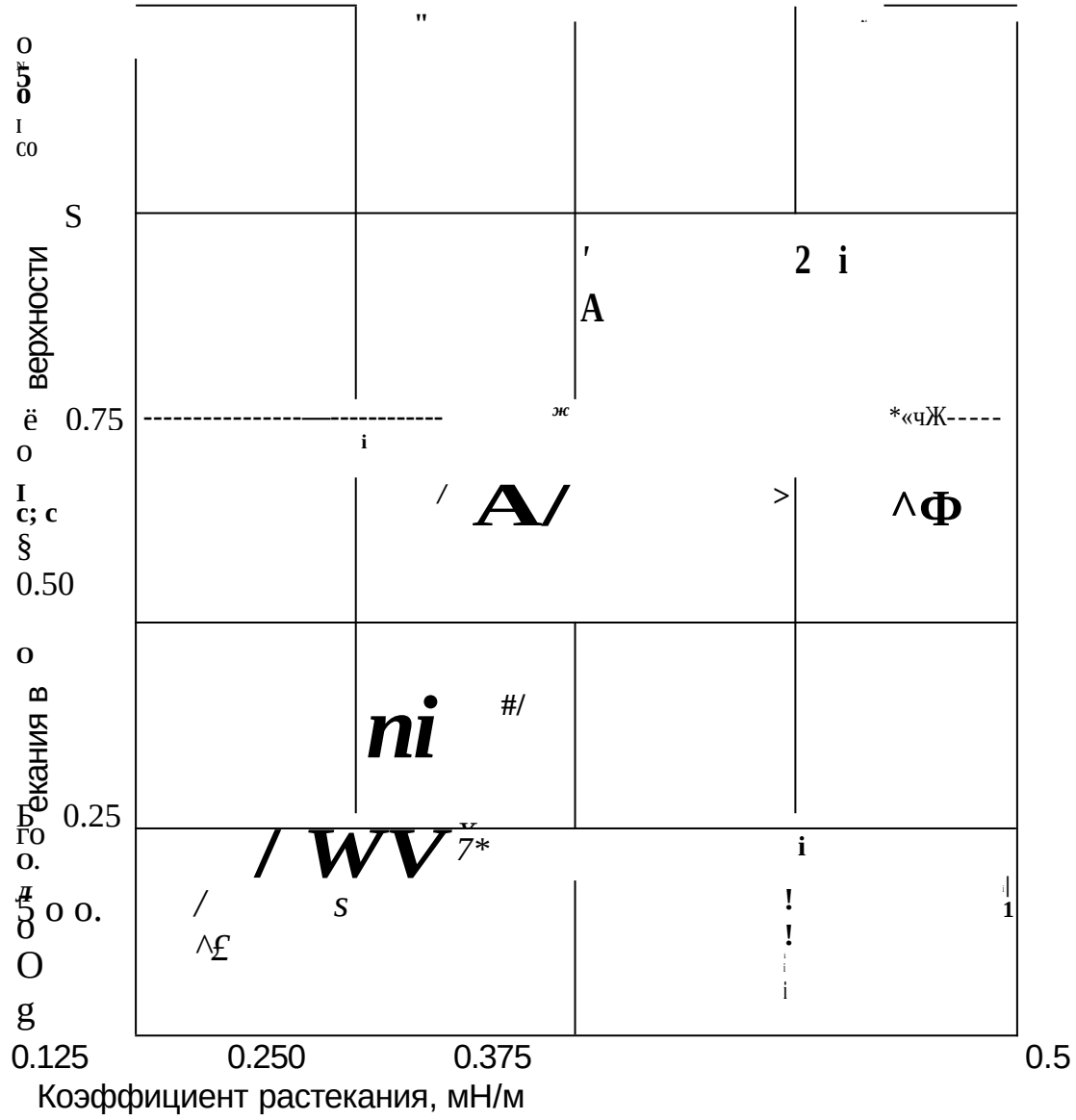


Рис. 4.3.1 Зависимости скорости растекания водной пленки по поверхности гептана от величины коэффициента растекания рабочих растворов приготовленных на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического «Fluortensid I». Формирование пленки на поверхности гептана производилось: 1 - из водного раствора ПАВ; 2 - из пены кратностью 3; 3 - из пены кратностью 6.

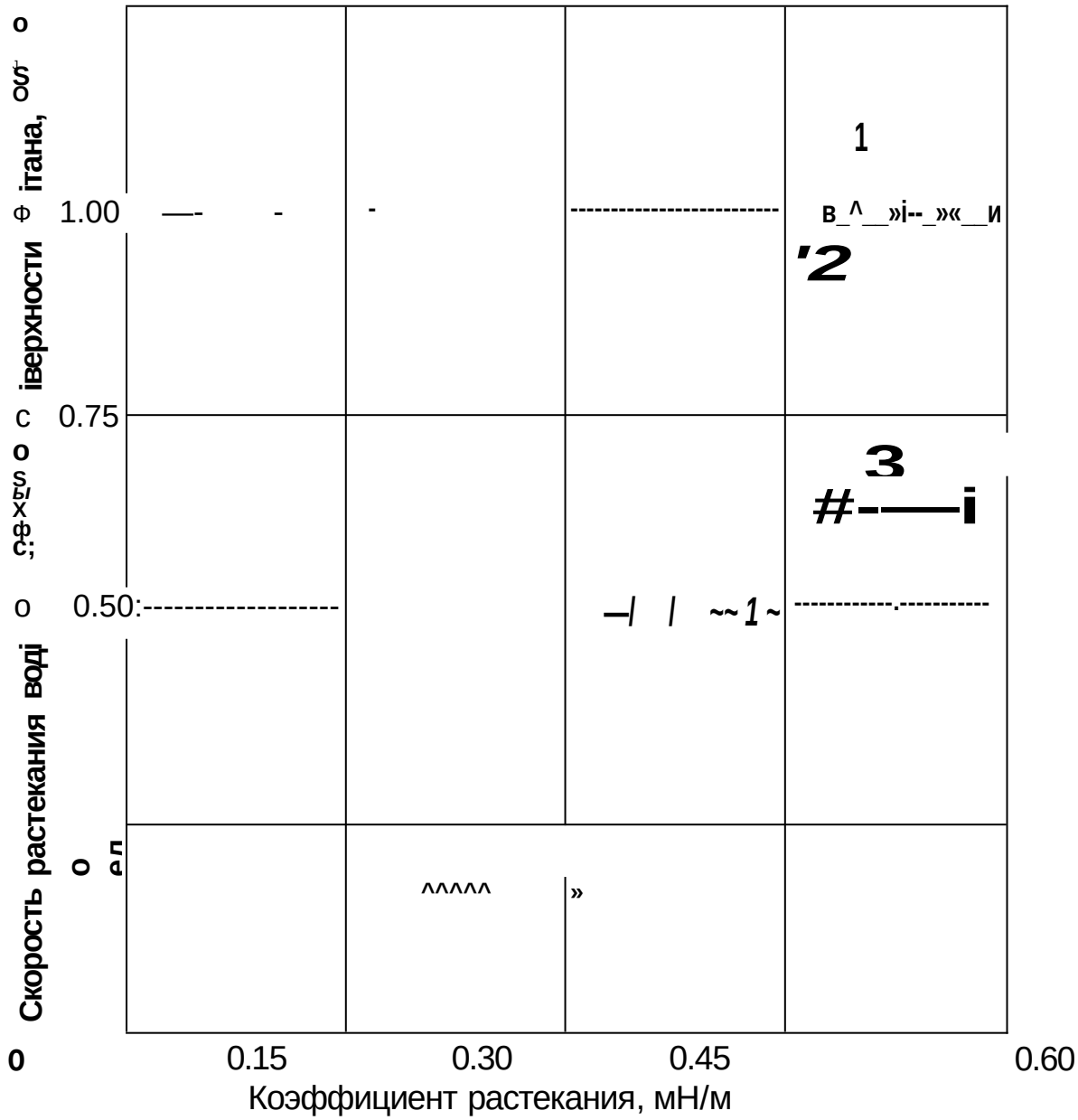


Рис. 4.3.2 Зависимости скорости растекания водной пленки по поверхности гептана от величины коэффициента растекания рабочих растворов приготовленных на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического компонента «F». Формирование пленки на поверхности гептана производилось: 1 - из водного раствора ПАВ; 2 - из пены кратностью 3; 3 - из пены кратностью 6.

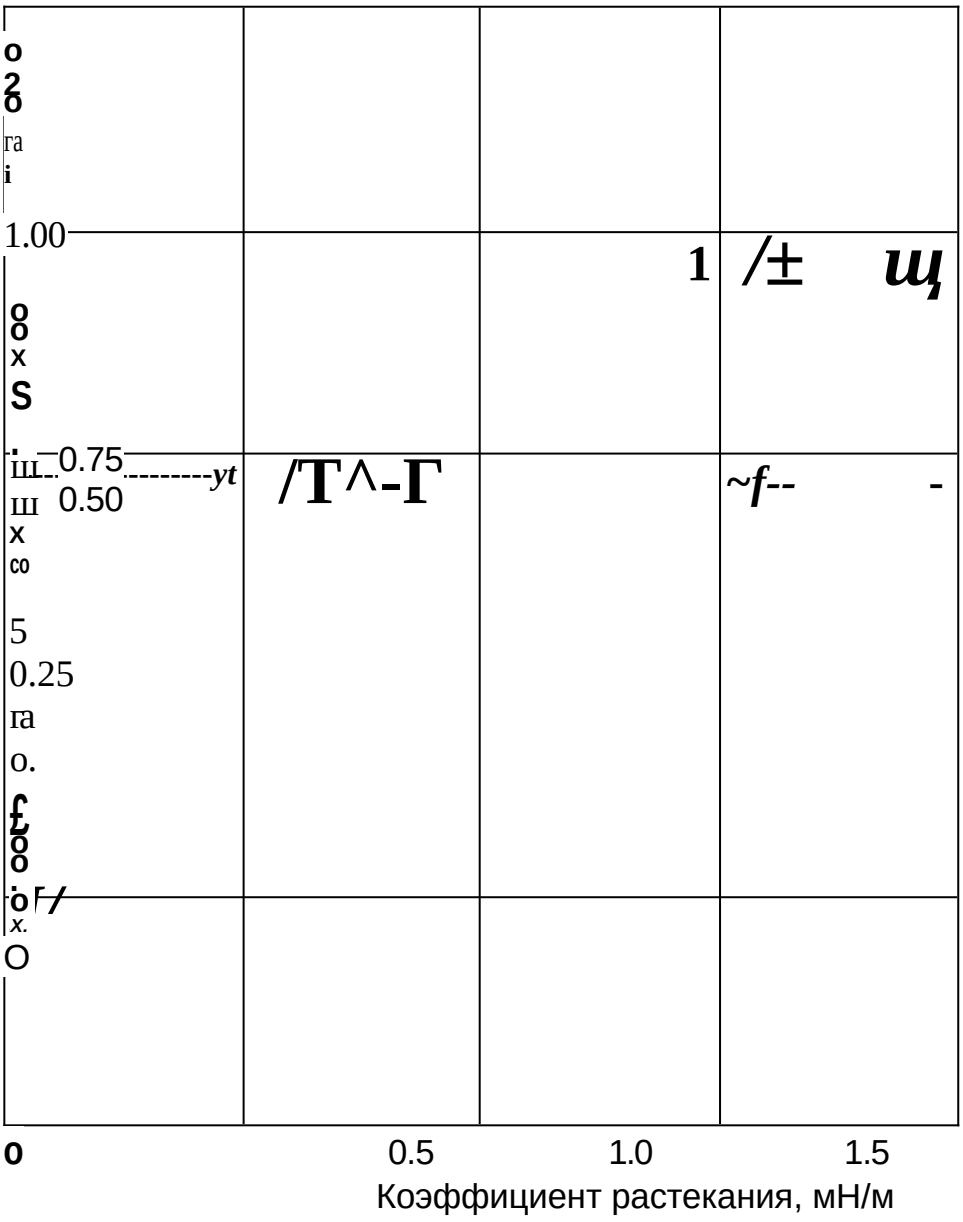


Рис. 4.3.2 Зависимости скорости растекания водной пленки по поверхности гептана от величины коэффициента растекания рабочих растворов приготовленных на основе углеводородного компонента «С» и фторсинтетического «Fluortensid II». Формирование пленки на поверхности гептана производилось: 1 - из водного раствора ПАВ; 2 - из пены кратностью 3; 3 - из пены кратностью 6.

Это свидетельствует о том, что существует возможность не соответствия максимальной скорости растекания и максимального коэффициента растекания. Интересен также тот факт, что если для одной системы увеличение в определенных пределах коэффициента растекания ведет к стремительному росту скорости растекания, то для другой системы скорость растекания водной пленки по поверхности углеводорода практически не меняется. Примером в этом случае могут служить система «Fluortensid I» с компонентом «C» и система компонент «F» с компонентом «C». Для всех исследуемых систем снижение коэффициента растекания до О мН/м и менее приводит к полной неспособности водной пленки самопроизвольно растекаться по поверхности гептана. Раствор скапливается в димплы и погружается в углеводород.

На рисунке 4.3.2 представлены зависимости скорости растекания водной пленки по поверхности гептана от величины коэффициента растекания для системы: углеводородный компонент «C» и фторсинтетический компонент «Fluortensid II». Водные растворы на основе данных веществ имеют высокую поверхностную активность. Максимальный коэффициент растекания этой системы более чем в три раза превышает максимальные коэффициенты растекания двух предыдущих систем. Максимальная скорость растекания водной пленки по поверхности гептана 1.24 см /с соответствует максимальному значению коэффициента растекания 1.89 мН/м. Между зависимостями скорости растекания водной пленки из низкократной пены, приготовленной на основе данных растворов и зависимостями скорости растекания водной пленки из самих растворов, наблюдается корреляция. Аналогично предыдущим системам при коэффициенте растекания 0 мН/м водная пленка не растекается по поверхности гептана. Это свидетельствует о том, что водная пленка из растворов поверхностно-активных веществ способна растекаться по поверхности углеводорода только при

положительном коэффициенте растекания, для некоторых систем увеличение коэффициента растекания неоднозначно сказывается на скорости растекания водной пленки по поверхности гептана.

4.4. Влияние водной пленки на процесс тушения углеводородов пеной

Экспериментально установлено, что при тушении пламени углеводородов фторсинтетической пеной, на определенной части поверхности горючего не покрытой пеной уже прекращено пламенное горение. Сделана попытка учесть долю поверхности углеводорода, покрытую пленкой на процедуру тушения, при этом используется традиционный подход, учитывающий влияние степени покрытия на излучение тепла. Данный подход подробно описан в работе Грашичева Н.К. [56] и широко использовался в работах других авторов.

Особенность тушения пленкообразующей пеной состоит в том, что чем выше скорость растекания водной пленки, тем большую поверхность она способна покрыть. В связи с тем, что пленка выделяется в результате синерезиса пены, то степень покрытия поверхности углеводорода пленкой зависит от степени покрытия пеной.

$$\frac{S_f + S_s}{\wedge 0}$$

$$0 = 0_{/} + 0_{Л}.$$

$$®, = ®, cУ_{ж}$$

$$® = ®_f + ®_f cV_s$$

(4.5.1)

(4.5.1а)

(4.5.2)

(4.5.3)

где *Sf*- площадь, покрытая пеной; S_s— площадь, покрытая пленкой; *So*— площадь, поверхности резервуара;©- эффективная степень покрытия

поверхности горючего; $@_f$- часть поверхности горючего, покрытая пеной, $®_s$ - часть поверхности горючего покрытая пленкой; V_s- скорость растекания

водной пленки из низкократной пены, см /с; *с*- коэффициент пропорциональности, связывающий скорость растекания и степень покрытия поверхности горючего пленкой, при тушении гептана в модельном резервуаре он равен 0,5...0,7 (с/см), в натурных испытаниях 0,9...1,3 (с/см^2). Приняв $(l+cV_s) = P$, имеем:

$$® = ®_f P \qquad (4.5.3а)$$

$$0,=0/P-0/ \qquad (4.5.4)$$

В исходное положение о материальном балансе привносится роль пленки, после подстановок и последующими преобразованиями получено выражение:

$$qdx = p_f h_f S_0 dQ_f + U\{ (1 - ®_f P) S_0 @_f dx + U^* (1 - ®_f P) S_0 ®_s dx + p_s h_s S_0 d®_s \qquad (4.5.5)$$

где *q*- секундный расход пены, кг/с; *p/* — плотность пены кг/м ; p_s — плотность водной пленки (равна плотности раствора пенообразователя) кг/м^3; *hf* — средняя высота пенного слоя; *u(* - удельная скорость термического разрушения пены от факела пламени. *u$* - удельная скорость термического разрушения пленки от факела пламени, h_s- толщина водной пленки.

В данном выражении учитывается механизм потери пеной раствора через процесс растекания водной пленки по поверхности горючего. Необходимо учесть, что пленка испаряется под воздействием факела пламени и постоянно подпитывается из пены поэтому все члены уравнения (4.5.5) связаны через $®_f$. В связи с малым значением h_s (толщина водной пленки составляет всего 40-60 мк [21]) величина последнего слагаемого правой части уравнения (4.5.5) незначительна относительно величины трех других членов. Поэтому пренебрежем этим слагаемым и с учетом выражения (4.5.4) имеем:

$$qdx = p_f h_f S_0 dQ_f + U\wedge(l - Q_f P) S_0 Q_f dr + U\wedge(\backslash - Q_f P) S_0 (®_f P - Q_f) dr \qquad (4.5.6)$$

$$qdx = p_f h_f S_0 dQ_f + (U£ + U^S{}_Q (P - 1))(1 - ®_f P) S_0 Q_f dx \qquad (4.5.6а)$$

Для простоты дальнейших расчетов представим $U\{ + U\%(P-1) = U_0$ Разделив обе части уравнения материального баланса (4.5.6а), на площадь

поверхности горючей жидкости So, с учетом того, что — = J, где J —

интенсивность подачи пены получим формулу:

$$Jdr = p_f h_f dQ_f + U_0(\backslash - ®_f P)@_f dT \qquad (4.5.7)$$

Приведем дифференциальное уравнение (4.5.7) к виду, удобному для интегрирования:

$$*-vs\#M-vw \qquad (4\text{'}5Ja)$$

Проинтегрировав уравнение (4.5.7а) в пределах от r = 0, $®_f = 0$ до 1 $m = m_m$, $®_f$= — имеем:

$$m_m = \quad , \quad {}^{2pfhf} \qquad arctg \quad . \quad {}^{2U\circ} \qquad (4.5.8)$$

Уравнение (4.5.8) описывает зависимость времени тушения от интенсивности подачи пены. По мере снижения интенсивности подачи пены время тушения будет увеличиваться и в случае когда ту -> оо реализуется критическая ситуация тушения, а величину интенсивности, соответствующей этому времени назовем критической интенсивностью подачи пены. Время тушения стремится к бесконечности в случае, если знаменатель подкоренного выражения члена, стоящего перед тригонометрической функцией стремится к нулю. Это условие реализуется при $4JP \sim U_0$ -> 0 поэтому:

где J_{Kp} - критическая интенсивность подачи пены.

$$J, = \wedge f \wedge \qquad (4.5.9a)$$

$$J'' \quad \frac{U\{ + U*cV_s}{4\{\backslash + cV_s)} \qquad \wedge\_^{У0;}$$

$$m \quad \underline{(U_M Qr)KzQ_B) +}$$

$$\underline{(U_M Q_r cV_s)/Q_B}.89$$

где: *Uм*- удельная скорость выгорания жидкости в стационарном режиме, кг/(м^{2}с); Q_r - удельная теплота необходимая для испарения горючей жидкости, кДж/кг; Q_B - удельная теплота необходимая для испарения воды, кДж/кг: z-безразмерный коэффициент (он равен 0,15...0,3), учитывающий форму пузырьков пены.

$$J^* \qquad \frac{U_M Q_r (l + cV_s z)}{4Q_s z(l + cV_s)}$$

коэффициент *z* всегда меньше единицы, то дробь $\frac{П+cV.z)}{(\ + cV_s)}$ Так как всегда меньше единицы. Это свидетельствует о том, что критическая интенсивность, рассчитанная с учетом водной пленки (если существует наличие пленки) всегда ниже интенсивности рассчитанной без учета водной пленки. Перепишем уравнение (4.5.8) с учетом выражения (4.5.9):

$$г_г = \frac{}{Pfh/} = arctg\text{-}r = {}^{2Jкр} \qquad (4.5.10)$$

Заменив тригонометрическую функцию степенным рядом, с учетом его первого члена получим:

$$*\sim p\$Ь \qquad (4.5Л0а)$$

Из формулы (4.5.10а) следует, что чем выше скорость растекания водной пленки, тем меньшее время необходимо для тушения пламени углеводорода при заданной интенсивности подачи пены. Среднюю толщину пенного слоя представим в виде полсуммы толщины слоя пены h_q в месте всплывания и минимального слоя пены h_0;

$$h_f = {}^{JL}{}_{Y}{}^{JL} \qquad (4.5.11)$$

$$h_f = {}^{JL}\text{-}\wedge\text{-}$$

$$h_0 + P\ J$$

$$\sim 2$$

параметр */3* определяется соотношением $\frac{h}{}^2$-, то среднюю высоту пенного слоя можно выразить как:

$$h_f = K\frac{I_\wedge}{}^{+\ \wedge/Л*} \qquad (4.5.116)$$

С учетом выражения (4.5.116) получена зависимость для определения времени тушения от интенсивности подачи пены:

$$^{m} \quad 2J_{Kp}P(J-J_{Kp}) \qquad (4.5.12)$$

$$^{m}\underline{\qquad PfKV_{KP} + J)} \qquad \Gamma_4 5\ 12аї$$

Удельный расход раствора пенообразователя на тушение ^{2} 1м поверхности горючего определяем как:

$$Q_{yd} = Jr_T \qquad (4.5.13)$$

$$^{Q}\wedge 2J_{Kp}PiJ-J_{Kp)} \qquad \wedge^{5Л3а})$$

Приняв за критерий оптимальной интенсивности, ту интенсивность, при которой расходуется минимальное количество раствора пенообразователя $Q\wedge_n$, имеем:

$$dJ$$

$$p_fKJ(J_{KP}+J)$$

$$^{dQ}{}''=0 \qquad (4.5.14)$$

$$=0 \qquad (4.5.14а)$$

$2J_{Kp}P\{J-J_{Kp})$ Продифференцировав левую часть выражения (4.5.14а) с учетом того,

что $\frac{PA}{2J_{Kp}''}$ = *const*, и решив квадратное уравнение получим:

$$\wedge=(l + V2)J,_p \qquad (4.5.15)$$

Подставив правую часть выражения (4.5.15) вместо интенсивности в формуле по определению удельного расхода (4.5.13а) имеем:

$$ОИ-\wedge\wedge P* \qquad (4\text{-}5.16)$$

Если в выражении (4.16) и (4.19) P заменить на $(l + cV_s)$ то оно примет вид:

$$Q\wedge=\wedge\wedge P_fK \qquad (4.5.16а)$$

Здесь же представлены результаты расчета по формулам. Расчетные кривые удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов. Анализ графика зависимости времени тушения, удельного расхода от интенсивности подачи пены (рис. 4.5.2), на котором также имеются расчетные кривые учитывающие и не учитывающие водную пленку подтверждает правильность выбора первой модели. Также можно сделать вывод о необходимости учета растекания водной пленки из низкократной пены при расчете удельных затрат пенообразователя на тушение и нахождении оптимальных режимов подачи пены. Минимальный удельный расход пенообразующих средств с учетом пленки равен *2*,1 кг/м , без учета пленки 2,5 кг/м . Расчет критической интенсивности подачи пены с учетом водной пленки (для первой кривой) производился по формуле:

$m = \frac{''-'}{40_B z(l + cV_s)}$ -------i_^- = o,016 *кг/(м~с).* Расчет критической интенсивности подачи пены без учета водной пленки (для второй кривой) производился по формуле: $J]_p = -f\sim = 0{,}0182$ *кг/(м^{2}с).* Здесь *(2$_Г$=319кДж/кг; Q_B=2270 кДж/кг; $и_м$=0,078(кг/м с); z=0.J5; V_S=0.25СМ /С; с=0,7с/см.* Таким образом определение основных параметров тушения с учетом водной пленки позволяет снизить удельные затраты пенообразователя на 15...20%.

ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ СЛИВОНАЛИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ

5.1. Противопожарная защита сливоналивных эстакад

Железнодорожная сливоналивная эстакада является сооружением железнодорожных путей и представляет собой технологического

сооружение, обеспечивающее выполнение операций по сливу нефти и нефтепродуктов из железнодорожных цистерн и их наливу.

Железнодорожные пути, на которых располагаются сливоналивные эстакады, должны иметь съезд на параллельный обгонный путь, позволяющий осуществлять вывод цистерн от эстакад в обе стороны.

При реконструкции или расширении действующих двухсторонних эстакад и невозможности устройства обгонного пути, а также для односторонних эстакад допускается предусматривать тупиковый путь, с установкой в конце его лебедки, длину которого необходимо увеличить на 30 м, для возможности расцепки состава при пожаре, считая от крайней цистерны расчетного маршрутного состава до упорного бруса.

Не допускается предусматривать эстакады на железнодорожных путях, предназначенных для сквозного проезда.

Сливоналивные эстакады для легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на складах нефти и нефтепродуктов I категории должны быть раздельными.

Расстояние между осями ближайших железнодорожных путей соседних сливоналивных эстакад, расположенных на параллельных путях, должно быть не менее 20 м.

Расстояние от оси железнодорожного пути объекта до ближайшего пути со сливоналивной эстакадой должно быть не менее 20 м, если температура вспышки сливаемых нефти и нефтепродуктов равна или ниже 120 ОС, и не менее 10 м- если температура вспышки выше 120 ОС и для мазутов.

Промежуточные резервуары сливоналивных устройств, кроме сливных емкостей для нефти и нефтепродуктов с температурой вспышки выше 120 ОС и мазутов, не допускается размещать под железнодорожными путями.

На сливоналивных эстакадах площадки должны иметь твердое водонепроницаемое покрытие, огражденное по периметру бортиком высотой не менее 0.2 м, и уклоны не менее 2 % для стока жидкости к приемным устройствам (лоткам, колодцам, приямкам и пр.).

На сливоналивных железнодорожных эстакадах должна предусматриваться установка лестниц, выполненных из негорючих материалов.

Лестницы должны устанавливаться в торцах сливоналивной эстакады, а также по длине эстакад на расстоянии друг от друга не более 100 м.

Лестницы и эстакады должны быть оборудованы ограждением высотой не менее **1,0** м.

5.2. Установки пенного пожаротушения и водяного охлаждения железнодорожных сливо-наливных эстакад

Общие положения

Для противопожарной защиты железнодорожных сливоналивных эстакад (далее по тексту - эстакад) следует предусматривать полуавтоматические установки пожаротушения низкократной пеной и водяного охлаждения.

Полуавтоматическая установка пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной должна быть основана на применении универсальных водопенных насадков с регулируемой картой орошения (далее по тексту - УВП) и предназначена:

- для тушения пожаров в пределах площади эстакады по внешнему контуру сооружения;
- для охлаждения горящих и соседних железнодорожных цистерн низкократной пленкообразующей пеной, а также для защиты от теплового потока сливоналивных устройств и других металлических конструкций эстакады;
- для снижения интенсивности испарения при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов;

орошения опасных зон распыленными струями воды при

подключении к установке передвижной пожарной техники.

Полуавтоматическая установка водяного охлаждения должна быть основана на применении лафетных стволов универсальных (далее по тексту - ЛСУ) и предназначена для охлаждения соседних с горящими железнодорожных цистерн сплошными и распыленными струями, а также сливоналивных устройств и других металлических конструкций эстакады. При необходимости установка водяного охлаждения может быть использована для тушения пожаров в пределах площади эстакады по внешнему контуру сооружения и прилегающей территории сплошными и распыленными струями низкократной пленкообразующей пены. С этой целью лафетные стволы должны быть также присоединены к кольцевым растворопроводам установки пенного пожаротушения. На кольцевом растворопроводе вдоль железнодорожной сливоналивной эстакады должны предусматриваться гребенки, устанавливаемые на расстоянии друг от друга не более 80 м.

Примечание: применение данных гребенок в период работы установки пенного пожаротушения не предусматривается. Запуск установок пенного пожаротушения и водяного охлаждения должен осуществляться одновременно от единых пусковых устройств, установленных по периметру эстакады на расстоянии не более 80 м и не более 2 м от стационарных лафетных стволов на отдельной стойке. Средства автоматизации установок пенного тушения пожаров и водяного охлаждения должны обеспечивать:

- включение основных и резервных насосов в случае, если основные неисправны или не обеспечивают расчетный напор;
- открытие запорной арматуры с электроприводом, установленной на входе и выходе баков-дозаторов.

Открытие запорной арматуры, обеспечивающей подачу рабочего раствора пенообразователя в зону тушения или секцию, а также на линиях подачи воды к стационарным лафетным стволам осуществляется вручную в зависимости от места возникновения пожара.

Во избежание разрушения огнетушащей водной пленки низкократной пены на поверхности горящего нефтепродукта подача водяных струй непосредственно в зону горения при применении установки пенного пожаротушения не допускается.

5.3. Установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной

Кроме общих элементов систем пенного пожаротушения полуавтоматические установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной должны включать следующие основные элементы и оборудование:

- универсальные водопенные насадки (далее по тексту УВН);
- распределительные растворопроводы;
- питающие растворопроводы;
- дренажные устройства;
- фильтры;
- узлы для подключения передвижной пожарной техники;
- запорные устройства с электроприводом и другую трубопроводную арматуру.

По всей протяженности железнодорожных сливоналивных эстакад должны формироваться зоны тушения. Для двухсторонних эстакад каждая зона тушения может делиться на две секции.

При запуске установок пенного пожаротушения железнодорожных сливоналивных эстакад должна обеспечиваться работа с расчетными параметрами не менее 3-х зон тушения с охватом площади эстакады в плане по внешнему контуру сооружения не менее 1000 м , а также с учетом размещения на этой площади не менее 3-х железнодорожных цистерн на каждой стороне налива.

УВН должны устанавливаться над горловиной железнодорожной цистерны из расчета - один насадок на каждую цистерну.

Расчетная интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя для железнодорожных сливоналивных эстакад должна приниматься 0,08 л/с на $м^2$.

Расчетное время тушения пожара для установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной должна приниматься не менее 15 мин.

Инерционность установок пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной и водяного охлаждения должна обеспечиваться не более 3-х минут с учетом расположения наиболее удаленного УВН.

Для каждой зоны тушения от кольцевого растворопровода должен предусматриваться отдельный питающий растворопровод.

На питающем растворопроводе по направлению к зоне тушения или секции должны последовательно устанавливаться:

- запорная арматура для обеспечения подачи рабочего раствора пенообразователя в зону тушения;
- обратный клапан;
- фильтр.

Подключение узла для передвижной пожарной техники к питающему растворопроводу должно предусматриваться на участке между фильтром и обратным клапаном. Требования к конструкции узлов аналогичны п. 6.2.3.16 настоящего Стандарта.

Наземные растворопроводы с соответствующей трубопроводной арматурой, включая стальные опоры, расположенные в пределах эстакады должны защищаться огнезащитными составами, обеспечивающими их устойчивость к воздействию тепла пожара в течение 45 минут.

5.4. Установки водяного охлаждения

Кроме общих элементов систем водяного охлаждения объектов полуавтоматические установки водяного охлаждения железнодорожных сливоналивных эстакад должны включать:

- лафетные стволы универсальные;
- распределительные водопроводы;
- наружные сети водопроводов;
- дренажные устройства;
- фильтры;
- узлы для подключения передвижной пожарной техники;
- запорные устройства с электроприводом и другую трубопроводную арматуру.

Число и расположение ЛСУ для установок водяного охлаждения эстакад следует определять графически из условия орошения железнодорожных цистерн и каждой точки эстакады в плане двумя сплошными струями. Общий расход воды на охлаждение железнодорожных цистерн, сливоналивных устройств на эстакадах следует принимать из расчета одновременной работы не менее двух лафетных стволов с общим расходом не менее 40 л/с.

Расчетное время работы ЛСУ должно приниматься в течение 4 часов. ЛСУ должны быть расположены на расстоянии от эстакады не менее 15 м. ЛСУ должны быть установлены на специальных лафетных вышках высотой не менее 2 м от уровней производственной площадки эстакады и противопожарного проезда.

Для управления лафетными стволами на вышках необходимо предусматривать специальные площадки, оборудованные водяной завесой с расходом не менее 1 л/(с*м) или теплозащитным экраном.

5.5. Установки пенного пожаротушения и водяные завесы на причальных комплексах перегрузки нефти и нефтепродуктов.

Общие положения

Настоящие требования распространяются на установки пожаротушения и водяные завесы, которые должны предусматриваться для следующих объектов причальных комплексов:

- причалы и причальные сооружения, размещенные на них служебные помещения, швартовые и отбойные устройства;
- технологические (оперативные) площадки причала (пирса) с размещенными на них перегрузочным оборудованием, технологическими трубопроводами для перекачки нефти и нефтепродуктов, нефтесодержащих жидкостей (балластных, промывочных, льяльных вод и др.) с соответствующей трубопроводной арматурой,
- зоны, расположенные под технологической площадкой, с резервуарами промстоков и опорожнения стендеров, насосами их откачки и другим оборудованием, связанным с обращением нефти и нефтепродуктов.

На причальных комплексах для перегрузки нефти и нефтепродуктов следует предусматривать:

- для технологических площадок причалов и зон, расположенных под технологическими площадками - автоматические установки пожаротушения низкократной пеной;
- для выступающих частей причала технологических площадок или сплошных причальных стенок - автоматические водяные завесы;
- для металлических несущих гидротехнических конструкций причала, технологических эстакад с трубопроводами, а также зданий

и сооружений, расположенных на причалах - системы наружного тушения пожаров от передвижной пожарной техники. Тушение пожара на танкере должно осуществляться с использованием средств противопожарной защиты судна, а также плавсредствами с установками водопенного тушения и водяного охлаждения, при немедленном отводе танкера на рейд.

Автоматические установки пожаротушения низкократной пеной причала должна быть основаны на применении универсальных водопенных насадков с регулируемой картой орошения (далее по тексту - УВН), лафетных стволов универсальных с дистанционным управлением (далее по тексту - ЛСД) и предназначены:

- для тушения пожаров в пределах технологических площадок причалов и зон, расположенных под технологическими площадками;
- для ограничения воздействия опасных факторов пожара на стендеры и другое оборудование причала при его возникновении на танкере, до принятия мер по отводу судна на рейд;
- для снижения интенсивности испарения при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов.

При автоматическом запуске установки должна предусматриваться подача рабочего раствора через УВН, установленные на технологической площадке причала и в зонах, расположенных под технологическими площадками. ЛСД могут применяться при прекращении подачи рабочего раствора пенообразователя через УВН.

Водяные завесы должны быть основаны на применении водяных насадков (оросителей), формирующих сплошные вертикальные струи, а также других оросителей, используемых по мере необходимости, и предназначены для снижения воздействия опасной тепловой энергии пожара на конструкции и технологическое оборудование причала или на танкер в зависимости от места его возникновения (на причале или на танкере).

Автоматический запуск установок пенного пожаротушения и водяных завес должен осуществляться одновременно по сигналам системы обнаружения пожаров на технологической площадке причала и в зонах, расположенных под технологическими площадками.

Дистанционный запуск установок пенного пожаротушения и водяной завесы должен осуществляться от единых пусковых устройств, установленных на причале на расстоянии не более 30 м друг от друга вдоль стоящего у причала танкера.

При дистанционном запуске установок пенного пожаротушения и водяных завес должно обеспечиваться:

- включение основных и резервных насосов (пенного пожаротушения и водяного охлаждения) в случае, если основные неисправны или не обеспечивают расчетный напор;
- открытие запорной арматуры с электроприводом, установленной на входе и выходе баков-дозаторов;
- открытие запорной арматуры с электроприводом для подачи воды в трубопроводы водяных завес;
- открытие запорной арматуры с электроприводом на питающих растворопроводах УВН или ЛСД (по выбору).

При разработке систем, используемых для противопожарной защиты причального комплекса, в расчет следует принимать один пожар, независимо от количества причалов и одновременно обрабатываемых танкеров.

При объединении систем, используемых для противопожарной защиты причальных комплексов и складов нефти и нефтепродуктов, принимается 2 пожара - один на танкере и второй на складе нефти и нефтепродуктов, если

он относится к первой и второй категории по СНиП 2.11.03-93.

В зоне размещения технологических площадок следует предусматривать пожарный пост с комплектом пожарного оборудования согласно ГОСТ 12.4.009-83.

5.6. Автоматические установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной

Автоматические установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной должны включать следующие основные элементы и оборудование:

- универсальные водопенные насадки (УВН);
- лафетные стволы универсальные с дистанционным управлением (ЛСД);
- распределительные растворопроводы;
- питающие растворопроводы;
- запорную арматуру с электроприводом;
- дренажные устройства;
- фильтры;
- узлы для подключения передвижной пожарной техники;

наружные сети противопожарных водопроводов и растворопроводов;

- баки-дозаторы;
- насосные агрегаты;
- источники водоснабжения;
- пожарные извещатели, устройства дистанционного запуска, контрольно-измерительные приборы, приборы управления (система автоматизации).

Расчетную площадь тушения для установок пенного пожаротушения технологических площадок причала и зон, расположенных под ними, следует принимать не менее 500 м^2.

Расчетная интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя для тушения пожаров на технологических площадках причалов и зон,

расположенных под технологическими площадками, должна приниматься ОД л/(с*м^2).

Расчетное время тушения пожара для установки пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной должна приниматься не менее 15 мин.

Инерционность установок пожаротушения низкократной пленкообразующей пеной и водяного охлаждения должна обеспечиваться не более 3-х минут с учетом расположения наиболее удаленного УВН или ЛСД.

Для создания минимального слоя низкократной пленкообразующей пены в пределах технологической площадки, высота бортиков ограждения должна быть не менее 0,4 м. Бортик устанавливается по контуру технологической площадки, не сокращая пожарных проездов.

Количество УВН определяется из условия их равномерного размещения по периметру защищаемой зоны с шагом не более 15 м, но не менее 2-х. При этом УВН должны направляться на стендеры, задвижки, продуктовые трубопроводы с трубопроводной арматурой и другое оборудование, с максимальным охватом защищаемой площади.

Для ограничения воздействия опасных факторов пожара на стендеры и другое оборудование при пожаре на танкере причала необходимо предусматривать установку двух ЛСД, расположенных у технологической площадки на расстоянии не меріее 3 м с противоположных сторон.

Технические характеристики и расположение ЛСД следует определять, исходя из выполнения следующих условий:

- номинальный расход одного ЛСД должен быть не менее 20 л/с при рабочем давлении 0,6 МПа;
- ЛСД должны приниматься одного типоразмера;
- ЛСД должны предусматриваться с комбинированными насадками, обеспечивающими регулирование угла факела струи и позиционное регулирование расхода;

- при работе ЛСД должна обеспечиваться подача 2-х сплошных струй низкократной пленкообразующей пены в любую точку технологической площадки причала в плане. Расход рабочего раствора пенообразователя для установки должен приниматься относительно работы УВН, установленных на технологической площадке причала и в зонах, расположенных под технологическими площадками, или двух ЛСД по наибольшему значению. При размещении пунктов приготовления рабочего раствора пенообразователя в служебных помещениях причала подводящие сети противопожарного водопровода должны проектироваться кольцевыми и отдельно от сетей противопожарного водопровода системы наружного тушения пожаров на причале. Установка пожарных гидрантов и гребенок для забора воды передвижной пожарной техникой на подводящих сетях противопожарного водопровода установки пенного пожаротушения в этом случае не предусматривается.

Распределительные растворопроводы установок должны выполняться кольцевыми. Количество питающих растворопроводов с управляемой запорной арматурой должно быть не менее двух.

У каждой технологической площадки на расстоянии не более 20 м от бортика на растворопроводах установок пенного пожаротушения следует предусматривать установку не менее 2-х гребенок с соединительными головками для подключения пожарных мобильных средств (автомашин, катеров и т.п.) и другой пожарной техники. Работа гребенок при запуске установок пенного пожаротушения не предусматривается. Для заполненных трубопроводов установок, прокладываемых надземно (по эстакадам), следует предусматривать меры, исключающие их замерзание.

5.7. Водяные завесы

Автоматические водяные завесы должны включать следующие основные элементы и оборудование:

- водяные насадки (оросители);
- распределительные трубопроводы с насадками;
- запорную арматуру с электроприводом;
- дренажные устройства;
- фильтры;
- наружные сети противопожарных водопроводов;
- центробежные насосные агрегаты;
- источники водоснабжения;
- устройства дистанционного запуска, контрольно-измерительные

приборы, приборы управления (система автоматизации).

Расчетную длину линии водяной завесы следует принимать равной длине выступающей части причала технологической площадки плюс 10 м в обе стороны, либо длине цилиндрической вставки расчетного танкера при сплошной причальной стенке.

По расчетной длине следует предусматривать устройство водяной завесы с прокладкой трубопроводов вдоль бортика по линии кордона причала с внутренней стороны.

Расход воды, насадки (оросители) завесы, свободный напор в сети и внутренний диаметр распределительного водопровода следует выбирать по расчету, обеспечивая сплошную водяную завесу, превышающую не менее чем на 3 м грузовую палубу в начале загрузки танкера по высоте.

Напор в распределительных водопроводах при включении водяной завесы должен быть не менее 0,7 МПа.

Расстояние между водяными насадками, формирующими вертикальные струи, не должно превышать 0,5 м.

Расчетная интенсивность подачи воды водяной завесой должна
приниматься равной 1 л/с на 1 м ее длины.
Расчетное время подачи воды для водяных завес должно приниматься не менее 4-х часов.
Инерционность водяных завес должна обеспечиваться не более 3-х минут.
Распределительные трубопроводы следует проектировать кольцевыми.
После запорной арматуры с электроприводом должны предусматриваться фильтрующие устройства с диаметром ячейки менее диаметра водяного насадка, обеспечивающего формирование вертикальной струи.
Для заполненных трубопроводов водяных завес, прокладываемых
надземно (по эстакадам), следует предусматривать меры, исключающие их замерзание.

5.8. Универсальные водопенные насадки

Универсальные водопенные насадки (далее - УВН) должны представлять собой эжжекционные устройства, предназначенные для получения из водного раствора пенообразователя воздушно-механической пены низкой кратности. УВН должны:

- обеспечивать формирование сплошных и распыленных струй воды или низкократной пены в широких диапазонах давлений;
- позволять осуществлять регулировку карт орошения с учетом конструктивных особенностей защищаемых объектов.

Водопенные насадки (корпус) должны сохранять свою работоспособность после воздействия температур от минус 60°С до плюс 800°С в течение пятнадцати минут.
Конструкция УВН должна предусматривать самопроизвольный слив
остатков рабочего раствора пенообразователя после работы установок пожаротушения.

Водопенные насадки должны быть оснащены регулятором расхода,
регулятором угла распыла, а также устройством, позволяющим
регулировать карту орошения в зависимости от характеристик защищаемой зоны.

По устойчивости к климатическим воздействиям УВН должны
соответствовать исполнениям У, ХЛ или Т для категории размещения 1 по ГОСТ 15150.

УВН, используемые для противопожарной защиты емкостей с горловинами для налива нефти и нефтепродуктов, в центре конусного факела
низкократной пены должны формировать компактную струю низкократной пленкообразующей пены.

Основные технические характеристики УВН должны соответствовать
данным, указанным в таблице 6.8.

Таблица 6.8 Технические характеристики УВН

Наименование параметра	Значение параметра
1 Номинальный расход по раствору пенообразователя, л/с, не менее	5
2 Номинальное давление, МПа	0,8
3 Диапазон рабочих давлений, МПа	0,6-1,2
4 Кратность пены, не менее	5

5.9. Пожарные лафетные стволы

На объектах магистральных нефтепроводов для систем пенного

пожаротушения и водяного охлаждения должны применяться пожарные лафетные стволы универсальные (ЛСУ), которые обеспечивают:

- бесступенчатое изменение вида струи от сплошной до распыленной с равномерным распределением жидкости по контуру факела распыла;

- равномерное изменение расхода жидкости с дискретным отображением значений на соответствующей шкале при непрерывной подаче воды;
- фиксацию положения ствола при заданном угле в вертикальной плоскости;
- свободное (без заеданий) переключение режимов работы ствола, а также управление стволом;
- возможность дистанционного управления механизмами поворота ствола в горизонтальной и вертикальной плоскостях от электропривода (для стволов с дистанционным управлением);
- дублирование ручным управлением дистанционного управления стволом (при его наличии и отключении);
- при переключении с ручного на дистанционное управление стволом (при его наличии) исключение возможности ручного управления при работающем электроприводе.

Требования безопасности к конструкции стволов по ГОСТ 12.2.037. По устойчивости к климатическим воздействиям ЛСУ должны соответствовать исполнениям У, ХЛ или Т для категории размещения 1 по ГОСТ 15150.

Усилия на органах управления не должны превышать значений, предусмотренных ГОСТ 21752 и ГОСТ 21753.

Органы управления стволом должны быть расположены в зоне досягаемости оператора с учетом требований ГОСТ 12.2.033. Технические характеристики лафетных стволов универсальных должны соответствовать данным, указанным в таблице 6.9.

Таблица 6.9 Технические характеристики ЛСУ

Наименование параметра	Значение параметра
1 Номинальное давление, МПа	0,8

2 Диапазон рабочих давлений,	0,6-1,2				
3 Расход, л/с при номинальном давлении, не менее	20	40	60	80	10
4 Кратность пены при подаче рабочего раствора пенообразователя, не менее	4				

5.10. Фильтры

Фильтры должны представлять собой технические устройства, которые обеспечивают:

- защиту водо - и пеноподающих технических средств, от засорения сопел, входных (выходных) отверстий, дозирующих и колиброванных отверстий и т.д.;
- фильтрацию потоков огнетушащих веществ от механических включений с заданным размером (устанавливается размером ячейки сетки фильтрующего элемента в зависимости от характеристик защищаемого оборудования);
- возможность экстренного удаления загрязнений для его очистки в случае переполнения внутреннего объема для сбора механических включений;
- образование параллельно струйного потока на выходе из устройства для формирования благоприятных условий подхода огнетушащих веществ к водо- и пеноподающим пожарно-техническим средствам.

Соотношение площади рабочей поверхности фильтрующего элемента и Ду трубопровода, на который установлен фильтр, должно быть не менее 4-х.
Потери давления на фильтре должны быть не более 0,2 МПа.

Конструкция фильтров должна предусматривать возможность горизонтальной и вертикальной установки.

Фильтры должны сохранять прочность при разности давлений до и после фильтрующего элемента 1,2 МПа.

5.11 МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИСТЕМ ПЕННОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ И ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СЛИВО-НАЛИВНЫХ ЭСТАКАДАХ

1 Методика расчета стационарной системы пенного тушения пожаров

1.1 Исходные данные:

конструктивные и геометрические характеристики железнодорожной сливоналивной эстакады: длина (L), ширина (В), м;

- количество обслуживаемых стандартных (1 = 12 м) ж/д цистерн **0W), шт;**

- расчетная площадь тушения, м (не менее 1000);

расчетная интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя ($1р_{асч}$) - не менее 0,08 л/с на м .;

- концентрация рабочего раствора пенообразователя - К, % (1%, 3% или 6%);

- расчетное время тушения, Ц,$_{ш<}$ = 15 мин.

1.2 Расчет системы пенного тушения пожаров

1.2.1 Площадь железнодорожной сливоналивной эстакады (далее по тексту — эстакады) по внешнему контуру сооружения - $8_{ЖД}$, м^2

$$S_{,,} = L*B, \quad (1)$$

где, L- длина, м;

В — ширина, м.

1.2.2 Общий расчетный расход рабочего раствора пенообразователя - Ч?расч> Л/С:

$$Sc\ общ.расч.^{-}\ ^{\wedge}жд."\ -Iрасч., \quad (2)$$

где вад - площадь эстакады, м ;

Iрасч. - расчетная интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя, л/(м"*с).

