

*Хохлов Александр Евгеньевич*

магистрант

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»

г. Тольятти, Самарская область

**СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА СЛИВА-НАЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПУТЕМ  
ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ  
ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕЙ ПЕНЫ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ**

*Аннотация:* наиболее перспективным огнетушащим средством тушения пожаров на объектах технологического процесса слива-налива нефтепродуктов является фторсинтетическая 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.

*Ключевые слова:* пожар, пожарная опасность, тушение пожаров, пенообразователь, воздушно-механические пены, технологический процесс, фторсодержащий пенообразователь.

В народнохозяйственном комплексе нашей страны нефтедобывающая промышленность представляет наибольшую пожарную опасность, и тщательно разработанные меры, направленные на то, чтобы сохранить огромные капиталовложения, оказываются порой недостаточными для предотвращения человеческих жертв и материальных 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 генераторов пены, размещенных поблизости от объекта защиты, т.к. дальность пеной струи составляет порядка 5–6 метров. Опыт эксплуатации

автоматических систем пожаротушения и анализ произошедших пожаров показывает низкую эффективность противопожарного оборудования, поскольку уже в первые минуты пожара генераторы пены 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 низкой кратной 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.

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.

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.

В проектировании и строительстве современных резервуаров, 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.

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 их содержимое покрывает 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.

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.

Использование воздушно-механических пен низкой кратности в отечественной практике было приостановлено в конце 70-х годов, когда в практику пожаротушения было внедрено новое оборудование – генераторы пены 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 пены 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 отличие от пен средней кратности, которые можно подавать максимум на 15–20 метров, а если используется пеногенератор высокой производительности ГПС-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 требовал проведения исследований для выявления

основных закономерностей тушения пламени нефтепродуктов, обоснования на их основе расходных норм и оптимального режима использования низкократной пены.

Экспериментальные исследования были 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 было 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 стоял вопрос о механизме изолирующего действия пленкообразующей и углеводородной пены, ведь при слабом изолирующем действии пены над поверхностью горючей жидкости достаточно даже паров, чтобы поддерживать горение.

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

В проведенных экспериментах постепенно меняется состав пенообразователя. Изменяя 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.

Парциальное 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 сдвинется 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 пену низкой кратности и выдать рекомендации по ее применению нужно четко представить, почему пена низкой кратности 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.

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 1 и 2 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.

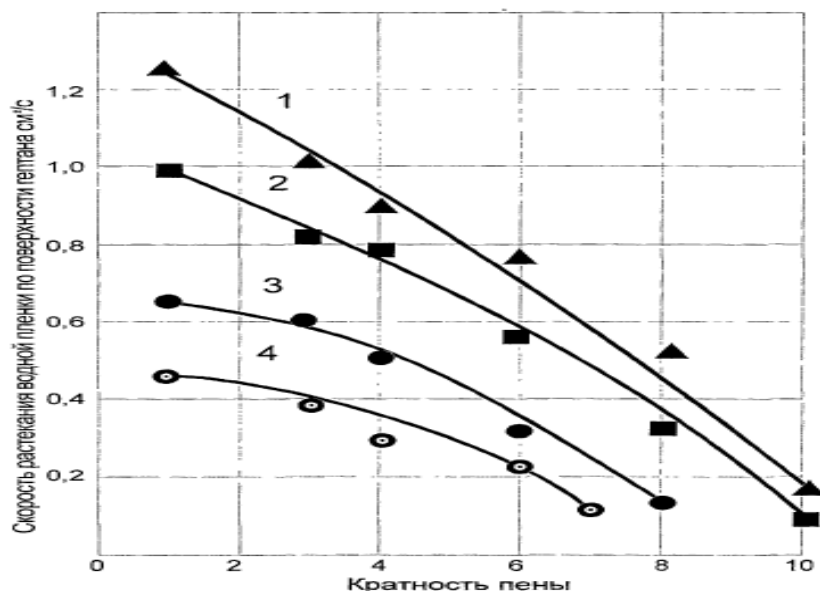


Рис. 1. График зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены

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% 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% масс.

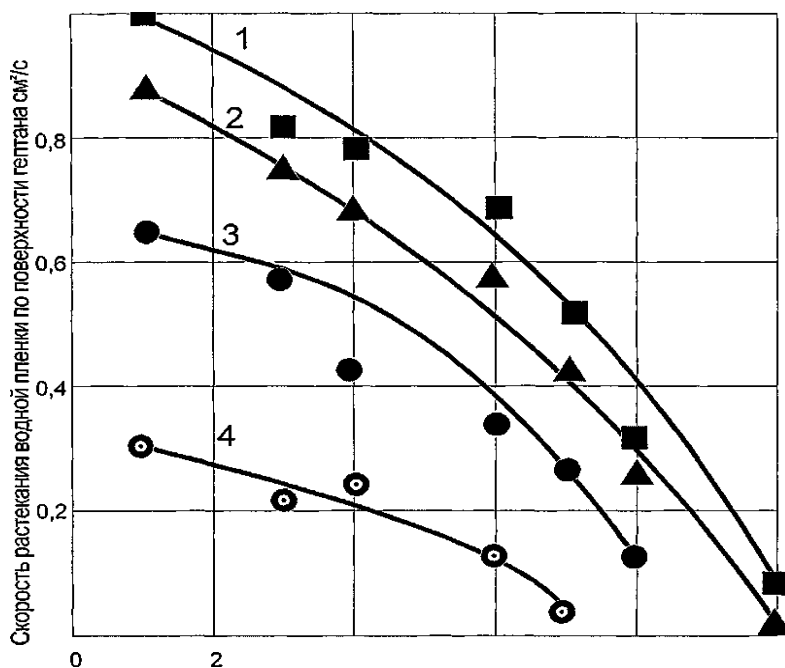




Рис. 2. График зависимости скорости растекания водной пленки от кратности пены

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 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 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 0,828% 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.

Увеличение содержания углеводородного компонента в концентрате ПАВ для приготовления рабочих растворов свыше 25% масс снижает пленкообразующую способность пены. 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.

На основе полученных данных, позволяющих оценить основные параметры тушения углеводорода пеной низкой кратности, образующей водную пленку, делается вывод, что применение пленкообразующей пены низкой кратности 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%.

Доказано, 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.

### *Список литературы*

1. Безродный И.Ф. Тушение нефти и нефтепродуктов: Пособие / И.Ф. Безродный, А.Н. Гилетич, В.А. Меркулов [и др.]. – М., 1996.
2. Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р-50588.93 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Изд. стандартов, 1993.
3. Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 12.3.047.98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/3923968/>
4. Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ 17032–2010 Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70190332/>
5. Кобылкин Н.И. Безопасный слив/налив – это возможно? / Н.И. Кобылкин, Б.Е. Гельфанд // Современная АЗС. – 2010. – №1 (94).
6. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ (в ред. от 13 июня 2015 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/11900785/>
7. 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, 1997.

8. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности Федер. закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12161584/>

9. Физико-химические свойства смесей фторированных и углеводородных ПАВ / Д.Г. Билкун, М.В. Казаков, М.В. Моисеенко [и др.] // Пожаротушение: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1981.

10. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. – М.: Знак, 2000.