

УДК 614.84:331.45

DOI 10.52928/2070-1616-2026-54-2-84-87

**ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ
В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ****д-р техн. наук, проф. С.Г. ЕХИЛЕВСКИЙ, В.К. ЕМЕЛЬЯНОВ**
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

Проведен обзор технологических приемов подачи воздушно-механической пены при подслоном тушении пожаров в вертикальных стальных резервуарах. Определено, что подслоный способ пожаротушения является более эффективным, быстрым, надежным и безопасным по сравнению с остальными способами водопенного тушения возгораний нефти и нефтепродуктов в вертикальных стальных резервуарах. Данный способ надежно защищает от повторного воспламенения горючего, покрытого пленкой, и обеспечивает быстрое растекание пены по горячей поверхности за счет конвективных потоков, перемешивающих поверхностный слой. Выполнен анализ возможности использования существующих технологических коммуникаций вертикальных стальных резервуаров (трубопроводов для слива–налива, линий размывки донных отложений) для реализации подслоного способа пожаротушения. Предложены пути оптимизации технологических параметров подслоного пожаротушения при вводе пены через технологические коммуникации резервуаров.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, воздушно-механическая пена, пожар, резервуар вертикальный стальной, технологический трубопровод, устройство оперативной врезки, генератор пены.

Введение. Одним из приоритетных направлений по предупреждению масштабных утечек нефти и нефтепродуктов является противопожарная защита объектов их хранения. Возникновение пожара в одном из резервуаров, несвоевременная его локализация и ликвидация могут привести к нарушению целостности резервуара, утечке нефти или нефтепродукта, быстрому распространению пожара по всему резервуарному парку, разрушению других резервуаров и еще более масштабному разливу нефти и нефтепродуктов [1].

В установках автоматического пожаротушения, как правило, применяется пена средней кратности с верхним способом подачи. Практический опыт показывает, что подобная технология тушения не является эффективной и надежной. В случае взрыва, обычно предшествующего загоранию, происходит разрушение стационарной системы тушения, расположенной в верхнем поясе резервуара. Поэтому большинство пожаров в резервуарах приходится тушить с помощью передвижной пожарной аварийно-спасательной техники. При этом генераторы огнетушащей пены подаются к верхнему поясу резервуара с помощью автомобильных подъемников. Но большинство огнетушащей пены, поданной таким способом, не попадает в резервуар, поскольку уносится потоками окружающего воздуха и выделяющегося при горении дыма [2].

В связи с этим для тушения резервуаров с нефтью и нефтепродуктами наиболее эффективен подслоный способ пожаротушения, при котором пена подается в слой горючей жидкости [3]. Вместе с тем реализация подслоного способа в Беларуси до 2011 г. была сопряжена с необходимостью капитального ремонта резервуара, что требовало прекращения эксплуатации всего резервуарного парка на время капитального ремонта. С целью обеспечения возможности реализации подслоного способа пожаротушения через существующие технологические коммуникации резервуаров (трубопроводы для слива–налива, линии размывки донных отложений) в МЧС Беларуси были разработаны технология и техника оперативной врезки [4; 5].

Для внедрения указанных технологии и техники в практику пожаротушения необходима разработка методологии, позволяющей определить номенклатуру и количество единиц оборудования, а также требуемый объем огнетушащего вещества (пенообразователя), что определило актуальность и *цель настоящего исследования*.