1.2.3 Требуемое количество водопенных устройств для защиты
эстакады, шт.

$$^{\wedge}\ впу\ общ^{-} -^{\wedge}\ цист., \quad wJ$$

1.2.4 Расчетный расход рабочего раствора пенообразователя на 1-но водопенное устройство - Qsny? л/с

$$Vc\ расч.\ ВПУ\ ^{-}\ V\ общ.расч.' -^{\wedge}впу\ общ., \quad (4)$$

где Q общ.расч. - общий расчетный расход рабочего раствора пенообразователя, л/с;

N_{Bny} общ. - требуемое количество водопенных устройств для защиты эстакады, шт.

1.2.5 Фактический расход рабочего раствора пенообразователя на 1-но водопенное устройство - Q $ф_{акт}$. ВПУ, л/с, определяется с учетом характеристик водопенных устройств конкретного производителя.

1.2.6 Формирование не менее 3-х зон тушения - производится графически, исходя из следующих условий:

- при задействовании 3-х рядом расположенных зон СППад должна обеспечиваться подача низкократной пленкообразующей пены на площадь эстакады в плане не менее чем 1000 м ;

- количество защищаемых ж/д цистерн в каждой зоне СППад должно быть одинаковым. Исключения допускаются для зон, расположенных с противоположных торцов эстакады, при этом количество защищаемых ж/д цистерн в зонах, расположенных с противоположных торцов эстакады, должно быть не более чем в остальных зонах;

- каждая зона СППад, за исключением зон, расположенных с противоположных торцов эстакады, должна обеспечивать защиту не менее трех ж/д цистерн для односторонней эстакады и не менее шести для двухсторонней эстакады.

1.2.7 По результатам формирования зон тушения пожаров на всей площади эстакады устанавливается:

- общее количество зон тушения;

- количество зон тушения, предусматриваемых для одновременной работы (не менее 3-х);

- значение расчетной площади тушения S_{Pac_4}. спп жai
- количество железнодорожных цистерн $N_{цист.\ расч.}$, расположенных

На Spacn. СПП вдз

- количество водопенных устройств для подачи низкократной
пленкообразующей пены на $S_{раС4}$. спп жд - $N_{Впу\ расч(}$ шт.

$$^{впу\ расч} - N_{цист.расч.} \qquad (P)$$

- фактический расход системы пенного тушения пожаров эстакады,

Оф акт. СПП жд» Л/с

$$Р_{факт.\ СПП\ жд} = О_{факт.\ ВПУ} * {}^{ПУ\ расч.}, \qquad (6)$$

где, Q факт, ВПУ - фактический расход рабочего раствора пенообразователя на 1-но водопенное устройство;

Nsny расч. - количество водопенных устройств для подачи низкократной пленкообразующей пены на $S_{раС4}$. спп жд-

1.2.8 Фактическая интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя - 1$ф_{акт}$, л/(м *с), обеспечиваемая СПП жд:

Іфакт ч^факт. ВПУ ^впу общ.' ^жд, (')

1.2.9 Проверка соответствия фактических и требуемых условий тушения пожара.

Для обеспечения требуемых условий тушения пожара должно выполняться следующее условие:

^факт. — Ірасч, \y)

1.2.10 По результатам гидравлических расчетов, производимых в установленном порядке определяются:

- Dсух-уч.- внутренний диаметр сухотрубных участков, м;

- $L_{сух.у4}$.- протяженность сухотрубных участков, $L_{сух.у4}$., м.

1.2.11 Расчетное количество пенообразователя, $м^3$:

Vno ~ C^факт.жд * К * tfyuu. * 60 * 10 /100, (9)

где, С^факг. - фактический расход рабочего раствора пенообразователя; К - концентрация рабочего раствора пенообразователя, %; try_U,. - расчетное время тушения, мин.

1.2.12 Количество пенообразователя, требуемое для получения рабочего раствора пенообразователя, предназначенного для заполнения сухотрубных участков, $м^3$:

$$Vno(сух.уч.)^{=} (£П* D_{сух.учI} /4*L_{сухy4\text{-}i}) * К/100, \quad (10)$$

где, $D_{сух.\ учл}$ - внутренний диаметр сухотрубного участка, м;

Lcyx.yn.i— протяженность сухотрубного участка, м К - концентрация рабочего раствора пенообразователя, %.

1.2.13 200% резерв пенообразователя, м :

$$Vno_{\ рeJ.}^{=} 2 * Vno? \quad (11)$$

где, Vno - расчетное количество пенообразователя, м

1.2.14 Расчетное количество пенообразователя, хранящееся в емкостях баков-дозаторов для СПП жд , $м^3$:

$$Vno_{\ СПП\ жд} \sim" Vno + Vno\ (сух.уч.) + Vno_{\ рез_5} \quad (12)$$

где, Vno - расчетное количество пенообразователя, м ;

Vno (сух.уч.) - количество пенообразователя, требуемое для получения рабочего раствора пенообразователя, предназначенного для заполнения сухотрубных участков, $м^3$;

$Vno_{\ рез.}^{=}$ 200% резерв пенообразователя, м .

1.2.15 Фактическое количество пенообразователя, .хранящееся в емкостях баков-дозаторов СПП жд , Vno факт.* м .

Vno факт, определяется при подборе баков-дозаторов с определенными объемами емкостей для хранения концентрата пенообразователя, при этом должно выполняться условие:

Vno факт ^ Vno СПП жд

(13)

1.2.16 Запас воды, требуемый для трехкратного применения СППжд, предназначенный для хранения в резервуарах противопожарного запаса воды:

$$У_{зап.воды} = V_{п0}\ СППжд * ((100 - К)ЯС+1), \quad (14)$$

где, Vno спп жд - расчетное количество пенообразователя, хранящееся в емкостях баков-дозаторов СПП жд, $м^3$;

К - концентрация рабочего раствора пенообразователя, %.

1.2.17 Нормативный запас пенообразователя, хранящийся на территории объекта в целях восстановления расчетного количества пенообразователя и 200% резерва в СПП жд или для организации тушения пожаров с использованием передвижной пожарной техники:

$$Vno_{норм.\ зап.} \quad 3*V_{no}, \quad (15)$$

где, Vno- расчетное количество пенообразователя, $м^3$.

1.3 Пример расчета системы пенного тушения пожаров

1.3.1 Исходные данные:

- двухсторонняя эстакада, количество железнодорожных цистерн ($Ь_{Ц}ист.^{=}12$ м), размещаемых на площади эстакады - 64 шт. (по 32 шт. на каждой стороне);

- геометрические характеристики эстакады: длина L = 394 м, ширина В = 12 м;

- расчетная площадь тушения, м (не менее 1000);

расчетная интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя ($1_{раС}$ч) - 0>08 л/с на м .;

- концентрация рабочего раствора пенообразователя - К = 6%;

- расчетное время тушения, Цц,. = 15 мин.

1.3.2 Расчет системы пенного тушения пожаров

1.3.2.1 Площадь эстакады по внешнему контуру сооружения - S^, м

$$8_{ад} = L * В= 394 * 12 = 4728\ м^2 \text{ где,}$$

L- длина, м; В — ширина, м.

1.3.2.2 Общий расчетный расход рабочего раствора пенообразователя

- Чірасч? Л/С:

$$Q_{общ.расч.}^{=} \$жа. * Ірасч.^{=} 4728 * 0,08 = 378,2\ л/с$$

где Бжд.- площадь эстакады, м";

Ірасч. - расчетная интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя, л/(м^2*с).

1.3.2.3 Требуемое количество водопенных устройств для защиты эстакады, шт.

$$N_{Вшу\ общ} = N_{UНСТ.} = 64 шт.$$

1.3.2.4 Расчетный расход рабочего раствора пенообразователя на 1-но водопенное устройство — Qeny, л/с

$$Q_{расч.\ ВПУ} = Q_{общ.расч.} / N_{Впу\ 0бщ.} = 378{,}2 / 64 = 5{,}9\ л/с$$ где, Q общ.расч. - общий расчетный расход рабочего раствора пенообразователя, л/с;

Нш$_У$ общ. - требуемое количество водопенных устройств для защиты эстакады, шт.

1.3.2.5 Фактический расход рабочего раствора пенообразователя на 1-но водопенное устройство - Q ф$_{акт.}$ впу, л/с, определяется с учетом характеристик водопенных устройств конкретного производителя:

Q факт. ВПУ>= 6 л/с, при напоре 0,7 МПа. Примечание: в качестве водопенных устройств могут приниматься сертифицированные в области пожарной безопасности пожарные комбинированные насадки с возможностью регулировки угла факела пенной струи в диапазоне не менее чем от 0° до 120°, которые используются для комплектации ручных пожарных стволов или специальные водопенные устройства с регулируемой картой орошения типа ВПУ.

1.3.2.6 Формирование не менее 3-х зон тушения с охватом площади эстакады в плане не менее 1000 м производится графически (см. рисунок Ж.1).

Исходя из геометрических характеристик эстакады и количества размещаемых на ней ж/д цистерн принимается:

- общее количество зон тушения - 12;
- количество зон тушения, предусматриваемых для одновременной работы - 3;
- значение расчетной площади тушения Sp$_{aC}$4. спп зд5

1) для 3-х рядом расположенных зон расположенных с противоположных торцов эстакады -

$$Sl_{Pac4.cnn™} = 87 .12 = 1044\ м^2$$

2) для любых 3-х рядом расположенных зон в центральной части ж/д эстакады -

$$S2_{расiI.cnn>K4=n0*} 12 = 1320\ м^2$$

- количество железнодорожных цистерн N цист. расч., расположенных На S Iрасч. СПП жд-

14 цист.; $S2_{рас4}$, сппжд- 18 цист.

- количество водопенных устройств для подачи низкократной пленкообразующей пены на $S_{Рас4}$. сппжд

N1 впу расч = 14 шт., $N2_{Впу\ расч}$ = 18 шт. фактический расход системы пенного тушения пожаров сливоналивной железнодорожной эстакады, Q<i,аКТ. спп жд> л/с

Ql<l)аКТ.спп жд, = 14 * 6 = 84 л/с;

<22фвкг. спп жд> = 18*6=108 л/с.

1.3.2.7 Фактическая интенсивность подачи рабочего раствора пенообразователя - $1ф_{а1СГ}$, л/(м²*с), обеспечиваемая СПП жд:

Iфакг = Рфаісг. ВПУ * $N_{Впу\ общ}$. / S^, = 6 * 64 / 4728 = 0,081 л/(м²*с)

1.3.2.8 Проверка соответствия фактических и требуемых условий тушения пожара.

*факт. — -Iрасч,

0,081 > 0,08

1.3.2.9 По результатам гидравлических расчетов, производимых в установленном порядке определяются:

- Dсух-уч.- внутренний диаметр сухотрубных участков, м;
- $L_{СУХ.У4}$ - протяженность сухотрубных участков, $L_{сух.у4}$., м.

Ду 100 - 1000 м, Ду 200 - 500 м

1.3.2.10 Расчетное количество пенообразователя, м :

Vпо = <Зфакг.вд* К *Ц_Ш. * 60 * 10''³ / 100 = 108 * 6 * 15 * 60 * 10''³ / 100 =

= 5,83 м³ где, (^факт. - фактический расход рабочего раствора пенообразователя;

К - концентрация рабочего раствора пенообразователя, %;

tpyui. - расчетное время тушения, мин.

1.3.2.11 Количество пенообразователя, требуемое для получения рабочего раствора пенообразователя, предназначенного для заполнения сухотрубных участков, м :

Vпо(сухуч.г П* $D_{сух.\ уч}$ i²/4*$L_{сух,у4}$.i) * К/100 = (3,142 * 0,1²/4 * 1000 + 3,142 * 0,2²/4* 500)* 6/100= 1,41м³

где, $D_{сух.\ у4}$.j- внутренний диаметр сухотрубного участка, м;

Ь_сух.уч.i- протяженность сухотрубного участка, м

К - концентрация рабочего раствора пенообразователя, %.

1.3.2.12 200% резерв пенообразователя, м :

$V_{по\ рез.} = 2 * V_{по} = 2 * 5,83 = 11,66$ м

где, Vno - расчетное количество пенообразователя, м

1.3.2.13 Расчетное количество пенообразователя, хранящееся в емкостях баков-дозаторов для СГШ жд , м^3:

Vnocnn-жд = Vno + Vno(сух.у4.) + Viiope$_3$, = 5,83 + 1, 41 + 11,66 = 18,9 м^3 где,

Vno - расчетное количество пенообразователя, м^3;

Vno (сух.уч.) - количество пенообразователя, требуемое для получения рабочего раствора пенообразователя, предназначенного для заполнения сухотрубных участков, м ;

Vno рез. = 200% резерв пенообразователя, м .

1.3.2.14 Фактическое количество пенообразователя, хранящееся в емкостях баков-дозаторов СПП жд , Vno фает.> м^3.

Vno факт, определяется при подборе баков-дозаторов с определенными объемами емкостей для хранения концентрата пенообразователя. В данном примере принимаем 2 бака-дозатора типа БДП-10000 объемом 10 м^3

Vno факт > Vno СПП жд

20 > 18,9

1.3.2.15 Запас воды, требуемый для трехкратного применения СПП жд, предназначенный для хранения в резервуарах противопожарного запаса воды:

Узап.воды = Vno СПП жд * ((100 - К)/К + 1) =

= 18,9 * ((100 - 6)/б + 1) = 315 м^3

где, Vno спп жд - расчетное количество пенообразователя, хранящееся в емкостях баков-дозаторов СПП жд, м^3;

К - концентрация рабочего раствора пенообразователя, %.

1.3.2.16 Нормативный запас пенообразователя, хранящийся на территории объекта в целях восстановления расчетного количества пенообразователя и 200% резерва в СПП жд или для организации тушения пожаров с использованием передвижной пожарной техники:

Vno норм.зап. = 3 * Vno = 3 * 5,83 = 17,49 м где,

Vno - расчетное количество пенообразователя, м^3.

2 Методика расчета системы водяного охлаждения (СВО жд)

2.1 Исходные данные:

- конструктивные и геометрические характеристики эстакады: длина (L), ширина (В), м;

- условия расположения ЛС - от 15 м до 20 от ж/д эстакады (Rnc)l

- суммарный расход двух ЛС - не менее 40 л/с.
- расчетное время водяного охлаждения - не менее 4 часов.

2.2 Расчет системы водяного охлаждения (СВО жд)

2.2.1 Определение и подбор технических характеристик пожарных комбинированных лафетных стволов универсальных, производится исходя из следующих условий:

1) номинальный расход ЛС должен быть не менее 20 л/с при рабочем давлении 0,6+0,05;
2) ЛС должны приниматься одного типоразмера;
3) ЛС должны предусматриваться с комбинированными насадками, обеспечивающими регулирование угла факела струи и позиционное регулирование расхода;
4) обеспечение требуемой дальности подачи сплошной водяной струи ЛС.

2.2.2 Определение требуемой дальности подачи ЛС сплошной водяной струи $D_{Тр}е6$, м

$$D_{тре6,} = \&ЛС\ макс + В \quad (1)$$

где, RЛС макс - расстояние от места установки ЛС до эстакады, м (принимается по максимальному значению);

В - ширина производственной площадки ж/д эстакады, м.

2.2.3 Определение фактической дальности подачи сплошной струи DЛС комн., м

$$ЦлС\ комп. = Длс\ сил. * 0{,}75 \quad (2)$$

где, Блс спл. - дальность подачи сплошной водяной струи ЛС, м (определяется по данным завода изготовителя с помощью графиков Q/H -расход/напор и D/H — дальность сплошной водяной струи по крайним каплям / напор);

0,75 — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения воды по защищаемой площади при подаче ЛС сплошных струй.

2.2.4 Проверка выполнения условия 4 по п. 2.2.1

$$ОлС\ комп. > 1{,}1 * D_{тре}С, м \quad (3)$$

где, Оле комп - дальность подачи ЛС сплошной водяной струи, м;

$D_{т}$ре6, м - требуемая дальность подачи сплошной водяной струи ЛС;

1,1 — коэффициент, обеспечивающий эффективную зону охвата

защищаемой площади эстакады при подаче ЛС сплошных струй.

2.2.5 Расстановка ЛС с противоположных сторон эстакады производится графически исходя из орошения железнодорожных цистерн и каждой точки производственной площадки эстакады в плане двумя сплошными струями.

2.2.6 Обобщение данных:

- технические характеристики и общее количество ЛС;
- количество ЛС из расчета одновременной работы;
- фактический расход СВО жд, л/с;
- расчетный напор на входе ЛС;
- расчетный расход воды на охлаждение.

2.2.7 По результатам гидравлических расчетов, производимых в установленном порядке, определяются:

- $D_{сух.у4}$.- внутренний диаметр сухотрубных участков, м;
- $L_{сух}.у_4$.- протяженность сухотрубных участков, $L_{сух-у4}$., м.

2.2.8 Количество воды, необходимое для обеспечения расчетного времени охлаждения, м^3:

» вод.расч. 4fфакт.СВО жд * ч>хл * •-> >в, \Ч)

где, Офает. - фактический расход воды при работе СВО жд, л/с;

Uxn. - расчетное время водяного охлаждения, час.

2.2.9 Количество воды, требуемое для заполнения сухотрубных участков, м^3:

'вод (сух.уч.)-" ZA-I-I* ^сух. уч i '4* -Ьсух.уч.i) *(у)*

где $D_{сух}$. уч.; - внутренний диаметр сухотрубного участка, м;

Ьсух.уч.i- протяженность сухотрубного участка, м

2.2.10 Общее количество воды, необходимое для СВО жд:

» вод СВО жд ¯ V вод.расч. ' " вод (сух.уч.)? *Р)*

где, Увод.расч. - количество воды, необходимое для обеспечения расчетного времени охлаждения, м^3;

$V_{ВО}$fl (сух.уч.) - количество воды, требуемое для заполнения сухотрубных участков.

2.3 Пример расчета системы водяного охлаждения (СВО жд)

2.3.1 Исходные данные

Конструктивные и геометрические характеристики сливоналивной железнодорожной эстакады: длина (L), ширина (В), м;

- геометрические характеристики сливоналивной железнодорожной эстакады: длина L = 394 м, ширина В = 12 м;

- расположение ЛС (условно принимается, что согласно инженерно-технических сетей вокруг ж/д эстакады, расстановка лафетных стволов может производиться на расстояниях от 15 м до 20 метров от эстакады, и имеются зоны, где размещение ЛС невозможно из-за наличия технологических коммуникаций, оборудования и инженерных сетей);

- суммарный расход двух ЛС - не менее 40 л/с;

- расчетное время водяного охлаждения - 4 часа.

2.3.2 Расчет системы водяного охлаждения (СВО жд)

2.3.2.1 Определение и подбор технических характеристик пожарных комбинированных лафетных стволов универсальных:

1) ЛС принимаются с номинальным расходом 20 л/с при рабочем давлении 0,6 МПа;
2) ЛС принимаются одного типоразмера;
3) предусматривается оборудование ЛС комбинированными насадками с позиционным регулированием расхода со значениями 15, 20 и 25 л/с.

2.3.2.2 Определение требуемой дальности подачи ЛС сплошной

ВОДЯНОЙ СТруИ, D-греб, м

$$D_{Трeб,} = RjIC\ макс + В = 20 + 12 = 32\ м$$

где,

R-лс макс - расстояние от места установки ЛС до эстакады, м (принимается по максимальному значению);

В - ширина производственной площадки ж/д эстакады, м.

2.3.2.3 Определение фактической дальности подачи сплошной струи Оле факт., м:

$Оле_{фает} = О_{ЛС}$ т.д.* 0,75 = 50 *0,75 = 37,5 м где, Оле т.д. - дальность подачи сплошной водяной струи, принимаемая согласно технической документации на ЛС, м (определяется по данным завода изготовителя с помощью графиков Q/H - расход/напор и D/H -дальность сплошной водяной струи по крайним каплям / напор);

0,75 - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения воды по защищаемой площади при подаче ЛС сплошных струй.

2.3.2.4 Проверка выполнения условия 4 по п. 2.2.1

ОлС факт. — 1»1 * Отреб,

37,5 > 35,2 120

где, *DЛС* факт. ~ фактическая дальность подачи ЛС сплошной водяной струи, м;

$D_{ТреG;}$ м - требуемая дальность подачи сплошной водяной струи ЛС;

1,1 — коэффициент, обеспечивающий эффективную зону охвата защищаемой площади эстакады при подаче ЛС сплошных струй.

Примечание: при Блс комп. < 1-1 * Отреб, необходимо произвести корректировку характеристик по п. 2.3.2.1 и повторить расчеты.

2.3.2.5 Расстановка ЛС с противоположных сторон эстакады производится графическим способом, исходя из:

1) орошения железнодорожных цистерн и каждой точки площади эстакады в плане двумя сплошными струями с учетом фактической дальности подачи Олсфакт. (^{см}- рисунок Ж.2);

2) максимального расстояния расположения ЛС от ж/д эстакады.

2.3.2.6 По данным графического расположения ЛС согласно условиям п. 2.3.2.5 определяется минимальное количество ЛС для системы водяного охлаждения эстакады, N лс мин.$_{З}$ шт.

НлСмин, = 16ШТ.

2.3.2.7 Привязка полученной схемы расстановки ЛС с учетом фактических условий размещения ЛС на генплане, условий п. 2.3.2.5 и п. 2.3.2.6 (СМ. рИСуНОК Ж.3) И Определение N $_{л}$С факт.

МлСфает. = 17 ШТ.

2.3.2.8 Обобщение полученных данных:

- для оснащения СВО жд принимается 17 лафетных стволов стационарных универсальных типа ЛС - С20У, оборудованных комбинированными насадками с 3-х позиционным регулированием расхода со значениями 15, 20, 25 л/с,
- количество ЛС из расчета одновременной работы - 2 шт;
- фактический расход СВО жд - <Зф$_{а1СГ}$. свожд = 40 л/с;
- Н - напор на входе ЛС, МПа - 0,6;
- Q - фактический расход, л/с - 20.

2.3.2.9 По результатам гидравлических расчетов, производимых в установленном порядке, определяются:

- Dсух.уп.- внутренний диаметр сухотрубных участков, м - 0,1*;
- Ьсух.уч.- протяженность сухотрубных участков, $L_{суху4}$., м. - 500*.

Примечание:

*Принято условно.

2.3.2.10 Количество воды, необходимое для обеспечения расчетного времени охлаждения, м^3:

$V_{в(vi}$.рас4. ⁻ С^факт.СВО жц * *охл * 3,6 — 40 * 4 * 3,6 — 576 М

где, С2ф$_{a1СГ}$. - фактический расход воды при работе СВО жд, л/с;

*охл." расчетное время водяного охлаждения, час.

2.3.2.11 Количество воды, требуемое для заполнения сухотрубных участков, м :

Увоя (сух.$_{у}$ч.)⁼ Е(П* $D_{сух.у4i}$ /4*$L_{сух.у4}$.i)= 3,142 * 0,1 */ 4 * 500 = 3,93 м где, $D_{сух}$. уч.; - внутренний диаметр сухотрубного участка, м; $\frac{Ь}{су}$ $\frac{х.уч.i-}{}$ протяженность сухотрубного участка, м 2.3.2.12 Общее количество воды, необходимое для СВО жд:

$V_{ВОfiСВОayi}$ ⁼ ^$_{вод}$.$р_{асч}$. + $У_{вод}$(сух.уч.) ⁼ 576 + 3,93 = 580 М ГДЄ, Увод.расч. "

КОЛИЧЄСТВО ВОДЫ, Необходимое ДЛЯ обеСПЄЧЄНИЯ расчетного времени охлаждения, м^3;

Vвод (сух.уч.) - количество воды, требуемое для заполнения сухотрубных участков.

5.12. Требования к проектированию установок пожаротушения на сливоналивных эстакадах

Площадки сливоналивных эстакад должны оборудоваться стационарными системами тушения пожара.

За расчетный расход воды на пожаротушение и охлаждение железнодорожных цистерн, сливоналивных устройств и эстакад принимается равным площади эстакады по внешнему контуру сооружения, включая железнодорожный путь (пути), но не более 1000 м^2.

Общий расход воды на охлаждение лафетными стволами железнодорожных цистерн, сливоналивных устройств на эстакадах следует

принимать из расчета одновременной работы двух лафетных стволов, но не менее 40 л/с.

Число и расположение лафетных стволов следует определять из условия орошения железнодорожных цистерн и каждой точки двумя компактными струями, при этом диаметр насадков лафетных стволов необходимо принимать не менее 28 мм.

Лафетные стволы следует устанавливать на расстоянии не менее 15 м от железнодорожных путей эстакады.

Сливоналивные эстакады должны быть оборудованы пожарной сигнализацией с ручными пожарными извещателями.

Ручные извещатели пожарной сигнализации следует устанавливать у торцов эстакады и по ее длине не реже чем через 100 м, но не менее двух, у лестниц для обслуживания эстакад.

5.13. Тушение пожаров на причальных сооружениях. Общие требования к системам противопожарной защиты причальных комплексов

Причальные комплексы включают в себя:

технологическую площадку причала с размещенными на ней перегрузочным оборудованием, в том числе шлангующими устройствами, грузовыми и бункеровочными трубопроводами;

сооружения с размещенные в них служебными помещения, швартовыми и отбойными устройства.

При проектировании причальных комплексов перегрузки нефти и нефтепродуктов следует предусматривать устройство системы автоматической противопожарной защиты, обеспечивающей тушение пожара на технологической площадке причального комплекса и охлаждение конструкций перегрузочного оборудования созданием водяной завесы.

При проектировании систем автоматической противопожарной защиты причального комплекса в расчет принимается один пожар, независимо от количества причалов и одновременно обрабатываемых танкеров. При обслуживании систем автоматической противопожарной защиты причального комплекса и терминала принимается два пожара -один на танкере и второй на терминале, если он относится к I или II категории склада хранения нефти и нефтепродуктов.

Система автоматической противопожарной защиты причального комплекса является составной частью погрзочно-разгрузочного терминала. Управление данной системой должно осуществляться с центрального поста диспетчерской причальных комплексов.

Проектирование систем автоматической противопожарной защиты зданий и сооружений, кроме технологической площадки, причального комплекса выполняется в соответствии с требованиями глав и разделов СНиП 2.04.02-84* , НПБ 88-2001* и настоящего документа.

5.14. Требования к системе автоматического пожаротушения пеной низкой кратности причального комплекса

Система автоматического пожаротушения пеной низкой кратности причального комплекса должна обеспечивать тушение расчетного пожара на технологической площадке или танкере по наибольшему требуемому на тушение расходу.

В качестве основного средства тушения пожара должна предусматриваться пена низкой кратности с использованием пенообразователя на морской или пресной воде.

На технологической площадке причала необходимо предусматривать установку стационарных лафетных стволов (мониторов), обеспечивающих

подачу пены низкой кратности на всю площадь технологической площадки, но не менее, чем 500 м^2.

Установка пенного пожаротушения должна обеспечивать подачу раствора пенообразователя с интенсивностью не менее 0,08 л/с на м .

По контуру технологической площадки, не сокращая пожарных проездов, должны устанавливаться бортики ограждения высотой не менее 0,4 м для создания минимального слоя пены.

Лафетные стволы должны устанавливаться, из условия орошения стендеров, продуктовые трубопроводы и другие технологические сооружений двумя компактными струями, при этом диаметр насадков лафетных стволов необходимо принимать не менее 28 мм.

Процентное содержание пенообразователя в растворе устанавливается в зависимости от вида пенообразователя и применяемой воды. С целью повышения устойчивости пены низкой кратности от влияния на нее морской воды, концентрацию пенообразователя в растворе необходимо принимать не менее 10 %.

При проектировании водяной завесы расчетную длину линии водяной завесы следует принимать равной длине выступающей части причала технологической площадки плюс 10 м в обе стороны, или длине цилиндрической вставки расчетного танкера при сплошной причальной стенке.

При проектировании линии водяной завесы расстояние между оросителями (насадками) следует принимать не более 0.5 м.

5.15. Требования по обеспечению пожарной безопасности причального комплекса и танкера, находящегося у причала

Для предотвращения при аварии проливов нефти и нефтепродуктов на технологическую площадку, а также отсоединения стендерных устройств от приемных патрубков танкера, технологические трубопроводы

и стендеры должны быть оборудованы быстро закрывающимися клапанами,, а также устройствами защиты от гидравлических ударов.

На причальных сооружениях, у которых обрабатываются танкеры грузоподъемностью 45.000 тонн и более, следует предусматривать, взамен швартовых тумб, швартовые устройства быстро отдающегося типа (откидные гаки) для обеспечения возможности быстрого отвода танкера при возникновении пожара на нем или на причале.

Быстро отдающиеся швартовые устройства должны быть сблокированы с положением отсекающих задвижек на технологических трубопроводах и стендеров, отсоединенных от приемных патрубков танкера.

В случае необходимого экстренного сброса швартовых концов танкера во время подачи на танкер нефти и нефтепродукта и присоединенных к нему стендорных устройств, действие быстро отдающихся устройств выполняются по установленной программе: закрытие задвижек, отсоединение и отвод стендеров, а затем - отдача швартовых.

5.16. Общие требования к системам тушения пожаров на объектах слива-налива.

Основным огнетушащим средством для тушения пожаров на причальных комплексах является пена низкой кратности с использованием пенообразователя, предназначенного для получения пены на морской или пресной воде.

Система автоматического пожаротушения пеной низкой кратности причального комплекса должна включать в себя:

систему хранения и дозирования пенообразователя;

растворопроводы, с устанавливаемыми на них гидрантами или распределительными гребенками;

противопожарный водопровод, с установленными на нем пожарными гидрантами и распределительными гребенками;

узлы управления системой пожаротушения и подачей воды на создание водяной завесы;

водяную завесу причального комплекса с оросителями;

систему автоматического обнаружения пожара и автоматического запуска установок пожаротушения.

Специальное оборудование и пенообразователь, применяемые в автоматической системе тушения пожара на причальном комплексе, должны соответствовать спецификации проекта и сопровождаться документацией, удостоверяющей их качество.

Основными техническими параметрами автоматической установки пожаротушения на причальном комплексе являются:

Характеристика защищаемого объекта:

геометрические размеры защищаемого объекта;

геометрические размеры технологической площадки;

геометрические размеры условного судна;

наличие людей и пути их эвакуации;

Параметры системы образования и подачи огнетушащего средства;

расчетная и фактическая интенсивность подачи раствора пенообразователя;

расход раствора пенообразователя для тушения пожара на технологической площадке;

производительность лафетных стволов;

общее количество лафетных стволов;

запас пенообразователя;

расстояние и расположение лафетных стволов на технологической площадке.

Расчет средств тушения пожара разлившихся на поверхности нефти и нефтепродуктов пеной низкой кратности

Исходные данные для проведения расчета:
площадь технологической площадки (Бтех.пл.);
длина водяной завесы (Ьзавесы);
площадь наибольшего, танка в расчетном танкере (8танкера);
вид перерабатываемого груза;
тип пеногенерирующих устройств;
расход раствора пенообразователя одним монитором ($q_м$).
Определяем расчетную площадь очага пожара:
Расчетная площадь тушения пожара определяется путем сравнения
площадей: технологической площадки и нормативной площади.
Интенсивность подачи раствора пенообразователя на тушение пожара - $1_{тр}$.
на технологической площадке принимается равной 0,08 л/с;
Нормативная площадь пожара на технологической площадке должна быть не менее 500 $м^2$.
Определяем требуемый расход раствора пенообразователя для тушения пожара на технологической площадке по уравнению

С>тех.пл.= 8тех.плЛ$_{тр}$., л/с (1)

где: $1_{тр}$. - нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя на тушение танкера принимается равным 0,1 л/с;
Определяем требуемый расход раствора пенообразователя на тушение пожара на танкере по уравнению

С)танкера= Зтанкера-Гф., л/с (2)

Исходя из расчетного расхода, определяем количество пеногенерирующих устройств - мониторов

$$NM=Qpac/q_M , \quad (3)$$

Полученное в расчетах количество пеногенерирующих устройств
округляется до целого числа в большую сторону.
Определяем запас пенообразователя, необходимый для тушения пожара

$$W_no^{=} Nrnc\text{-}qrnc\text{-}трас, л \quad (4)$$

где: трас - расчетное время тушения пожара, равное 10 мин.
Определяем запас пенообразователя с учетом трехкратного тушения
пожара

$$Wno=3\text{-}W_{no}\text{-}\ 1{,}1\text{-}10\text{-}3, т \quad (5)$$

где: 1,1 — относительная плотность пенообразователя.
Определяем требуемый расход воды на приготовление расчетного расхода раствора пенообразователя

$$Q_В = N_М\text{-}\ q_М\text{-}\ спо, л/с \quad (6)$$

где: спо- содержание воды в растворе пенообразователя. Подбор насосов в насосную станцию пожаротушения на технологической площадке производится исходя из расчетов напоров для самой удаленной точки на причале.

Расчет водяной завесы на причале Исходные
данные для расчета водяной завесы:
1. Расчетная длина водяной завесы, принимается исходя из длины расчетного танкера плюс 10 м в обе стороны.

Высота порожнего расчетного танкера, принимается по данным служб порта.

Напор рабочего водяного насоса в насосной станции пожаротушения.

Определяем диаметр спрыска насадка.

Диаметр спрыска насадка определяется методом подбора, исходя из

минимальной потребной высоты сплошной завесы, которая должна превышать высоту палубы порожнего танкера на 3 м, по уравнению:

$$S_В = Н_{спр} - (I + ф_{спр} - Н_{спр})-1 , м \quad (7)$$

где: $S_В$ - высота вертикальной струи, м;

Нспр - напор воды у спрыска, м.вод.ст.

фспр — коэффициент, определяемый в зависимости от диаметра спрыска с насадкой, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр спрыска, мм	Максимальная высота струи для спрыска, м	Минимальный напор, обеспечивающий максимальную струю с насадкой,	Величина коэффициента расхода воды, л/с Ви	Коэффициент ф, зависящий от диаметра спрыска с насадкой
3	6.7	15.0	0.000981	0.0825
4	8.6	18.0	0.00310	0.615
5	10.8	23.0	0.00756	0.487

Определяем необходимую высоту завесы.

Необходимая высота водяной завесы принимается равной сумме высоты палубы порожнего танкера и нормативной высоты струи от высоты палубы (3м).

Производим расчеты по уравнению (7)

Определяем расход воды из спрыска с насадкой по уравнению

qcnp = v(B и • H спр) , л/с **(8)**

Расход воды определяется в зависимости от распределительного трубопровода

5.17. Расчет огнетушащих средств на сливоналивных эстакадах

На основании СНиП 2.11.03-93 исходными данными для тушения пожара на сливоналивной эстакаде являются:

расчетная площадь пожара на железнодорожной эстакаде;

интенсивность подачи пены низкой кратности на тушение разлившейся нефти или нефтепродукта;

расход воды на охлаждение железнодорожных цистерн;

вид нефтепродукта, находящийся в железнодорожных цистернах.

На основании п. 8.10 СНиП 2.11.03-93 расчетная площадь пожара на железнодорожной эстакаде принимается равной площади эстакады по внешнему контуру сооружений, включая железнодорожный путь (пути), но не более 1000 мі.

Общий расход воды на охлаждение железнодорожных цистерн принимается равным принимать из расчета одновременной работы двух лафетных стволов (мониторов), но не менее 40 л-с-1.

Время тушения пожара принимается 10 мин.

Определяем требуемый расход огнетушащих средств на тушение разлившегося нефтепродукта по уравнению

$$Q_{ТР} = Sir\ Iтр, \quad (9)$$

Определяем расчетное количество пеногенерирующих средств на тушение пожара

$$NTp=QTp/qM, \quad (10)$$

Полученное расчетное количество устройств округляется до целого числа в большую сторону.

Определяем фактический расход раствора пенообразователя на тушение пожара

$$C\$=NM-qM \quad (11)$$

Определяем расход воды для получения раствора пенообразователя

$$QB=NM-qM-cB \quad (12)$$

Определяем запас пенообразователя для тушения пожара в расчетное время

$$W_{n}o^{=} NM-qM-смтгуш \quad (13)$$

Определяем общий расход воды для ликвидации пожара

$$QB= C>охл+ NM-qM-cB \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

1. Выявлены основные закономерности процесса тушения пламени нефтепродуктов пленкообразующими составами, которые позволяют установить влияние на показатели огнетушащей и пленкообразующей эффективности таких параметров, как поверхностная активность растворов, коэффициент растекания, предельная мицеллярная растворимость горючего в растворе пенообразователя, пороговая концентрация фторированного компонента состава пенообразователя,

2. Исследованы коллоидно-химические свойства использованных поверхностно-активных веществ. Выявлено, что скорость растекания водной пленки увеличивается с увеличением коэффициента растекания и снижением отрицательности электрокинетического потенциала в системе водная пленка-углеводород.

3. Предложены полуэмпирические соотношения, позволяющие учесть долю поверхности горючего, покрытую водной пленкой в процедуре тушения. Сопоставление результатов экспериментов с расчетом свидетельствует об их удовлетворительном совпадении. Определение основных параметров тушения с учетом водной пленки позволяет снизить удельные затраты пенообразователя на 15...20 %.

4. Применение пленкообразующей пены для тушения пожаров углеводородных топлив, позволяет снизить удельные затраты пенообразователя на 20...40 % и сократить время тушения «мониторной» системой пожаротушения объектов сливо-наливных операций резервуарного парка на 25…50 %. Предложены расчетные соотношения, позволяющие оценить основные параметры тушения углеводорода пеной образующей водную пленку.

5. Показано, что наиболее перспективным огнетушащим средством тушения пожаров на объектах технологического процесса слива-налива нефтепродуктов является фтор синтетическая пленкообразующая пена низкой кратности и найдены пути повышения ее огнетушащей эффективности за счет увеличения степени дисперсности и однородности структуры, при одновременном понижении кратности пены до оптимальных значений от 3 до 5.

6. Определены пути технического осуществления системы тушения пожаров на объектах технологического процесса слива-налива нефтепродуктов с использованием имеющейся на вооружении пожарной

охраны пожарной техники и приспособлений стационарных установок пенного пожаротушения.

7. Полученные результаты использованы при составлении раздела ведомственного нормативного документа, регламентирующего противопожарную защиту объектов резервуарного парка низкократной пленкообразующей пеной.

Список литературы

1. «Пожарная безопасность» Научно-технический журнал под редакцией Н.В. Бородина. №1 от 28.02.2000 -М.:ВНИИПО МВД России.

2. «Пожарная безопасность» Научно-технический журнал под редакцией Н.В. Бородина. №4 от 28.11.2000 -М.гВНИИПО МВД России.

3. Панков Ю.И. Перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи, транспортировки нефти и газа// Состояние и перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи, транспортировки, переработки нефти и газа: Материалы Всероссийского совещания-семинара. - Альметьевск Республика Татарстан, 1997. - С.3-5

4. Статистические данные о пожарах в Российской Федерации за 1995 - 1999 г.г./ Под редакцией Е.А. Серебренникова, А.В. Матюшина. -М.:ФГУ ВНИИПО МВД России, 2000. - 44 с.

5. Пожары и пожарная безопасность в 1999 году: Статистический сборник под общей редакцией Е. А. Серебренникова, А. В. Матюшина. -М.: ВНИИПО МВД России, 2000, - 270 с.:ил.

6. И.Ф Безродный, А.Н.Гилетич, В.А. Меркулов, В.П. Молчанов, А.Н.Швырков «Тушение нефти и нефтепродуктов». Пособие М.-1996-С

7. Молчанов В.П. О состоянии пожарной безопасности в Российской Федерации и мерах, принимаемых по ее стабилизации // Состояние и перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи,

транспортировки, переработки нефти и газа: Материалы Всероссийского совещания-семинара. - Альметьевск Республика Татарстан, 1997. - С.5-12

8. Необходимое количество пожарных подразделений для ограничения дальнейшего распространения пожара нефтепродуктов. Brigades resources stretched to limit after lightning strikes // Fire .-1994.-87, 4071 .-С. 3-4.

9. Случай на нефтеперерабатывающем заводе. Accident of refinery.

Declenchemenf de P.P.I etde plan roude. La Mede, 9 novembere 1992/

Cavallin, Farisse, Bel loncle, Bourril Ion, Monet, Harroue //Sapeur pompier. -1993. Vol 104, № 839. - P. 28 - 33. - Фр.

10. Семь часов огня на нефтеочистительном заводе. Seven - hour bleze at refinery //Fire Int.- 1992. - 16, № 133. - P. 8. - Англ.

11. Взрыв и пожар на складе горючего. Saint-Herblain en einfer /Dosne R.// Face risque. - 1992. - № 279. - P. 49 - 53. - Фр.

12. Пожар резервуарного парка в Денвере. Tank farm fire at Denver /Isner M.S.// Fire Fight. Can.. - 1991. Vol 35, № 9. - P. 22. - Англ.

13. Пожар на нефтеперекачивающей станции. Spectacular fireball during major blaze at refinery //Fire .-1989 .-82 ,» 1010 .-С. 18 .

14. Уроки катастрофического пожара на нефтеочистительном заводе в Индии. Lessons from fatal fire at Indian refinery /Das A. K //Fire Int .—1989 .—> 116.—С 17—63.

15. Corbo L. Raffineriebrand in Stalien // Brand aus. - 1986. - Vol. 90, № 1.- P. 392-394.

16. Пожар на складе нефтяных продуктов. The Patchogue Oil Terminal Fire C a sill Patrick A., Valenzano Peter. «WNYF», 1987, 48, № 2, 2—7, 22 (англ.)

17. Бесчастнов М.В. Основные концепции оценки уровня взрывоопасное™ и обеспечения противопожарной защиты химических производств // Безопасность труда в промышленности. — М., 1987. - №6. - С. 40-46.

18. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В., Процессы горения /учебное пособие под ред проф. Абдурагимова И.М. М: 1984. 268с.

19. Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашпоров Л.Я. Основные характеристики горения. М.. «Химия», 1977.

20. Научно-технический прогресс в пожарной охране / Под ред. Д.И.Юрченко: Сб. науч. тр. - М.: Стройиздат, 1987. - 384 с.

21. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. -М.: Знак, 2000.

22. Parsons P.L. Foam tests on petrol tray fires // "Fire Eng. J." - 1982, 42, № 125, 32 p.

23. Comparative tests on liquid fuel fires // Fire International, 1968, September, № 121, p. 65-79.

24. Тушение пожаров в нефтеналивных резервуарах // "Sank! Mon", 1977, №298, p. 43-62.

25. Петров И.И., Реутт В.Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. -М.: Минкомунхоз, 1961. - 143 с.

26. Безродный И.Ф., Баратов А.Н., Реутт В.Ч. Обобщенная формула для времени тушения пеной // Пожаротушение: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1984. - С. 18-23.

27. Шароварников А.Ф., Теплов Г.С. Анализ основных соотношений в теории тушения пламени // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. - С. 111-120.

28. Л.Л Богданов. Механизм огнегасящего действия пены. «Пожарная техника», №5, Издательство МКХ РСФСР, 1938.

29. Абрамзон А.А. Макрокинетичские аспекты теории устойчивости пен. // Пены, их получение и применение: Тез. Докл. II Всес. Конференции. -Шебекино, 1979, с. 8.

30. В.П. Лосев и М.В. Казаков. О механизме тушащего действия пен при горении нефтепродуктов в резервуарах. Информ. Сборник ЦНИИПО, М., Изд-во МКХ, 1958.

31. Условия, нарушающие процесс выгорания жидкостей: Отчет о НИР / ЭНиН АН СССР; Руководитель Худяков Г.Н. - М., 1951. - 117 с.

32. Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. -М.: АН СССР, 1961. - 208 с.

33. Fruit of four years labour // Fire, 1987. - V 79, N 947, p. 48. 40/2.

34. Addition to foam rauge // Fire Serv. - 1986, V 15, N 6, p. 49. 39/2.

35. Кучер В.М., Меркулов В.А., В.В. Жуков О стойкости воздушно-механической пены на поверхности углеводородных жидкостей / Тезисы докладов 5 всесоюзной научно- практической конференции М.: 1977 с. 156.

36. Fiala R. Versuchsbedingungen und Mebergebnisse der Loshversuche an Brandwannen // VFDB-Zeitschrift., 1974, V 33, N 3, p. 95-100 81/m.

37. Oke J.L., Antony R.R., Stevens A.B/, Lindsay C.H/ Fire Extinguishants: their history, properties and use // ICAO Dull., 1981., V36, N 10, p. 16-21 172/3-1.

38. Comparative tests on liquid fuel fires // Fire Int. 1980, V6, N 68, p. 65-79 96/3-1.

39. Klunik C.H. Has. AFFF agent come of age? // Hydrocarbon Process, 1977, V56,N 9, p. 293-300 134/3-1.

40. Foam thoughts from the USA // Fire, 1987, V79, N 983, p. 35 94/3-2.

41. Advance in foam technology // Fire Surv. 1981, V10, N 1, p. 61 100/3-1.

42. Накакуки А. Историческое изучение вопросов тушения пожаров в нефтяных резервуарах, оборудованных системой подачи под слой // Хайкан гидзюцу кэнкю кекайси. - 1981. - V - № 21. - № 2. - С. 73-77.

43. Woodman A.L. Richter H.P. Addicoff A. Gordon A.S. AFFF spreading Propertiesat Elevated temperatures // Fire Technol., 1978, V14, N 4, p. 26, 5-272 121/3-1.

44. Пат. 1566724 (Великобритания), МКИ[3] А 62 Д 1/00. Композиции для тушения пожаров.

45. А.с. 1180015 (СССР). Пенообразователь для тушения пожаров / Билкун Д.Г., Казаков М.В., Моисеенко В.М. и др. // Открытия. Изобретения. - 1985. - № 35.

46. Пат. 53-22400 (Япония), МКИ[3] А 62 Д 1/00. Водный пенообразователь огнетушащий.

47. Widetschec O.Light Water als Loschmittel // Osterr. Feuer wehr, 1977, V31,N8,p. 158-160 125/3-1.

48. Казаков М.В., Шароварников А.Ф., Горкуненко В.И., Карпов В.И. Поверхностно-активные вещества - пенообразователи для тушения пожаров: Тезисы 7-го Международного конгресса по поверхностно-активным веществам. - М., 1976. - С. 101.

49. Jho C.Spreadig of Aqueous solutions of a Mixture of Flouro and hidrocarbon surfactans on liquid hidrocarbon substractes // J/Colloid interface sci, 1987, VI17, N1, p. 138-148.

50. Шароварников А.Ф., Теплов Г.С. Разработка и испытание универсального пенообразователя для тушения пожаров. // Теоретические и йссперимснтальные основы пожаротушения. Сб.науч.тр. - М.: ВНИИПО МВД России, 1992. -С. 63-74.

51. Пат. 523141 (Испания), МКИ[3] А 62 Д 1/08. Промышленное получение огнетушащего средства.

52. Воевода С.С, Хинг В.В., Степанов В.Н. Огнетушащие составы для подслойного-тушения нефтепродуктов // Организация тушения пожаров и аварийно-спасательных работ: Сб. науч. Тр. - М.: ВИПТШ МВД России, 1990.-с 135-139.

53. Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р-50588.93 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и метода испытаний. / Изд. стандартов, - М:, 1993

54. Физико-химические свойства смесей фторированных и углеводородных ПАВ / Билкун Д.Г. Казаков М.В., Моисеенко М.В., и др. // Пожаротушение: Сб. науч. тр. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1981. - С. 28 - 31.

55. Молчанов В. П., Шароварников С.А.. Закономерности тушения пожаров в резервуарах подслойной системой. Материалы четвертой международной конференции "Информатизация систем безопасности" -ИСБ-95 Международных форумов информатизации и " Технологии безопасности-95".Москва, 17 ноября 1995г. - М.: ВИПТШ МВД России, 1995. 243 с.

56. Грашичев Н.К. Закономерности тушения нефтепродуктов подачей пены в слой горючего: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидат технических наук - М.: ВИПТШ МВД России, 1991. - 21 с.

57. Зеленкин В.М. Пенообразующие свойства анионных и катионных поверхностно-активных веществ // Средства и способы пожаротушения: Сб. науч. тр. - М: ВНИИПО МВД СССР, 1981. - С. 28 31.