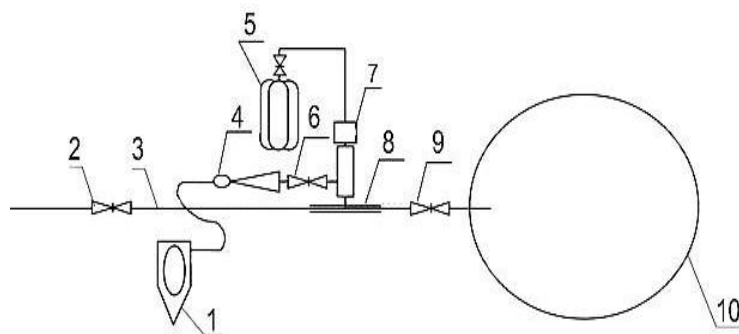
Результаты и их обсуждение. Подслоный способ пожаротушения является более эффективным, быстрым, надежным и безопасным по сравнению с остальными способами водопенного тушения [1; 2]. Подслоный способ внедрен на крупных хранилищах Мозырского НПЗ и Департамента по материальным резервам МЧС. Основное достоинство подслоного способа заключается в надежной защите от повторного воспламенения горючего, покрытого пленкой, и более быстром растекании пены по горячей поверхности, т.к. конвективные потоки перемешивают поверхностный слой.

Согласно результатам исследований [6], подача пены подслоным способом возможна не только через пенопроводы системы пожаротушения, но и через технологические коммуникации (нефтепродуктопроводы, линии размывки донных отложений), расположенные в нижней части резервуара. При этом практически полностью исключается возможность повреждения пеногенераторов и коммуникаций системы тушения взрывами и тепловыми потоками. Пена низкой кратности, поступающая из пеногенераторов, находящихся за обвалованием, выталкивается из трубопроводов горючее и поступает в резервуар, что решает проблему соблюдения требований охраны труда в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям¹.

¹ Об утверждении Правил по охране труда в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: постановление М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 23 окт. 2003 г. № 34 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь – URL: [https://pravo.by/pdf/2003-130/2003-130\(027-077\).pdf](https://pravo.by/pdf/2003-130/2003-130(027-077).pdf) (дата обращения: 20.03.2026).

На сегодня большинство резервуаров не оснащено стационарными системами подслоного пожаротушения. Подслоный способ пожаротушения резервуаров может быть осуществлен с помощью передвижной пожарной аварийно-спасательной техники. В этом случае технологические трубопроводы резервуаров должны быть укомплектованы специальными патрубками для подключения высоконапорных пеногенераторов. Между пеногенератором и продуктопроводом обязательно устанавливается задвижка для предотвращения утечки нефтепродукта после прекращения подачи пены через высоконапорный пеногенератор.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема реализации подслоного способа пожаротушения совместно с технологией оперативной врезки.



1 – пожарный аварийно-спасательный автомобиль; 2, 6, 9 – шаровый кран (задвижка);
3 – технологический трубопровод; 4 – высоконапорный генератор пены;
5 – источник сжатого воздуха; 7 – устройство врезки; 8 – биндаж; 10 – резервуар

Рисунок 1. – Принципиальная схема реализации подслоного способа пожаротушения совместно с технологией оперативной врезки

На рисунке 2 показан общий вид устройства оперативной врезки (вдоль трубопровода), на рисунке 3 – общий вид со стороны сечения трубопровода.

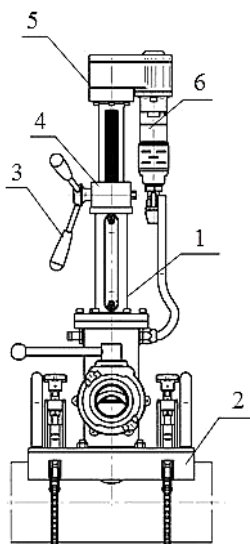


Рисунок 2. – Общий вид устройства оперативной врезки (продольный разрез по трубопроводу)

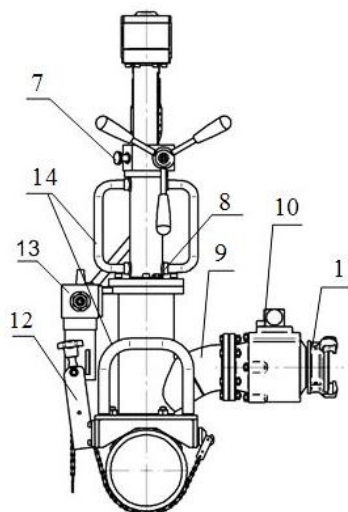


Рисунок 3. – Общий вид устройства оперативной врезки со стороны поперечного сечения трубопровода