58. Шароварников А.Ф. Углов А.В. Коллоидно-химические свойства водных растворов перспективных фторуглеродных поверхностно-активных веществ. / Труды Всероссийского семинара по коллоидной химии и физико-химической механике пищевых и биоактивных дисперсных систем (1991-92гг.) под ред. д.х.н., профессора Бабака В.Г. М., «Наука» 1993. с. 171.

59. Шароварников А.Ф. Углов А.В. Коллоидно-химические свойства водных растворов смесей поверхностно-активных веществ. / Труды Всероссийского семинара по коллоидной химии и физико-химической механике пищевых и биоактивных дисперсных систем (1991-92гг.) под ред. д.х.н., профессора Бабака В.Г. М., «Наука» 1993. с. 180.

60. Nicolson P.C., Artman D.D., A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics. « Fire Technology», 1977, 13, №1, 13-20 (англ.)

61. Оотоси С. Особые свойства смеси фторированных анионных и катионных ПАВ // Асаки гарасу кэнкю хококу. 1982. - 32, № 2.-е. 129 -139.

62. Огино К. Свойства бинарных смесей ПАВ // Юкагаку. 1985. —34, №7.-С. 568-575.

63. Новое в технологии соединений фтора: Пер. с яп. / Под ред. Исикавы Н. - М.: ИНЭОС АН СССР, 1983. - 225 с.

64. Briggs A.A. Interaction of fire fighting foams with burning jhidrocarbons // Ind. Appl. Surfactants: Proc. Sump. Salfbrd, 15th - 17th Apr-1986,London-1987,P.90-101 36/4.

65. Билкун Д.Г., Казаков М.В., Моисеенко В.М., Пешков В.В. Огнетушащие свойства пен низкой и средней кратности из пенообразователей различных типов.// Пожаротушение. Сб.науч.тр. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1984.-С. 10-15.

66. Бычков А. И., Гришин В. В., Аксенов В.П., Росляков В. И.//Теоретические и экспериментальные вопросы автоматического пожаротушения. Сборник научных трудов. - М.: ВНИИПО МВД СССР, 1987.-С. 32-43.

67. La notion de taux d'application pour l'emploi de la mousse contre les teux de liquides inflammables // Rev. Tech. feu., - 1979, Vol. 20, № 185, P. 52-54200/3-1.

68. Влияние способа подачи пены на огнетушащую способность пены средней кратности / Кучер В.М., Козлов В.А., Меркулов В.А., Жуков В.В. // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения :Сб. науч. тр. -М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983, - Вып. 4. - С. 49-50.

69. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. - М.: Химия, 1983. - 264 с.

70. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами / Молчанов В.П., Сучков В.П., Безродный И.Ф.: Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья М.: ЦНИИТЭ нефтехим, 1992, стр. 97

71. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы). - М.: Химия, 19082, 400 с.

72. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. - Л.: Химия, 1974. -С. 352.

73. Абрамзон А.А. - Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1981. - 304 с, ил.

74. Коллоиды. Болгария, 1970. пер. с болг. Под ред. проф. Д.А. Фридрихсберга. Л., «Химия», 1975.

75. Поверхностно-активные вещества: Справочник / Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. и др.//Под ред. А.А. Абрамзона и Г.М. Гаевого. Л.: Химия, 1979.-376 с.

76. Хмельницкий Р.А.- Физическая и коллоидная химия. Учеб. для с-х. спец. вузов. - М., Высш. шк., 1988. - 400 с: ил. ISBN 5-06 001257-3

77. Балезин С.А., Ерофеев Б.В., Подобаев Н.И. - Основы физической и коллоидной химии. Учеб. пособ. для студентов биол.-хим. фак. пед. инс-ов. М., «Просвещение», 1975.

78. Мещеряков М.А., Фролов Ю.Г., Банников В.С. - Краевые углы на плоской поверхности частично покрытой ковалентно привитым монослоем. // Коллоид, журн., 1986, том XLVIII, выпуск 5, с. 1024.

79. Самыгин В.Д. - К термодинамике прилипания пузырьков и капель при наличии пленки. // Коллоид, журн., 1982, том XLIV, выпуск 6, с. 1193.

80. Товбин. М.В., Скоробагатько Е.П., Будераская Г.Г., Савчук Л.В., Николаец Е.Н. - Теплота смачивания водой гидрофобных участков поверхности. // Коллоид, журн., 1982, том XLIV, выпуск 6, с. 1199.

81. Магунов А.Н. - Смачивание слабонеоднородной твердой поверхности //Коллоид, журн., 1989, том LI, выпуск 1, с. 163.

82. Мусабеков К.Б, Омарова К.И., Изимов А.И., Сумм Б.Д. - Влияние синтетических дифильных полиэлектролитов на смачивание кварца. // Коллоид, журн., 1981, том XIЛЇЇ, выпуск 5, с. 989.

83. Вавкушевский А.А, Арсланов В.В., Огарев В.А. - Растекание капель полимеров по гладким твердым поверхностям. // Коллоид, журн., 1984, том XLVI, выпуск 6, с. 1076.

84. Калинин В.В., Старов В.М. - Вязкое растекание капельпо смоченной поверхности // Коллоид, журн., 1986, том XLVIII, выпуск 5, с. 907.

85. Дерягин Б.В., Старов В.М., Чураев Н.В. - О давлении на периметре смачивания //Коллоид, журн., 1982, том XLIV, выпуск 5, с. 871.

86. Самсонов В.М., Щербаков Л.М. - Термодинамические Характеристики периметра смачивания уравнения баланса. // Коллоид. журн., 1985, том XLVII, выпуск 4, с. 729.

87. Самсонов В.М., Щербаков Л.М., Баукин О.Н. - Движение периметра смачивания и кинетика ограниченного растекания малой капли по гладкой поверхности // Коллоид, журн., 1988, том L, выпуск 5, с. 925.

88. Калинин В.В., Старов В.М. - Растекание капель жидкости с учетом действия поверхностных сил. // Коллоид, журн., 1988, том L, выпуск 1, с. 25.

89. А.И. Русанов. - Фазовые равновесия и поверхностные явления, «Химия», Л., 1967.

90. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. - Физико-химические основы смачивания и растекания. М., Химия, 1976. 232 с.

91. А.А. Лопаткин - Теоретические основы физической адсорбции М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 344 с. с ил.

92. П.М. Кругляков., Ю.В. - Ровин Физико-химия Черных углеводородных пленок М., «Наука», 1978, стр. 183.

93 80. Дерягин Б.В., Чураев Н.В, - Новые свойства жидкостей. Издательство «Наука», 1971 г., стр. 1.76.

94 81. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. - Адгезия. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 244 с.

95. Дерягин Б.В. Ответ на письмо Липатова Ю.С. «К вопросу о теориях адгезии». // Коллоид, журн., 1986, том XLVIII, выпуск 4, с. 841.

96. Зимон А.Д. - Адгезия жидкости и смачивание. М., Химия, 1974. 412с.

97. Кротов В.В., Русанов А.И. - К гидродинамике испаряющихся пенных пленок // ДАН СССР. - М.: Химия, 1982, 264 (2). - С. 355-359.

98. А.И. Русанов - К теории смачивания упругодеформируемых тел. Детализация условий равновесия при наличии гравитационного поля. // Коллоид, журн., 1975, том XXXVII, выпуск 4, с. 704.

99. Сумм Б.Д., Чадов А.В., Рауд Э.А., Горюнов Ю.В. - Закономерности растекания жидкостей на поверхности твердых тел. // Коллоид, журн., 1980, томXLII, выпуск 5, с. 1010.

100. Горюнов Ю.В., Рауд Э.А., Сумм Б.Д., Чадов А.В., - Влияние поперечных микроканавок на прцесс растекания жидкости по поверхности твердых тел. // Коллоид, журн., 1985, томXLVII, выпуск 4, с. 787.

101. Низовцев В.В., Нетесова Н.П. - Капиллярная конвекция при растекании и испарении капли раствора поверхностно-инактивного вещества// Коллоид, журн., 1985, том XLVII, выпуск 6, с. 1196.

102. Marmur A. //Adv. Colloid Interface Sci. 1983. V.19. P75.

103. Салем Р.Р., Шароварников А.Ф. // Термодинамика химических, фазовых и электрохимических равновесий. - М.: Знак, 1999. - 393 с.

104. Равич-Щербо М.И., Новиков В.В. //Физическая и коллоидная химия. Уч. для мед. ин-тов. «Высш. школа», 1975, 255с. с ил.

105. Фрумкин А.Н., Иоффа З.А., Герович М.А. К вопросу о разности потенциалов на границе «вода-газ» // Журн. физ. хим. - 1956..- Т. 30. - с. 1455-1462.

106. Шароварников А.Ф. Электрокинетические свойства пены и модельных пенных пленок // Тезисы 8-й Всесоюз. Конф. По коллоидной химии и физико-химической механике. - Ташкент, 1983. - С. 18.

107. Шароварников А.Ф, Цап В.Н. Электрокинетический перенос жидкости в пенах // Коллоид, журн., 1982, том 44, выпуск 4, с. 757.

108. Шароварников А.Ф. Электрокинетические свойства пены // Коллоид, журн., 1984, том 45, выпуск 1, с. 97.

109. Шароварников А.Ф. Электроосмос в модельных пенных пленках // Коллоид, журн., 1984, том 45, выпуск 1, с. 191

ПО. Тураева М.С., Пасечный А.П., Лялин О.О, Скачок электрокинетического потенциала на границе «раствор-воздух» и методы его измерения // Труды по агрономической физике. - 1969. Вып.24. - с.84.

111. Григоров О.Н., Козьмина З.П., Маркович А.В., Фридрисберг Д.А., // Электрокинетические свойства капиллярных систем. - М. - Л.: Изд. АН СССР, 1956.-с.189.

112. Huddleston R.W., Smith A.L. Electric charge at the air - solution interface. - Intern. Confer. Soc. Of Chemical Industry, 8-10 Brunei University, 1975, Preprint, p. 147.

113. Huddleston R.W., Smith A.L. Electric charge at the air - solution interface. - Foams. Ed. Akers R.I. 1976, London, p. 163.

114. Фролов Ю.Г. курс коллоидной химии (поверхностные явления и дисперсные системы). -М.: Химия, 1982. - 400 с.

115. Григоров О.Н. Электрокинетические явления Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 197 с.

116. Духин С.С. Электроповерхностные явления и граничный слой // Поверхностные силы в тонких пленках и устойчивость коллоидов. - М.: Наука, 1974.

117. Дерягин Б.В., Шукакидзе Н.Д. Зависимость флотируемости антимонита от величины дзета-потенциала. - Докл. АН СССР, 1960, т. 134 с. 376-379.

118. Scheludko V. Uber das Ausflieben der Losungaus Schaum - filmen. - Kolloid Zeltschrift. 1975, v, 155, N.15, p. 39.

119. Бибик Е.Е., Кожевникова Н.М., Малов В.А.; Под ред. В.И. Баоановой // Расчеты и задачи по коллоидной химии - М.: Высш. шк., 1989.-288с; ил.

120. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. Пер. с англ. Под ред. к.т.н. Э.К. Лецкого М.: «Мир» 1980.

121. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности / изд. «Наука» Главная редакция физико-математической литературы М.: 1977.

122. Марди В.В., Кривоносов А.И. Справочник по электронным измерительным приборам. -М.: Связь, 1978. - 416 с, ил.

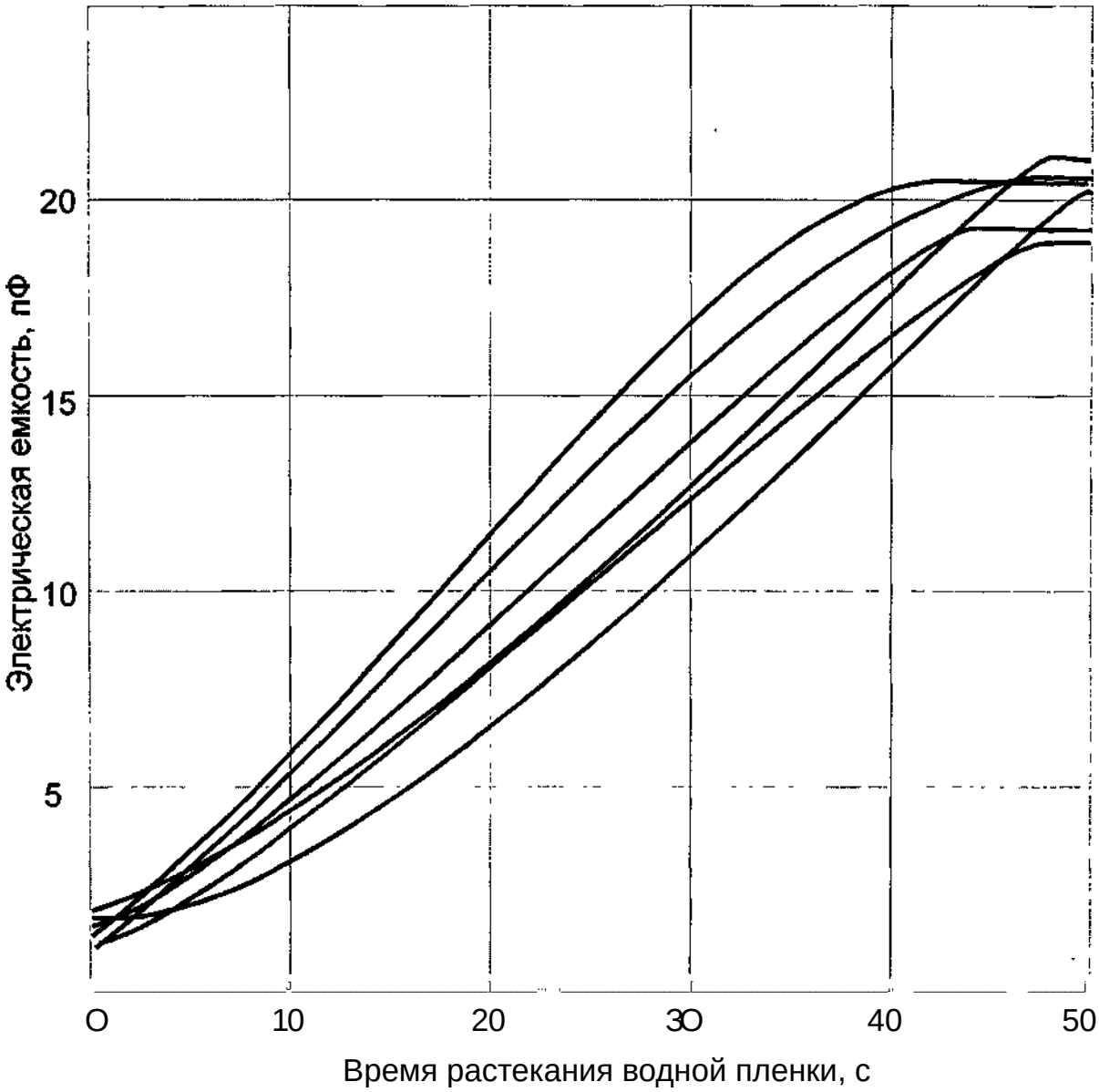
123. Электрические измерения. Учебник для вузов. Изд. 4-е. Под ред. А.В. Фремке. Л., «Энергия», 1973.

124.Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. «Москва», 2002.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Зависимости, характеризующие изменение электрической емкости при растекании водных пленок из различных пенообразующих составов и низкократной пены.

Приложение 1.

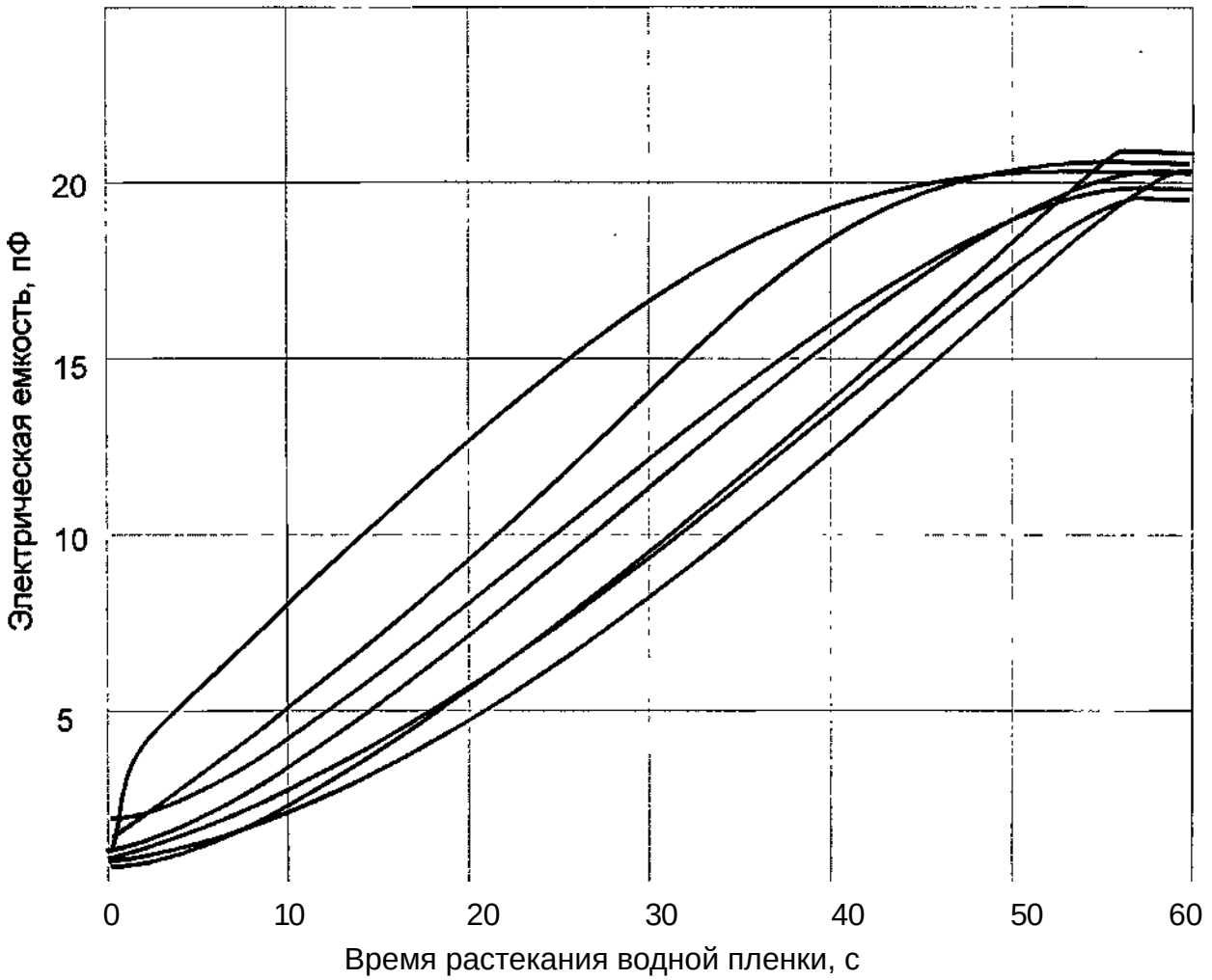


Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С » в

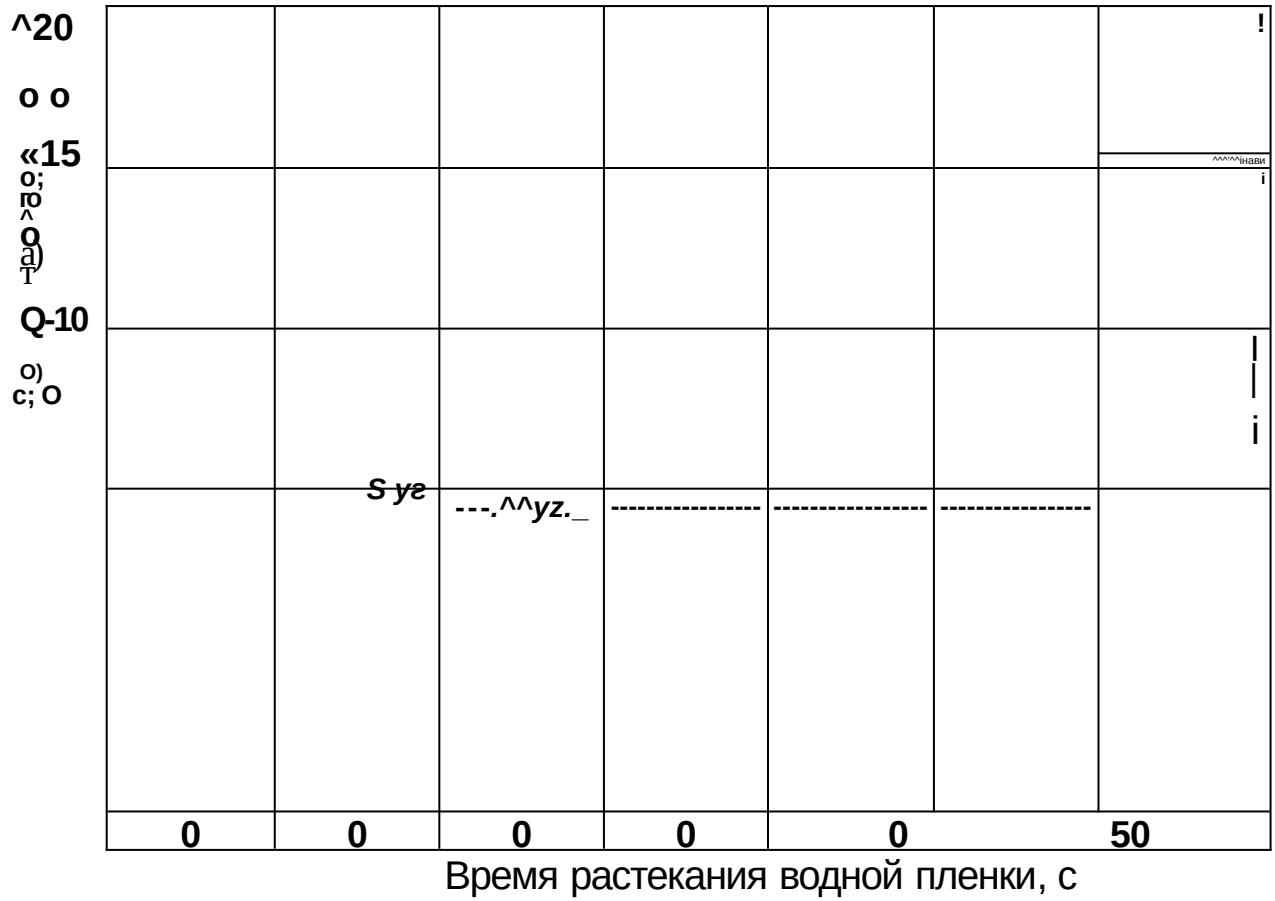
водном

растворе составляет 0.082% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid I» составляет 0.24%о масс.

Приложение 1
(продолжение)

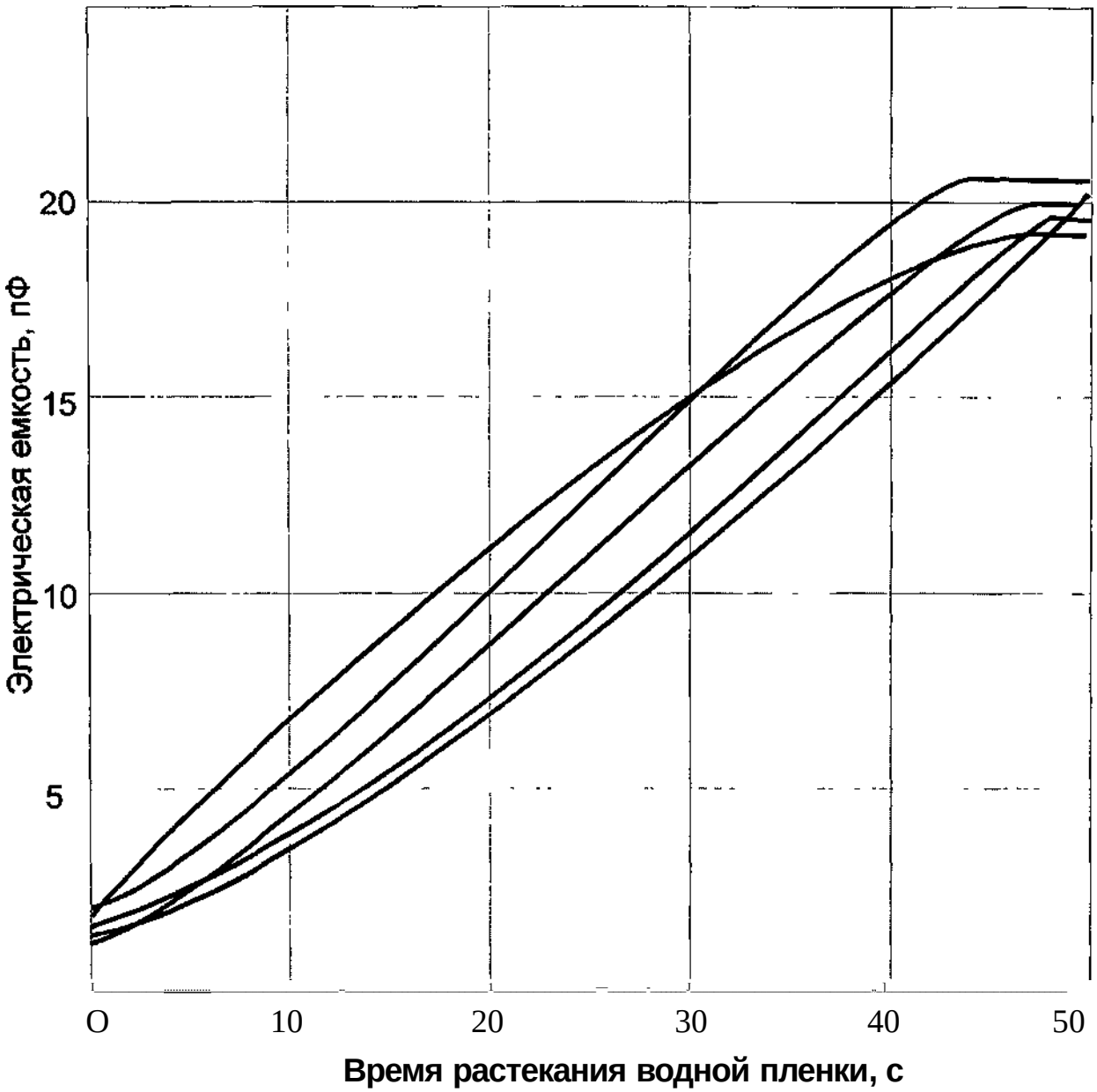


Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.123% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid I» составляет 0.206 % масс.



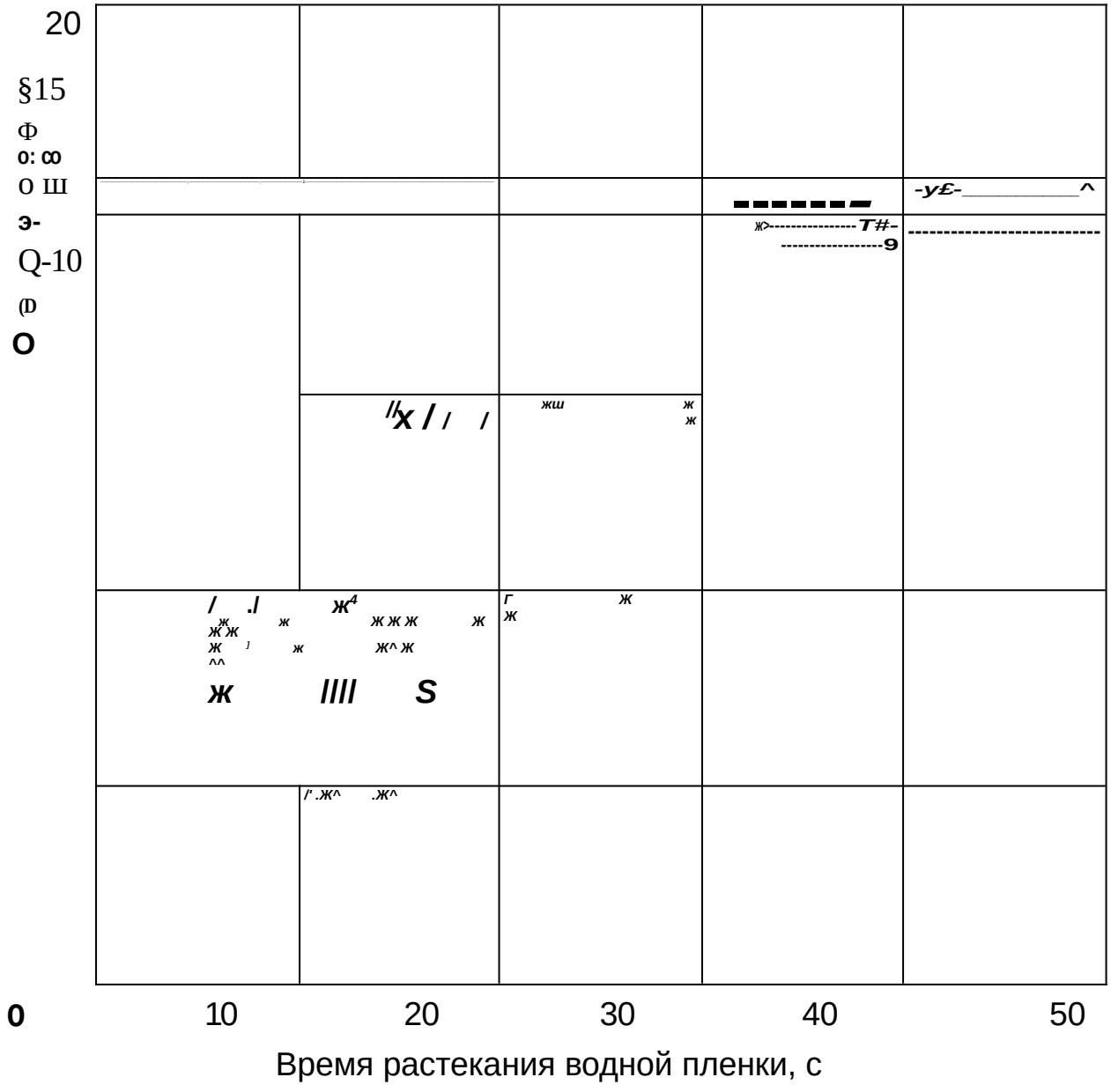
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.165% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid I» составляет 0.165 % масс.

Приложение 1
(продолжение)

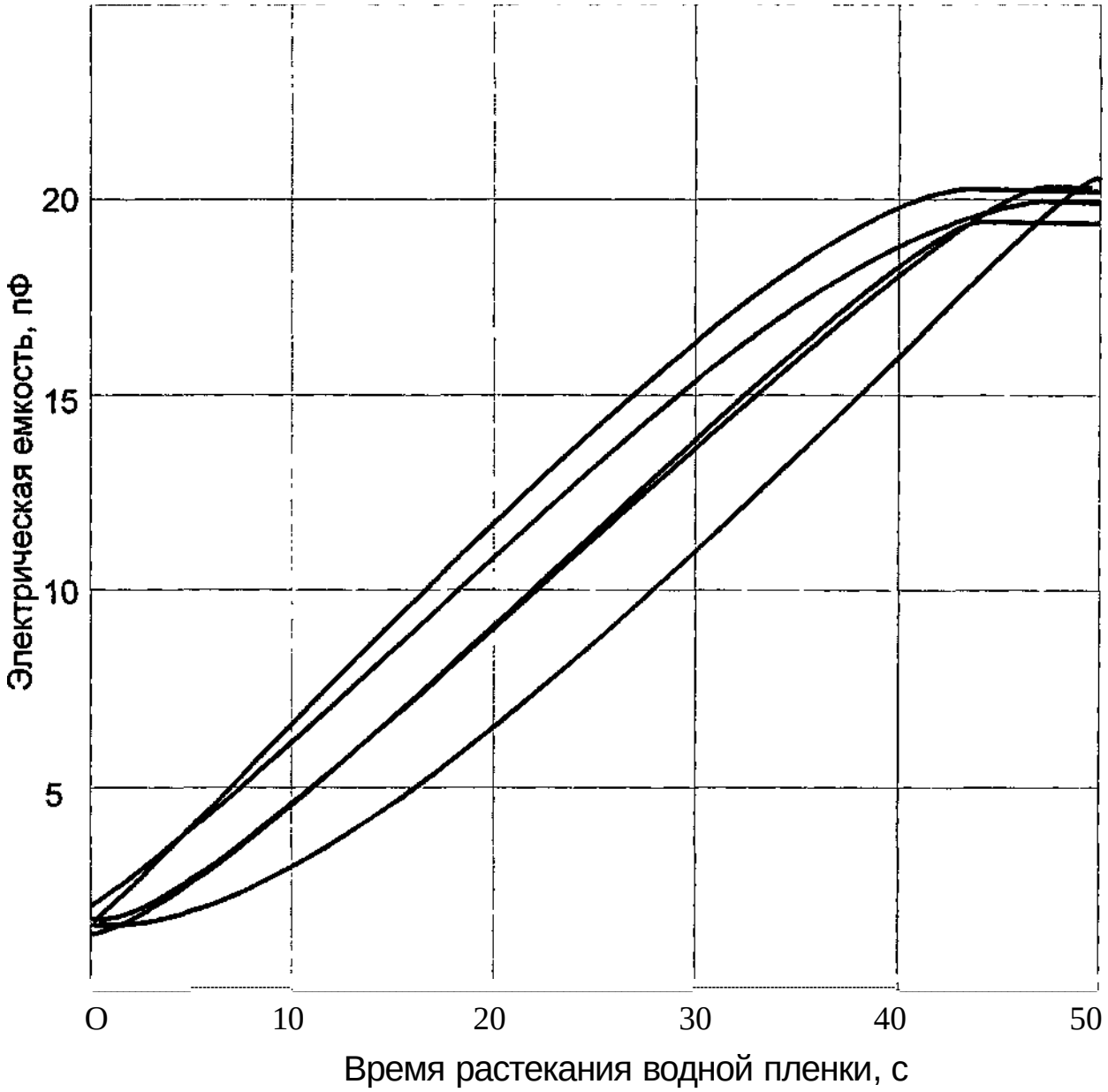


Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.042% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid II» составляет 0.28 % масс.

Приложение 1
(продолжение)

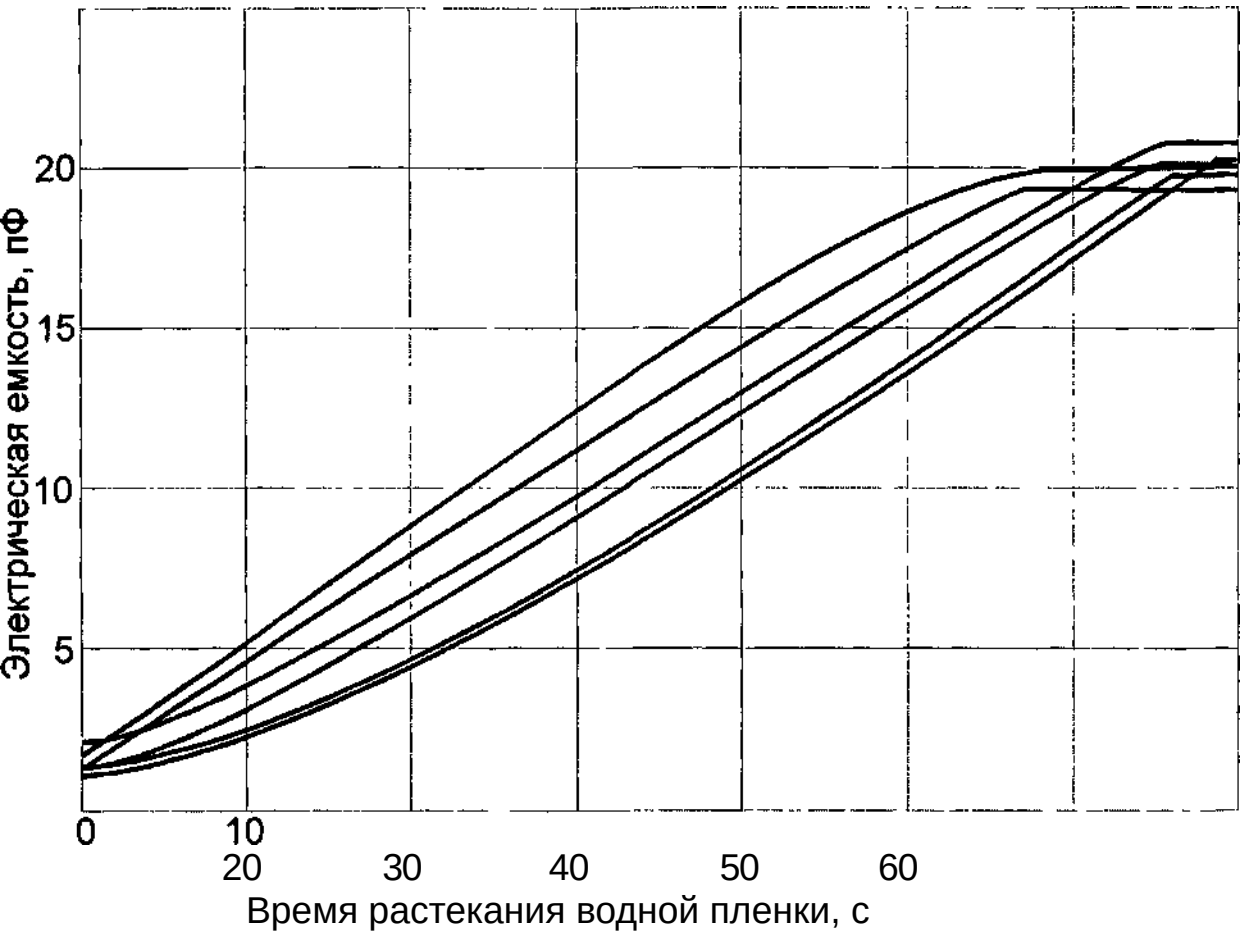


Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.082% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid II» составляет 0.24 % масс.



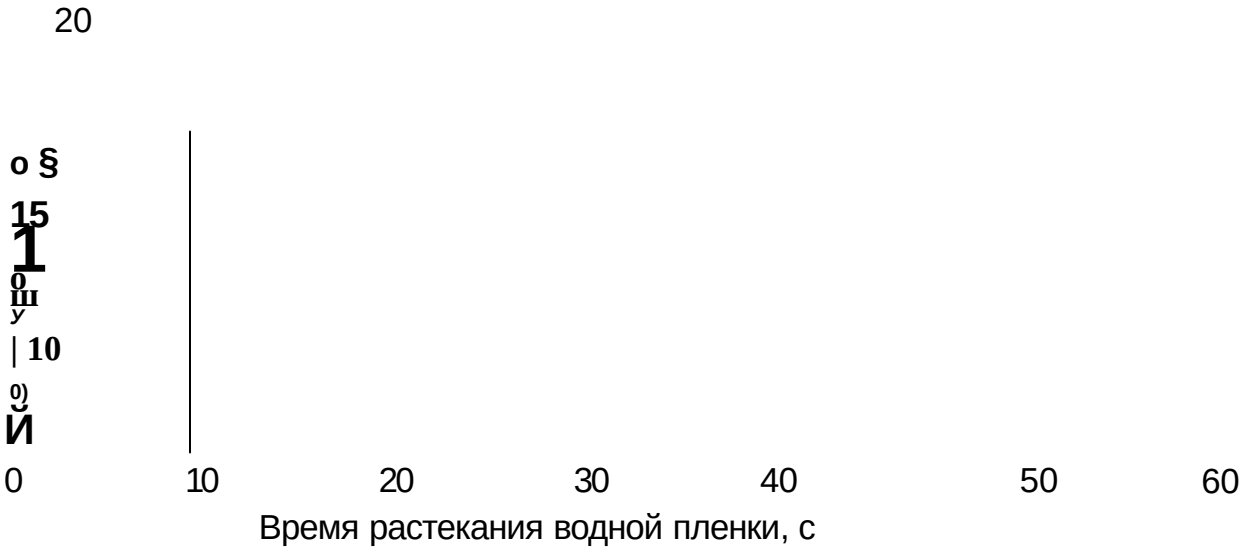
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.123% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid II» составляет 0.206 % масс.

Приложение 1
(продолжение)

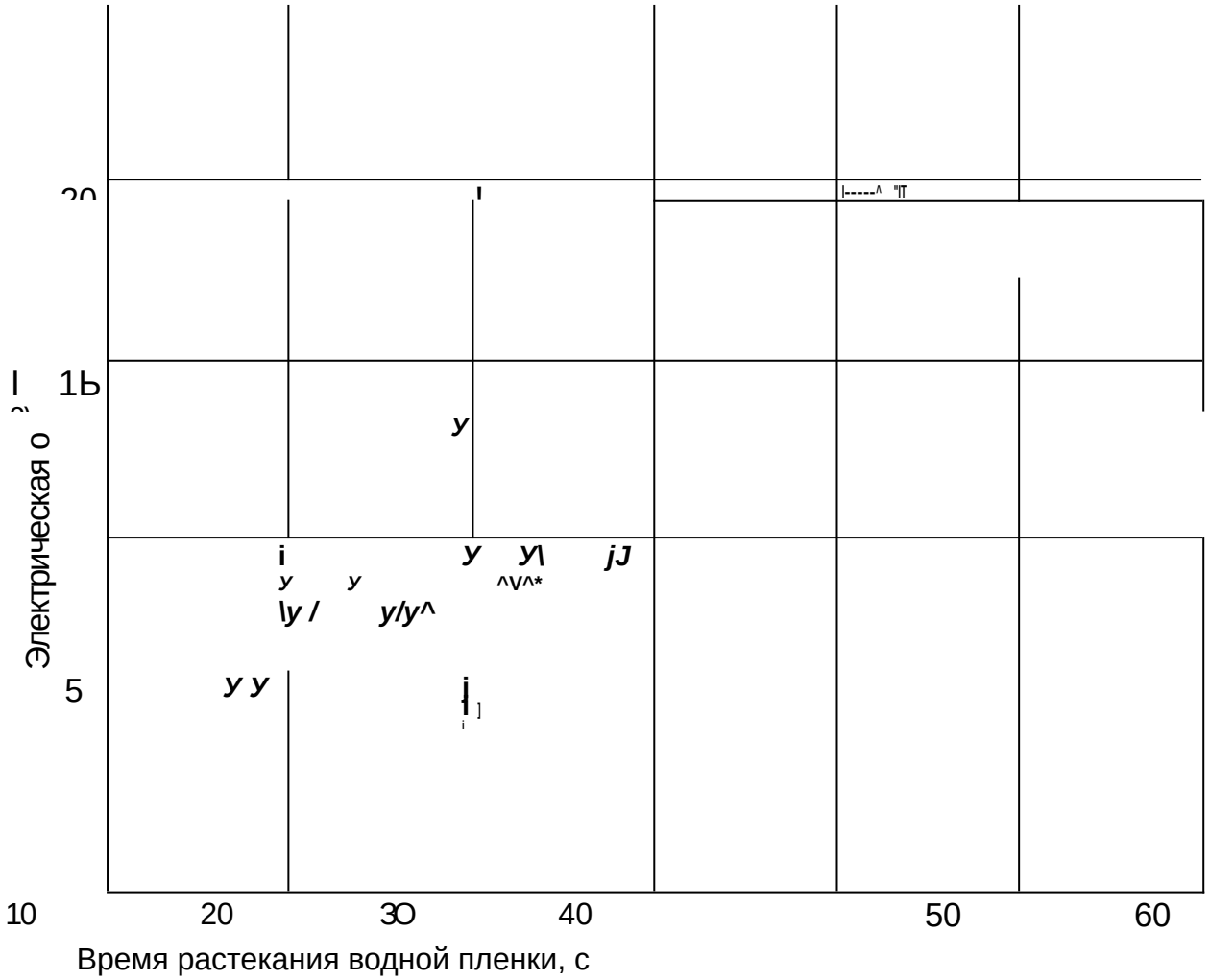


Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.165% масс, концентрация фторсинтетического компонента «Fluortensid II» составляет 0.165 % масс.

Приложение 1

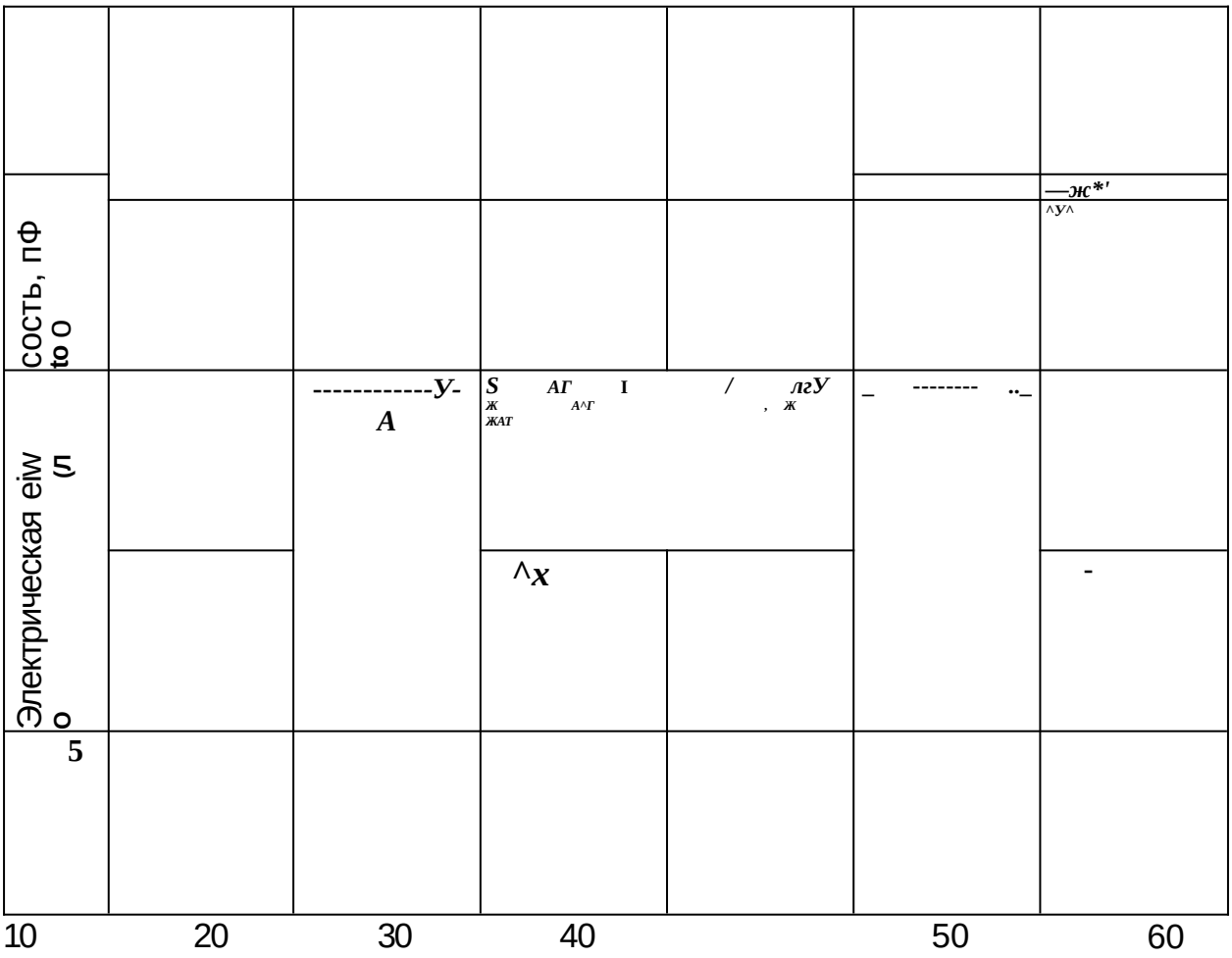


Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.125% масс, концентрация фторсинтетического компонента «F» составляет 0.875 % масс.