Согласно результатам исследований [6], диаметр продуктопровода должен обеспечивать линейную скорость движения пены не более 3 м/с. При несоблюдении данного условия тушение такого резервуара подслоным способом через продуктопровод невозможно: происходит захват горючей жидкости потоком всплывающей пены, в результате чего пена теряет свои огнетушащие свойства. Так, резервуар РВС-1000 на нефтебазе РУП «Белоруснефть-Брестоблнефтепродукт» концерна «Белнефтехим» (пожар 3 мая 2008 г.), оснащенный продуктопроводом диаметром 150 мм, мог быть потушен подслоным способом. Единственной проблемой, препятствовавшей этому, стало отсутствие патрубка для ввода пены в технологический трубопровод.

Как показано в [4], эффективность подслоного тушения максимальна при линейной скорости введения пены в слой горючего в диапазоне 0,5 до 3 м/с. Для получения пены используется водный рабочий раствор фторсинтетического пенообразователя для тушения пожаров типа AFFF. Получение рабочего раствора пенообразователя осуществляется с помощью пеносмесителей или дозирующих устройств непосредственно перед использованием.

При введении пены под слой подтоварной жидкости минимальное время тушения достигается при скорости подачи пены 2 м/с [5].

В соответствии с [6], расчетное количество пеногенераторов, необходимых для тушения резервуара, рассчитывается исходя из нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя, площади тушения и расхода раствора пенообразователя через пеногенератор. Полученный результат округляется до целого числа в большую сторону.

Требуемое количество раствора пенообразователя для тушения горючей жидкости в резервуаре определяется, основываясь на расчетном (нормативном) времени тушения, а расчетный запас пенообразователя – на требованиях трехкратного запаса согласно постановлению МЧС².

Работоспособность системы подслоного тушения определяется давлением пены на выходе из высоконапорного пеногенератора исходя из условия, что давление пены на выходе из пеногенератора не ниже суммы гидростатического давления горючей жидкости, местных потерь давления в трубопроводе, линейных потерь давления в трубопроводе и давления, необходимого для обеспечения подачи пены в слой горючей жидкости. При этом гидростатическое давление горючей жидкости определяется как произведение плотности горючей жидкости на ускорение свободного падения и максимальную высоту налива горючей жидкости в резервуаре.

Согласно [7], подача пены подслоным способом осуществляется как стационарными автоматическими системами пожаротушения, так и от передвижной пожарной техники с помощью стационарных вводов пены в резервуар, оборудованных высоконапорными пеногенераторами (далее – ВПГ). Для подключения ВПГ к технологическим коммуникациям резервуаров, не оснащенных стационарными системами пожаротушения и вводами пены, применяется технология оперативной врезки³.

При совместном использовании подслоного способа пожаротушения с технологией оперативной врезки подключение оборудования для тушения производится в первые минуты после возникновения возгорания, пена через пеногенератор и устройство оперативной врезки подается в технологический трубопровод, а затем в слой горючей жидкости.

Для установления оптимальных значений технологических параметров тушения, обеспечивающих заданные временные показатели (критерии) тушения, авторами работы [8] проведены экспериментальные исследования процесса движения огнетушащей пены на всех этапах и разработана математическая модель, устанавливающая взаимосвязь характеристик процесса подслоного тушения, реологических свойств нефтепродукта, времени прохождения пены по технологическому трубопроводу до выхода в резервуар.

Расчет времени прохождения пены выполняется исходя из скорости ее движения, значения расхода раствора пенообразователя [9]. При расчете времени подъема пены представлен алгоритм расчета времени достижения поверхности нефтепродукта первой порцией пены, т.е. момент начала процесса растекания пены по поверхности. Затем процессы подъема пены в резервуаре и растекания по поверхности идут параллельно и одновременно. Время растекания пены по поверхности горения описано выражением, приведенным в трудах А.Ф. Шароварникова [1; 3; 8]. Таким образом, суммируя время движения огнетушащей пены на всех трех этапах – движение по трубопроводу от места врезки до резервуара, подъем в резервуаре и растекание по поверхности нефтепродукта, получают полное время тушения, которое является основным критерием эффективности тушения.