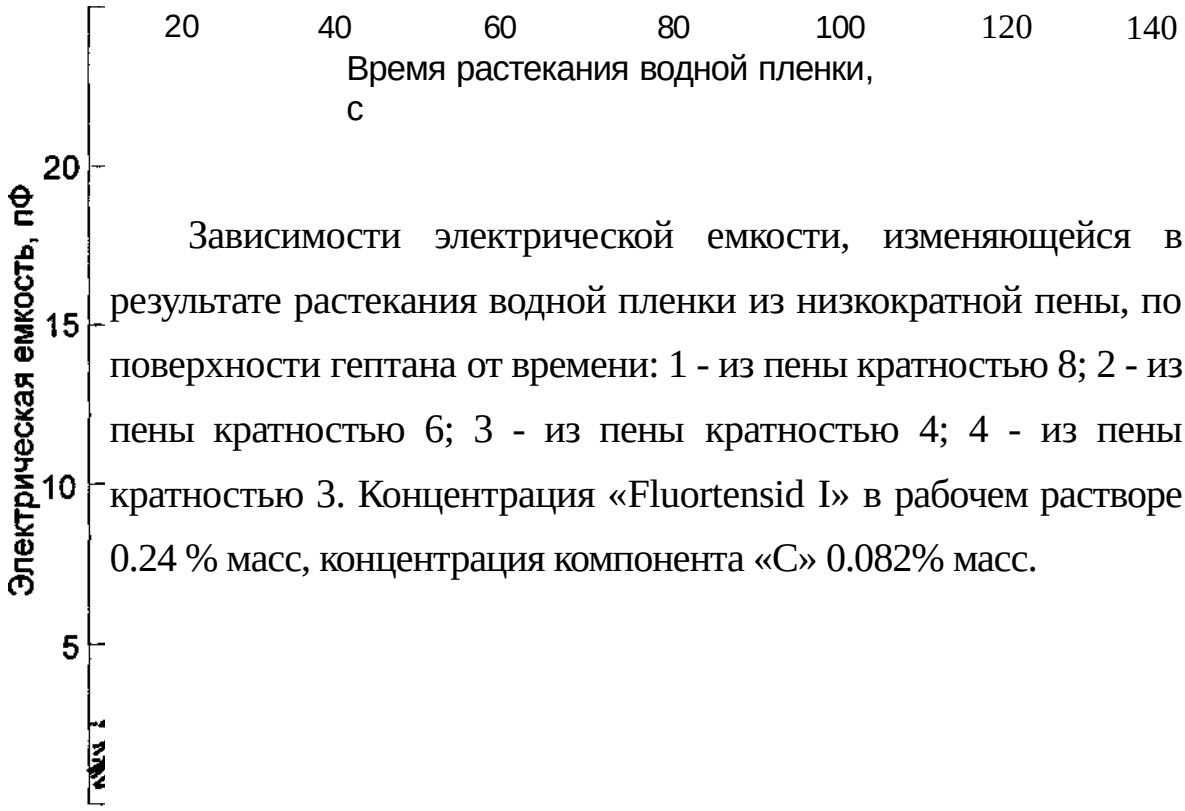
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.25% масс, концентрация фторсинтетического компонента «F» составляет 0.75 % масс.

Приложение 1
(продолжение)



Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из рабочего раствора по поверхности гептана от времени. Концентрация углеводородного компонента «С» в водном растворе составляет 0.375% масс, концентрация фторсинтетического компонента «F» составляет 0.625 % масс.

Приложение 1
(продолжение)



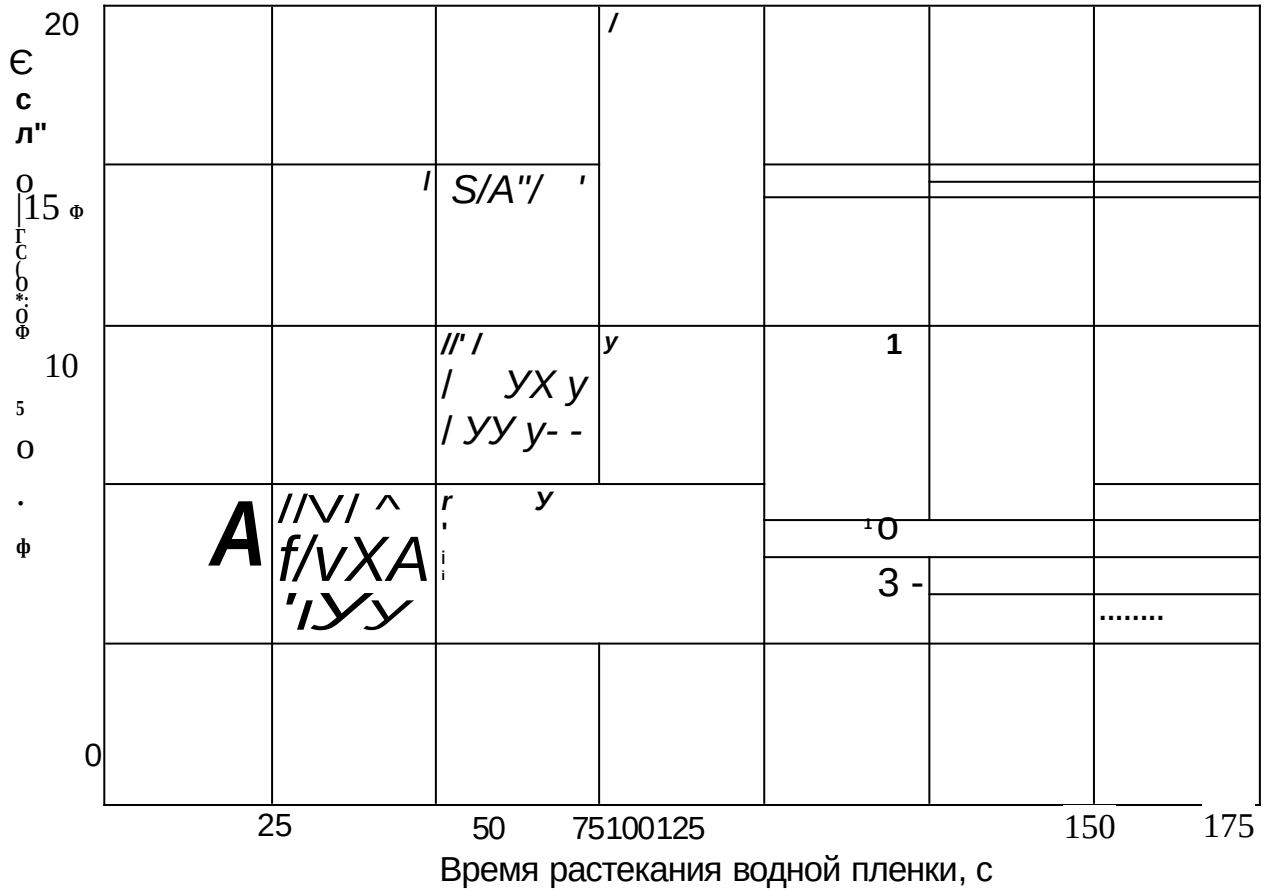
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация «Fluortensid I» в рабочем растворе 0.24 % масс, концентрация компонента «С» 0.082% масс.

Приложение 1 (продолжение)



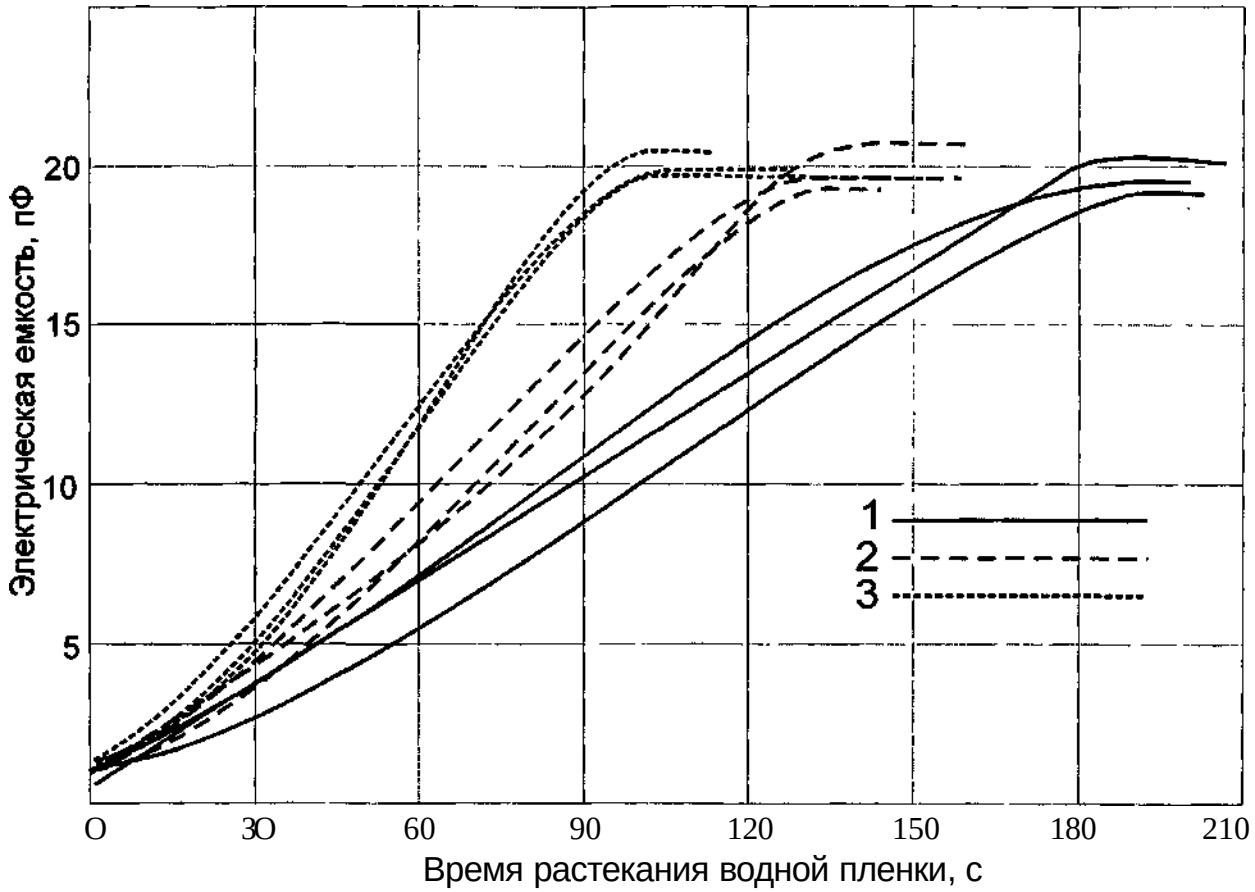
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация «Fluortensid I» в рабочем растворе 0.206% масс, концентрация компонента «С» 0.123% масс.

Приложение 1
(продолжение)



Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 6; 2 - из пены кратностью 4; 3 - из пены кратностью 3.. Концентрация «Fluortensid I» в рабочем растворе 0.165% масс, концентрация компонента «С» 0.165% масс.

Приложение 1
(продолжение)



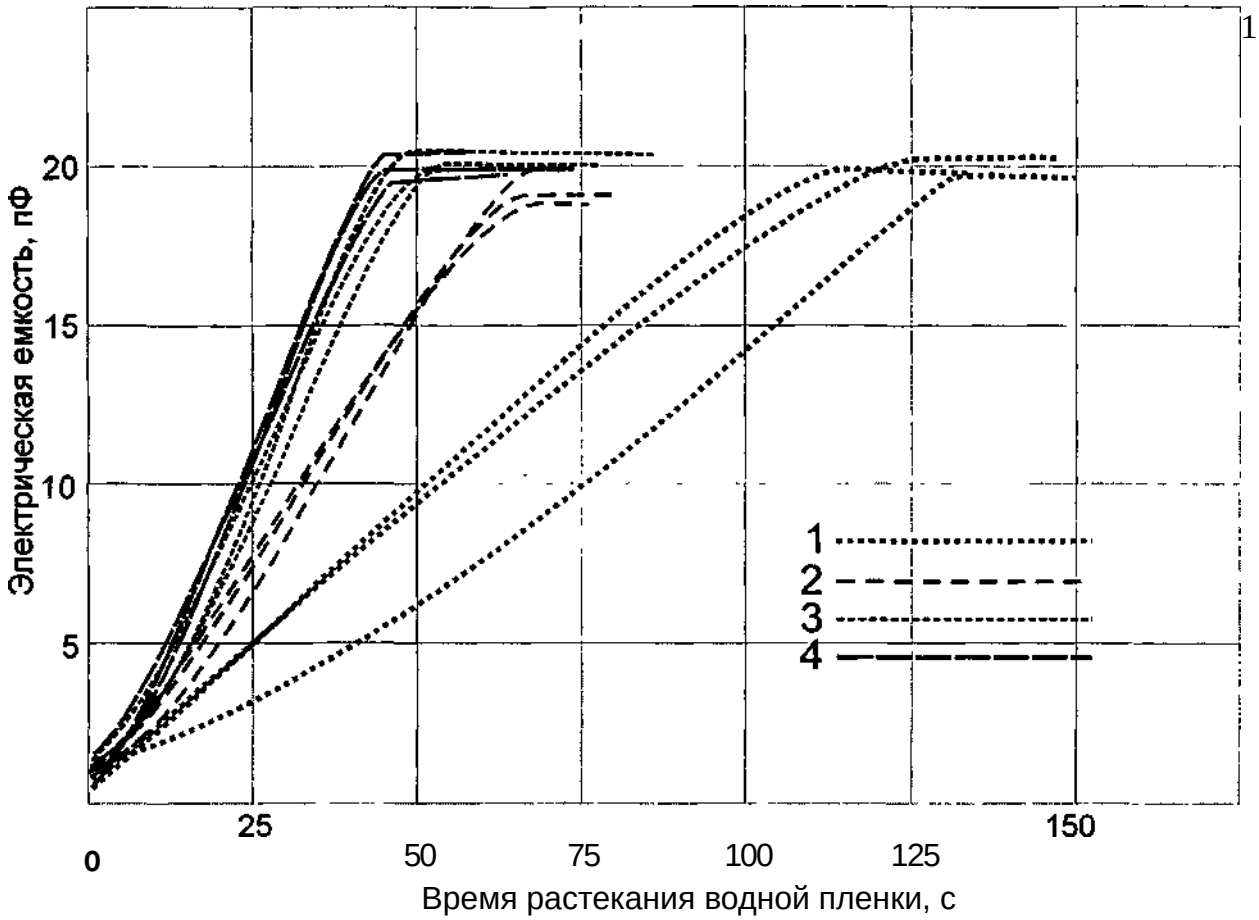
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 6; 2 - из пены кратностью 4; 3 - из пены кратностью 3.. Концентрация «Fluortensid I» в рабочем растворе 0.123% масс, концентрация компонента «С» 0.206% масс.

Приложение 1
(продолжение)



Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 10; 2 - из пены кратностью 8; 3 - из пены кратностью 6; 4 - из пены кратностью 4; 5 - из пены кратностью 3. Концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.24 % масс, концентрация компонента «С» 0.082% масс.

Приложение 1 (продолжение)



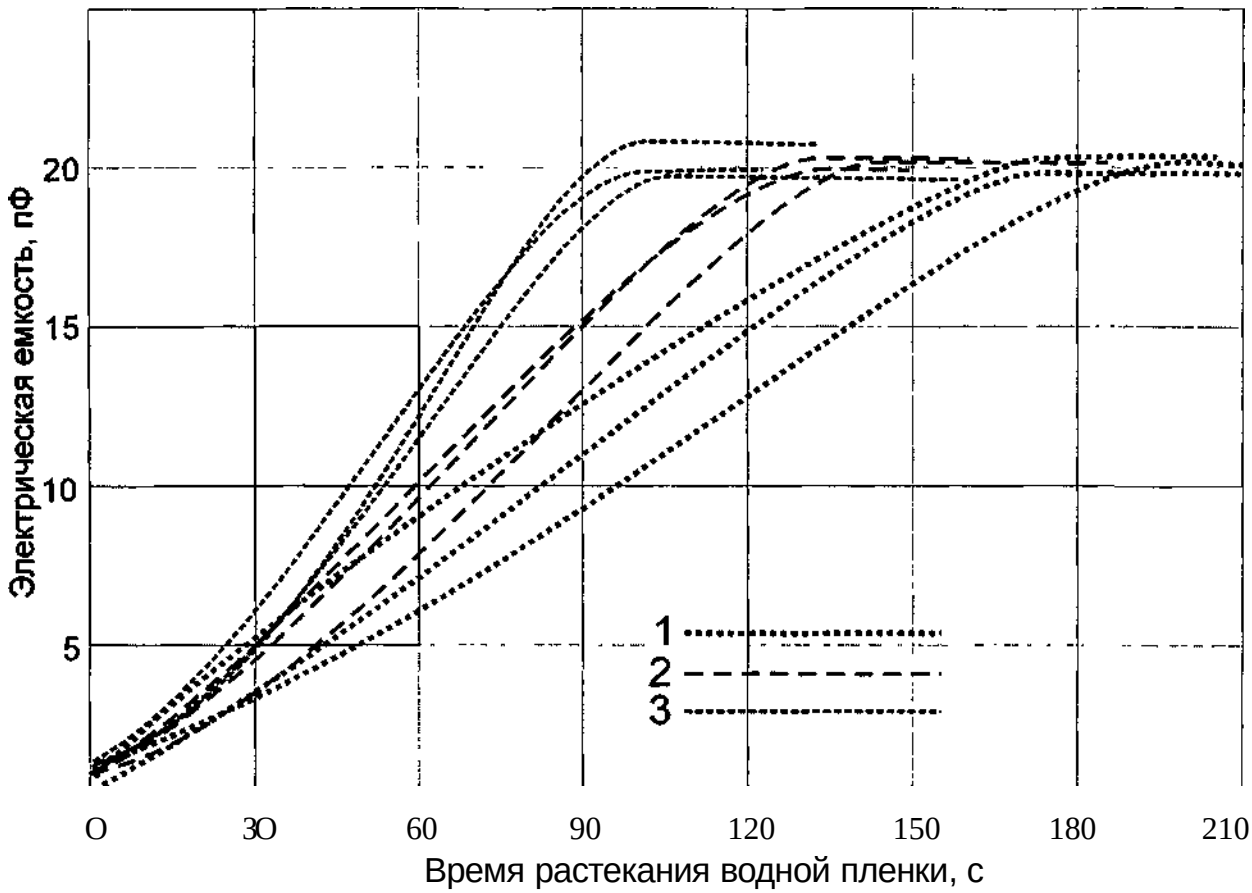
Зависимости электрической, емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.28% масс, концентрация компонента «С» 0.042% масс.

Приложение 1 (продолжение)



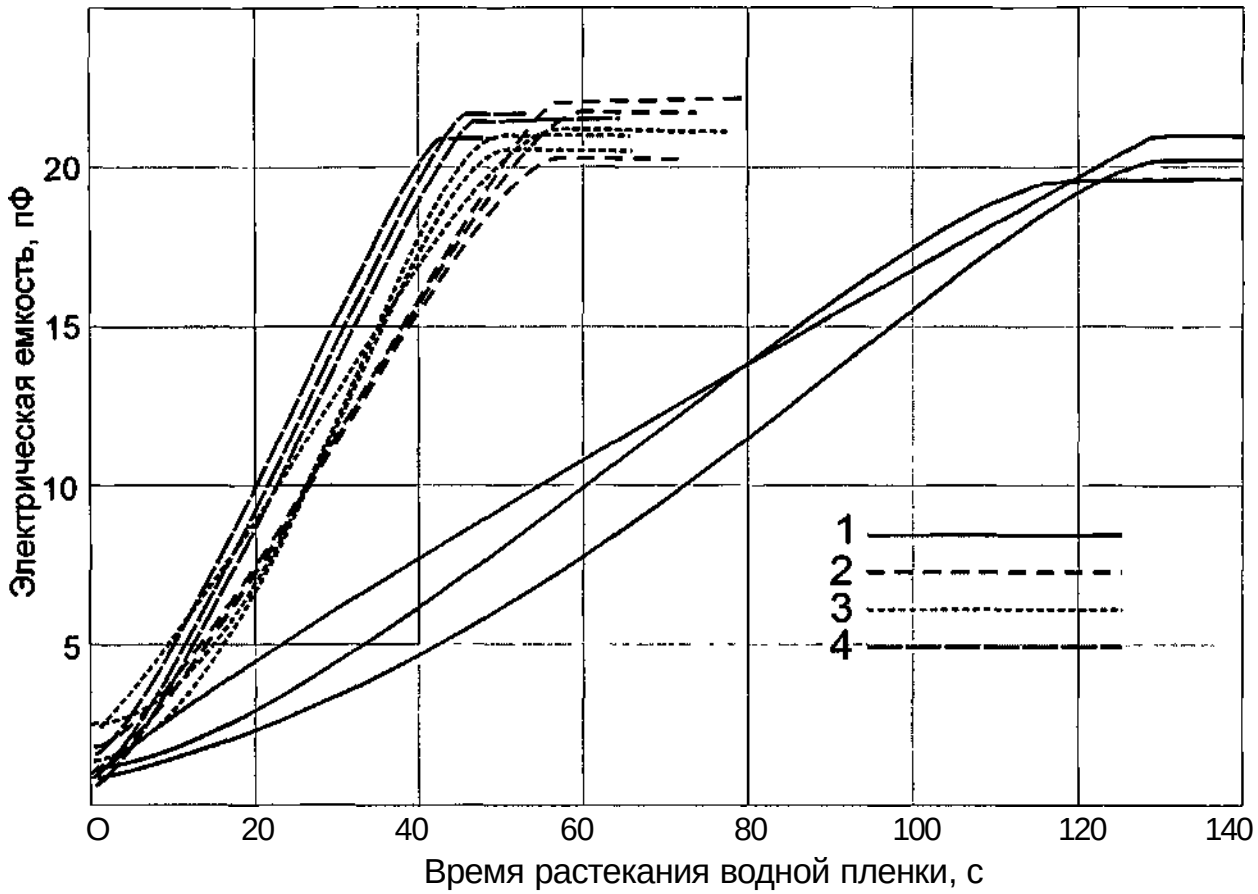
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 — из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.165% масс, концентрация компонента «С» 0.165% масс.

Приложение 1
(продолжение)



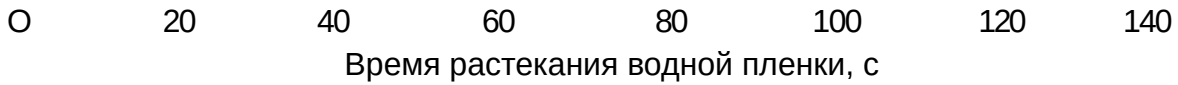
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 6; 2 - из пены кратностью 4; 3 - из пены кратностью 3. Концентрация «Fluortensid II» в рабочем растворе 0.082 % масс, концентрация компонента «С» 0.24% масс.