Заключение. С целью внедрения подслоного способа пожаротушения резервуаров, не оснащенных автоматическими системами подслоного тушения и стационарными патрубками для ввода пены, совместно с технологией оперативной врезки актуальной представляется разработка методологии определения номенклатуры и количества единиц техники, реализующей технологию оперативной врезки. Для этой цели целесообразно разработать алгоритмы оптимизации подачи воздушно-механической пены. Выполнение указанной задачи будет способствовать повышению уровня пожарной безопасности, снижению ущерба, травматизма и гибели персонала на объектах хранения нефти и нефтепродуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов подачей пены в слой горючего. – М.: Пожкнига, 1996. – С. 27–36.

² Об утверждении Правил по охране труда в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: постановление М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 23 окт. 2003 г. № 34 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь – URL: [https://pravo.by/pdf/2003-130/2003-130\(027-077\).pdf](https://pravo.by/pdf/2003-130/2003-130(027-077).pdf) (дата обращения: 20.03.2026).

³ Разработать тактику тушения подслоным способом нефти и нефтепродуктов в резервуарах, не оборудованных стационарной системой пожаротушения: отчет о НИР (заключ.) / НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси; рук. О.В. Черневич. – Минск, 2010. – 53 с. – № ГР 2009141.

2. Сучков В.П., Молчанов В.П. Варианты развития пожара в хранилищах нефтепродуктов // Пожарное дело. – 1994. – № 11. – С. 40–44.
3. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П. Подслоное тушение // Пожарное дело. – 1995. – № 1. – С. 40–41.
4. Способ оперативной врезки и оборудование для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах, не оснащенных стационарными системами пожаротушения и пенопроводами / В.К. Емельянов, С.М. Малашенко, О.В. Черневич и др. // Проблемы техносферной безопасности – 2012: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов / Москва (10 апр. 2012 г.) / Академия ГПС МЧС России. – М., 2012. – С. 83–85.
5. Устройство врезки в продуктопровод для подачи воздушно-механической огнетушащей пены в горящий резервуар / С.М. Малашенко, О.О. Смиловенко, В.К. Емельянов и др. // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2(32). – С. 148–156.
6. Экспериментальное определение норм технологических режимов и технологических приемов подслоного тушения пожаров в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов / С.М. Малашенко, О.Д. Навроцкий, О.О. Смиловенко и др. // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1(33). – С. 78–85.
7. Тербнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Пожкнига, 2004. – С. 34–37.
8. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Факторы, снижающие огнетушащую эффективность послойной системы при тушении пламени нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 56–67.
9. Минкин Д.Ю., Малашенко Д.Ю., Смиловенко О.О. Повышение эффективности подслоного тушения резервуаров с нефтепродуктами // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2016. – № 1(37). – С. 47–54.

Поступила 13.04.2026

TECHNOLOGY AND TECHNIQUES OF OIL AND OIL PRODUCTS FIRE ELIMINATION IN VERTICAL STEEL TANKS

S. EKHILEVSKY, V. YEMIALYANAU
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

A review of air-mechanical foam delivery techniques for subsurface fire suppression in vertical steel storage tanks is provided. Subsurface fire suppression is found to be more effective, faster, more reliable, and safer than other water-foam methods for extinguishing oil and petroleum product fires in vertical steel storage tanks. This method reliably prevents the rekindling of film-coated fuel and ensures rapid foam spreading over the burning surface due to convective currents mixing the surface layer. An analysis is made of the feasibility of using existing vertical steel storage tank utilities (filling/unloading pipelines, bottom sediment cleaning lines) for subsurface fire suppression. Optimization of subsurface fire suppression parameters when foam is injected through the storage tank utilities is proposed.

Keywords: oil, petroleum products, air-mechanical foam, fire, vertical steel storage tank, utility pipeline, rapid tapping device, foam generator.