Приложение 1
(продолжение)



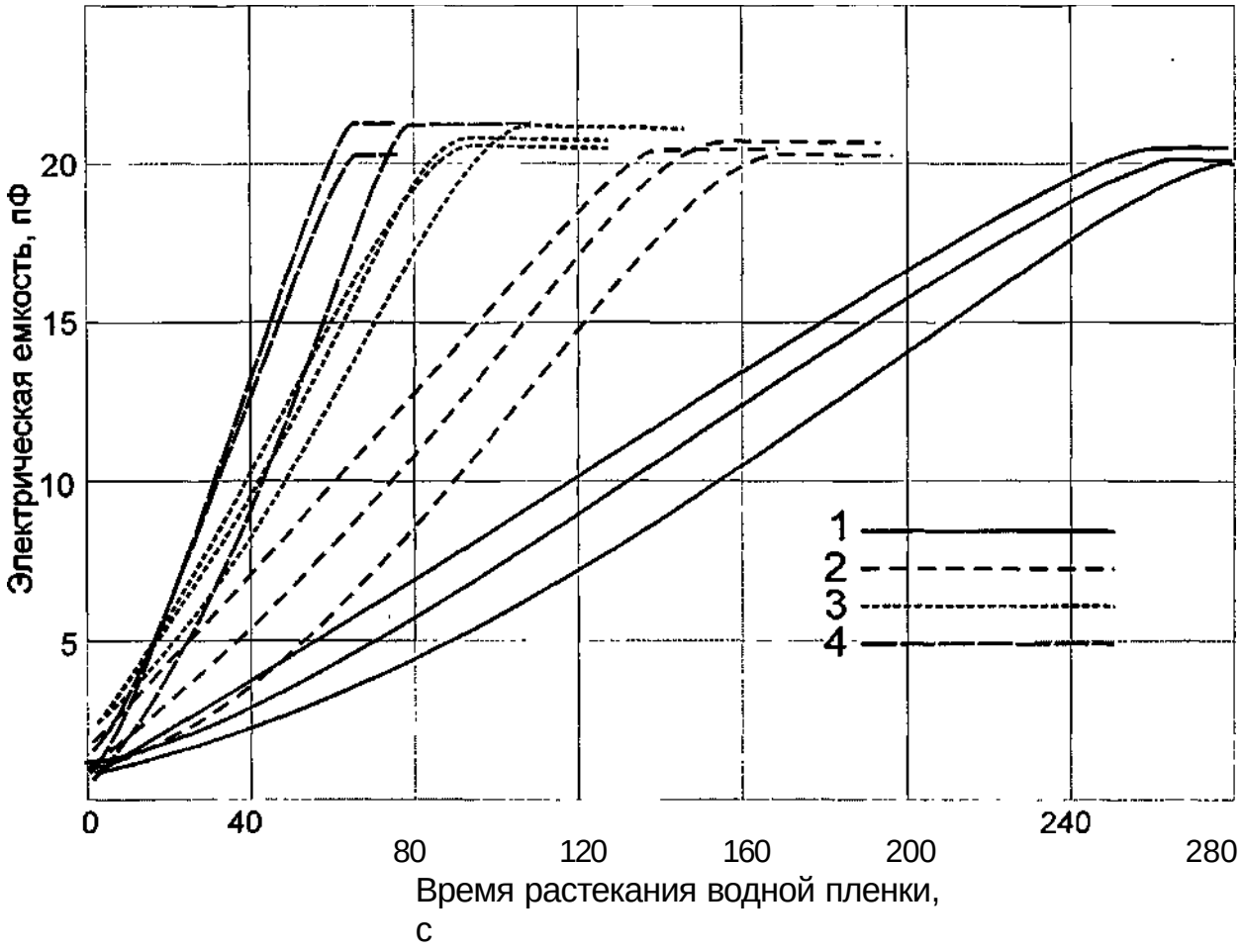
Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 — из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.75 % масс, концентрация компонента «С» 0.25% масс.

Приложение 1
(продолжение)



Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.875% масс, концентрация компонента «С» 0.125% масс.

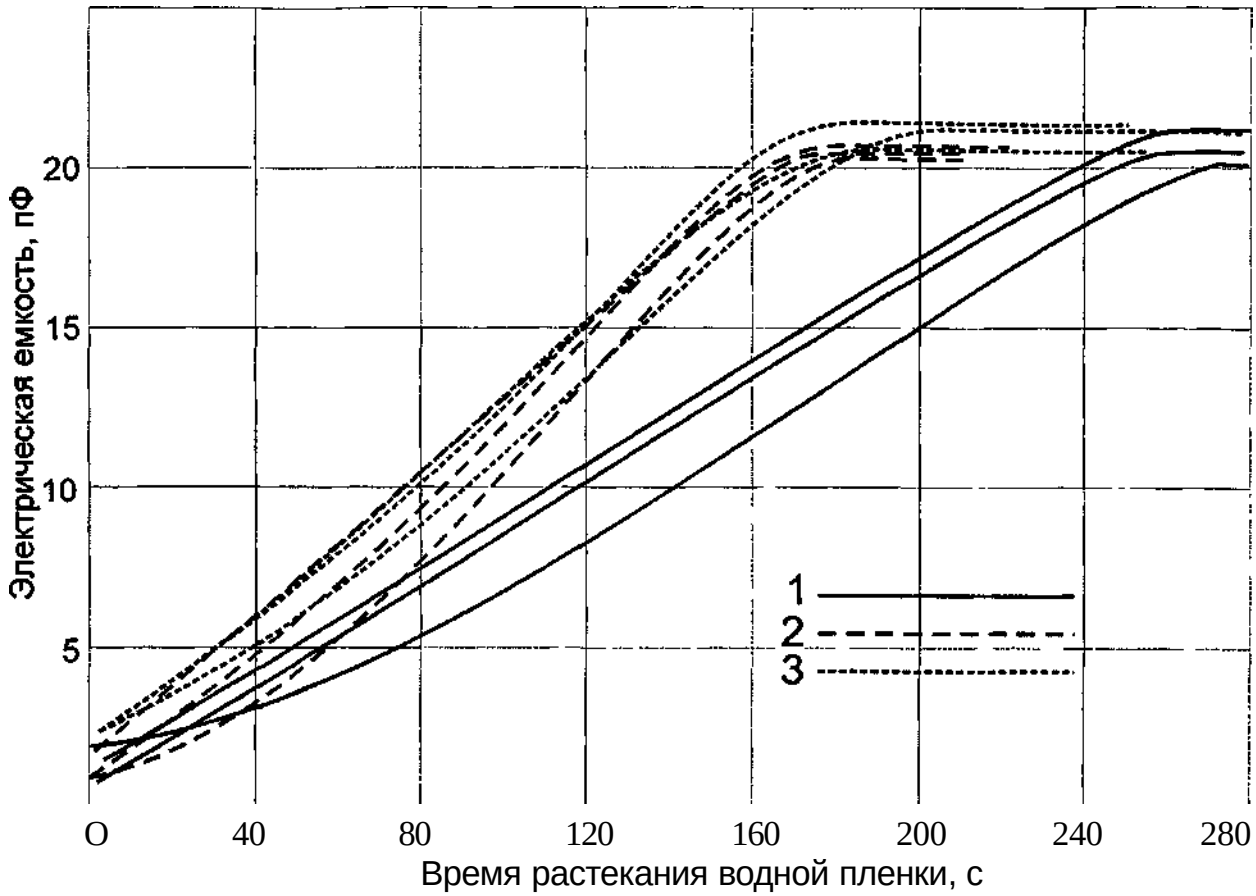
Приложение 1
(продолжение)



Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 8; 2 - из пены кратностью 6; 3 - из пены кратностью 4; 4 - из пены кратностью 3. Концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.5% масс, концентрация компонента «С» 0.5% масс.

Прил
жени

(прод
лжен



Зависимости электрической емкости, изменяющейся в результате растекания водной пленки из низкократной пены, по поверхности гептана от времени: 1 - из пены кратностью 6; 2 - из пены кратностью 4; 3 - из пены кратностью 3. Концентрация компонента «F» в рабочем растворе 0.375% масс, концентрация компонента «С» 0.625% масс.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Электрокинетические параметры модельных пенных пленок при различной концентрации поверхностно-активного вещества.

Приложение 2

Результаты экспериментальных исследований по определению электрокинетического потенциала в свободных пленках из водного раствора «Sodiumoctylsulphate» в различной концентрации.

	Концентрация ПАВ С, (% масс)	Объем перенесенной жидкости V,м^3 10"^{9}	Время переноса x, с	Сила тока I, мА	Электроосмотический перенос, V/(I т), (м^3/Кл) 10"^{6}	Удельная электропроводность, х, См/м	Электрокинетический потенциал, -Q мВ
1	2	3	4	5	6	7	8
1		13,3	16,0	1,90	0,438	0,135	83,40
2		12,1	9,5	1,90	0,670	0,135	127,78
3		3,5	2,5	1,90	0,737	0,135	140,46
4		5,3	5,1	1,85	0,562	0,135	107,08
5		4,0	3,0	1,85	0,721	0,135	137,38
6		12,0	8,5	1,85	0,763	0,135	145,47
7		**ЗД**	2,0	1,90	0,816	0,135	155,51
8		3,1	3,5	1,90	0,466	0,135	88,86
9		5,1	7,5	1,90	0,358	0,135	68,22
10		4,5	5,0	1,90	0,474	0,135	90,29
11		5,0	15,0	1,90	0,175	0,135	33,44
12		4,1	3,0	1,90	0,719	0,135	137,11
13		4,0	3,0	1,90	0,702	0,135	133,77
14		11,0	13,5	1,90	0,429	0,135	81,75
15		4,3	5,0	1,90	0,453	0,135	86,28
16		4,1	3,0	1,90	0,719	0,135	137,11
17		4,0	2,5	1,90	0,842	0,135	160,52
18		4,1	15,0	1,00	0,273	0,135	52,10
19		4,0	9,6	1,00	0,417	0,135	79,43
20		4,6	9,5	1,05	0,461	0,135	87,90
21		3,6	7,5	1,05	0,457	0,135	87,14

22	1	4,4	13,5	1,05	0,310	0,135	59,17
23	1	4,3	7,5	1,05	0,546	0,135	104,08
24	1	4,3	14,5	1,05	0,282	0,135	53,84

Приложение 2
(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
25		4,0	5,0	1,05	0,762	0,135	145,23
26		3,9	5,0	1,05	0,743	0,135	141,60
27		3,9	7,0	1,05	0,531	0,135	101,15
28		4,1	4,5	1,05	0,868	0,135	165,41
29		4,9	14,5	1,05	0,322	0,135	61,35
30		4,0	6,8	1,90	0,3Ю	0,135	59,02
31		8,0	10,5	1,90	0,401	0,135	76,44
32		4,0	3,5	1,90	0,602	0,135	114,66
33		5,0	6,1	2,00	0,410	0,135	78,12
34		4,1	3,5	2,00	0,586	0,135	111,65
35		4,0	4,0	2,00	0,500	0,135	95,31
36		4,1	3,0	1,75	0,781	0,135	148,87
37		10,1	7,0	1,95	0,740	0,135	141,04
38		8,0	7,0	1,95	0,586	0,135	111,72
39		4,3	5,0	1,95	0,441	0,135	84,07
40		12,3	9,0	1,95	0,701	0,135	133,60
41		15,0	15,5	1,85	0,523	0,135	99,71
42		14,2	12,5	1,90	0,598	0,135	113,97
43		4,0	3,0	1,90	0,702	0,135	133,77
44		4,1	3,0	1,90	0,719	0,135	137,11
45		11,0	12,0	1,90	0,482	0,135	91,97
46	0,5	5,0	5,5	1,30	0,699	0,0675	66,16
47	0,5	4,5	3,5	1,60	0,804	0,0675	76,02
48	0,5	4,5	2,5	1,55	1,161	0,0675	109,86
49	0,5	12,1	11,5	1,10	0,957	0,0675	90,49
50	0,5	8,5	5,5	1,25	1,236	0,0675	116,96
51	0,5	5,1	6,0	1,35	0,630	0,0675	59,57
52	0,5	5,0	6,5	0,90	0,855	0,0675	80,86
53	0,5	4,2	3,0	1,05	1,333	0,0675	126,14
54	0,5	4,1	4,0	0,80	1,281	0,0675	121,21
55	0,5	4,5	3,0	1,70	0,882	0,0675	83,47
56	0,5	5,0	6,0	1,10	0,758	0,0675	71,67
57	0,5	4,5	2,5	1,20	1,500	0,0675	1
58	0,5	4,0	3,5	0,85	1,345	0,0675	127,20
59	0,5	4,1	•3,5	1,60	0,732	0,0675	69,26
60	0,5	4,5	2,5	1,40	1,286	0,0675	i
61	0,5	4,0	2,5	1,70	0,941	0,0675	Г
62	0,5	4,5	4,0	1,20	0,938	0,0675	Г

63 I 0,5 I 5,5 I 3,0 | 1,70 I 1,078 | 0,0675 | 102,02

Приложение 2

(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
•64	0,5	5,1	3,2	1,15	1,386	0,0675	131,11
65	0,5	4,9	3,5	1,11	1,261	0,0675	119,32
66	0,5	5,1	3,0	1Д7	1,453	0,0675	137,46
67	0,5	5,1	2,1	1,31	1,854	0,0675	175,38
68	0,5	3.3	5,0	0,84	0,800	0,0675	75,68
69	0,5	4,0	5,5	1,10	0,661	0,0675	62,55
70	0,5	4,0	3,5	1,08	1,058	0,0675	100,11
71	0,5	4,4	2,1	1,20	1,746	0,0675	165,18
72	0,5	4,3	4,5	0,80	1,194	0,0675	113,00
73	0,5	4,6	4,5	0,80	1,278	0,0675	120,88
74	0,5	5,1	7,5	0,70	0,971	0,0675	91,90
75	0,5	7,4	9,5	1,10	0,708	0,0675	66,99
76	0,5	5,5	4,5	1,25	0,978	0,0675	92,50
77	0,5	4,0	4,0	1,15	0,870	0,0675	82,26
78	0,5	4,5	3,5	1,05	1,224	0,0675	115,84
79	0,5	5,0	4,0	1,15	1,087	0,0675	102,83
80	0,5	5,1	3,5	1,05	1,388	0,0675	131,29
81	0,5	5,1	6,1	1,05	0,796	0,0675	75,33
82	0,5	4,5	4,0	1,08	1,042	0,0675	98,55
83	0,5	5,0	2,0	1,75	1,429	0,0675	135,15
84	0,5	5,2	3,5	1,75	0,849	0,0675	80,32
85	0,5	4,0	1,5	1,70	1,569	0,0675	148,40
86	0,5	5,1	2,0	1,80	1,417	0,0675	134,02
87	0,5	5,0	4,0	1,80	0,694	0,0675	65,70
88	0,5	5,0	2,5	1,70	1,176	0,0675	111,30
89	0,5	5,5	3,5	1,80	0,873	0,0675	82,59
90	0,5	4,9	6,5	0,80	0,942	0,0675	89,15
91	0,5	5,0	8,0	0,60	1,042	0,0675	98,55
92	0,5	5,7	8,0	0,65	1,096	0,0675	103,70
93	0,5	5,3	5,0	0,70	1,514	0,0675	143,26
94	0,25	6,1	4,5	0,6	2,259	0,0335	105,30
95	0,25	6,0	6,0	0,4	2,500	0,0335	116,53
96	0,25	6,1	9,5	0,6	1,070	0,0335	49,88
97	0,25	5,5	5,5	***0,6***	1,818	0,0335	84,75
98	0,25	5,1	2,5	0,8	2,720	0,0335	126,78
99	0,25	5,0	16,0	0,3	1,042	0,0335	48,55
100	0,25	6,0	5,0	0,6	2,182	0,0335	101,69
101	0,25	5,5	3,0	0,6	3,056	0,0335	142,42
102	0,25	6,1	3,5	0,6	3,169	0,0335	147,70

Приложение 2
(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
103	0,25	5,0	2,5	0,6	3,333	0,0335	155,37
104	0,25	6,0	7,5	0,5	1,778	0,0335	82,86
105	0,25	5,5	5,0	0,6	2,000	0,0335	93,22
106	0,25	5,5	3,0	0,7	2,821	0,0335	131,46
107	0,25	5,0	3,5	0,6	2,597	0,0335	121,07
108	0,25	21,0	19,5	0,5	2,393	0,0335	111,55
109	0,25	4,0	7,5	0,4	1,524	0,0335	71,03
ПО	0,25	6,1	4,0	0,9	1,794	0,0335	83,62
111	0,25	6,1	4,5	0,9	1,595	0,0335	74,33
112	0,25	***6,0***	11,5	0,5	1,043	0,0335	48,64
ИЗ	0,25	6,4	4,5	0,7	2,188	0,0335	101,98
114	0,25	6,3	3,0	0,8	2,800	0,0335	130,51
115	0,25	6,2	5,0	0,4	3,100	0,0335	144,49
116	0,25	6,3	6,0	0,7	1,500	0,0335	.. 69,92
117	0,25	5Д	2,5	0,7	3,138	0,0335	146,28
118	0,25	6,1	3,1	0,8	2,624	0,0335	122,29
119	0,25	6,0	4,5	0,8	1,778	0,0335	82,86
120	0,25	6,0	3,0	0,9	2,222	0,0335	103,58
121	0,25	6,1	2,5	0,8	3,050	0,0335	142,16
122	0,25	5,1	**ЗД**	0,8	2,056	0,0335	95,85
123	0,25	8,1	5,5	0,6	2,455	0,0335	114,41
124	0,25	18,2	8,0	1,1	2,068	0,0335	96,40
125	0,25	7,1	8,5	0,4	2,387	0,0335	111,24
126	0,25	9,0	10,0	0,5	2,000	0,0335	93,22
127	0,25	5,5	6,0	0,5	1,833	0,0335	85,45
128	0,25	6,0	3,0	0,6	3,636	0,0335	169,49
129	0,25	6,6	11,0	0,3	2,000	0,0335	93,22
130	0,25	6,1	9,0	0,7	0,968	0,0335	45,13
131	0,25	5,0	• 4,5	0,9	1,307	0,0335	60,93
132	0,25	6,0	12,0	0,3	2,000	0,0335	93,22
133	0,25	7,1	13,0	0,3	1,821	0,0335	84,85
134	0,25	6,0	5,0	0,4	3,000	0,0335	139,83
135	0,25j	7,0	4,0	0,6	3,182	0,0335	148,31
136	0,25	5,9	5,5	0,6	1,950	0,0335	90,91
137	0,25	6,1	3,0	0,7	2,905	0,0335	135,39
138	0,125	5,0	5,0	0,20	5,00	0,01.67	117,94
139	0,125	9,0	7,5	0,20	6,00	0,0167	141,53
140	0,125	7,0	. 5,5	0,20	6,36	0,0167	150,10
141	0,125	10,1	11,0	0,20	4,59	0,0167	108,29

Приложение 2
(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
142	0,125	11,0	13,5	0,20	4,07	0,0167	96,10
143	0,125	10,0	8,5	0,20	5,88	0,0167	138,75
144	0,125	11,0	9,1	0,30	4,03	0,0167	95,04
145	0,125	5,0	5,0	0,25	4,00	0,0167	94,35
146	0,125	5,0	4,0	0,35	3,57	0,0167	84,24
147	0,125	20,0	26,0	0,17	4,52	0,0167	106,73
148	0,125	5,0	4,5	0,25	4,44	0,0167	104,83
149	0,125	5,0	11,0	0,15	3,03	0,0167	71,48
150	0,125	4,0	3,0	0,30	4,44	0,0167	104,83
151	0,125	10,0	4,0	0,40	6,25	0,0167	147,42
152	0,125	16,0	12,0	0,25	5,33	0,0167	125,80
153	0,125	11,0	11,5	0,25	3,83	0,0167	90,25
154	0,125	12,0	6,0	0,90	2,22	0,0167	52,42
155	0,125	12,0	4,5	1,00	2,67	0,0167	62,90
156	0,125	9,0	8,5	0,55	1,93	0,0167	45,41
157	0,125	27,0	11,0	1,25	1,96	0,0167	46,32
158	0,125	9,5	7,0	0,40	3,39	0,0167	80,03
159	0,125	19,5	14,5	0,40	3,36	0,0167	79,30
160	0,125	20,0	18,0	0,30	3,70	0,0167	87,36
161	0,125	6,2	6,5	0,30	3,18	0,0167	75,00
162	0,125	6,0	2,5	0,55	4,36	0,0167	102,93
163	0,125	7,1	3,5	0,40	5,07	0,0167	119,62
164	0,125	6,1	6,0	0,50	2,03	0,0167	47,96
165	0,125	6,9	4,5	0,35	4,38	0,0167	103,34
166	0,125	6,1	2,5	0,45	5,42	0,0167	127,90
167	0,125	6,1	2,5	0,40	6,10	0,0167	143,88
168	0,125	30,0	9,0	0,70	4,76	0,0167	112,32
169	0,125	6,1	3,0	0,40	5,08	0,0167	119,90
170	0,125	3,0	2,0	0,25	6,00	0,0167	141,53
171	0,125	7,0	3,5	0,35	5,71	0,0167	134,79
172	0,125	4,1	7,5	0,25	2,19	0,0167	51,58
173	0,125	5,5	4,5	0,35	3,49	0,0167	82,37
174	0,125	31,0	15,5	0,60	3,33	0,0167	78,63
175	0,125	20,0	9,5	0,60	3,51	0,0167	82,76
176	0,125	30,5	12,5	1,30	1,88	0,0167	44,27
177	0,125	33,0	8,0	1,20	3,44	0,0167	81,08
178	0,125	7,1	8,5	0,25	3,34	0,0167	78,81
179	0,125	6,1	10,0	0,15	4,07	0,0167	95,92
180	0,125	7,2	13,0	0,15	3,69	0,0167	87,09

ш

W9L	WOO'O	00S'9	зт'о	о'от	*2'L*	390'0	8тз
61*99	1?800'0	H9'£	бї'О	0'9	*V9*	390'0	*LIZ*
61'99	t?800'0	W9'S	6 ГО	0'9	*V9*	390'0	9Т3
9CL6	t?800'0	Т6Ґ8	60'0	£'8	g'$_{9}$	390'0	Я3
К'ОТї	I7800'0	8££'6	I го	8'9	07,	390'0	из
£Є'98	£800'0	*ZZCL*	I го	87,	Т'9	390'0	ЄТ3
ее'оет	t?800'0	Т/,0'11	ого	9'д	3'9	390'0	зтз
ЛЄ'£6	I7800'0	680'8	тГо	з'9	9'£	390'0	ттз
I76'69	I7800'0	зеб'£	Н'О	6'£	6'fr	390'0	отз
ЄїЄОЇ	t?800'0	*LPL'S*	зт'о	*Ґ9*	е's	390'0	603
Єї'99	I7800'0	609'£	его	9'б	0'/,	390'0	803
8ї'38	I7800'0	OZ.6'9	зт'о	е'z,	Є'9	390'0	Z,03
Z,6'9£	17800*0	3Є8>	£Т'0	О'ОТ	Т'9	390'0	903
АЄ'їЛ	1?800'0	£50'9	t'l'O	*6(9*	O'S	390'0	503
т/,'зб	I7800'0	1?98'Z,	зт'о	Т'9	6'S	390'0	I703
1?8'£8	t?800'0	083'/,	его	9'£	е's	390'0	еоз
Є9'Є9	I7800'0	*L6C5*	Sl'O	£'9	Г5	390'0	303
i^8'99	i?800'0	*699'9*	н'о	£'9	о's	390'0	тоз
£ї'39	i?800'0	*\Lt9*	я'о	9'8	8'9	390'0	003
Vt\Z	t7800'0	Є83'0Т	ТГО	Т'9	6'9	390'0	66Т
9C\9	t?800'0	06£>	Я'О	г'8	i/'S	390'0	86Т
Z9'99	t?800'0	60/>	9Т'0	£'А	s's	390'0	*L6*
U'lS	1?800'0	98£>	8 ГО	S'6	S'Z.	390'0	961
ОО'Зб	t?800'0	Є08'/,	/Л'О	6>	S'9	390'0	S6Т
9Ґ£9	t?800'0	*L9£'9*	9Т'0	Є'9	fr'S	390'0	I76I
£6'39	1?800'0	*L££'9*	9 ГО	6'8	9'А	390'0	Є6Т
££'£8	I7800'0	*6£tL*	8Г0	9'9	9'8	390'0	36 т
68'98	I7800'0	*69£'L*	9Т'0	/.'9	6^{C}£	390'0	Т6Т
08'МН	i?800'0	688'8	зт'о	*?L*	0'8	390'0	06Т
90'їб	t7800'0	*LL&L*	9Т'0	97,	А'6	390'0	68 Т
08'£гТ	1?800'0	OOS'OT	ОГО	0'8	fr*8	390'0	88Т
06'£8	t?800'0	*99VL*	ЄГО	g'9	Є'9	390'0	Ш
ЄТ'99	t^800'0	609'£	ЄГО	9'6	07,	390'0	98Т
I70^{C}Л8	t?800'0	£8£'А	ЄГО	9'8	0'8	390'0	*92* Т
W/Z.8	1/800'0	*ZWL*	ЄГО	9'8	0'8	390'0	*Ш*
8£'£ОТ	t7800'0	89Z/8	зт'о	S'll	Гзт	390'0	Є8Т
Є0'88	t?800'0	*L9V'L*	Я'О	£7,	fr'8	390'0	38 Т
0£'£Л	А9I0'0	6I'£	О3'О	о'ет	Є'8	£3Т'0	Т8Т
8	*L*	9	*9*	*р*	е	*Z*	Т

(зинзжкоіґосіи)

1 ОИНЗЖОІҐИСІЦ

219	0,062	7,5	6,0!	0,15	8,333	0,0084	98,25

Приложение 2
(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
220	0,062	8,2	8,0	0,16	6,406	0,0084	75,53
221	0,062	7,3	5,0	0,17	8,588	0,0084	101,26

174+1