

*А.В. Савченко, к.т.н., с.н.с, зам. нач. каф., НУГЗУ,
А.Е. Басманов, д.т.н., проф., главн.н.с., НУГЗУ,
О.А. Островерх, к.пед.н., доцент, нач.каф., НУГЗУ*

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦИСТЕРН С НЕФТЕПРОДУКТАМИ ОТ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА

В работе теоретически обосновано и практически реализовано техническое решение подачи компонентов гелеобразующих систем (ГОС). Это позволяет реализовать концепцию использования гелей для защиты цистерн с нефтепродуктами от теплового излучения. Определено время реагирования при пожаре на сливно-наливных эстакадах. Выработаны критерии подачи компонентов ГОС для охлаждения стенок железнодорожных цистерн. Эжекционный способ подачи компонентов ГОС определен как перспективный. Разработано и изготовлено устройство которое позволяет подавать компоненты ГОС без конструктивных изменений в штатной пожарной технике.

Ключевые слова: гелеобразующая система, охлаждение, тушение, резервуар, цистерна, эстакада, нефть.

Постановка проблемы. В мире доля транспортировки нефтепродуктов железнодорожным транспортом составляет около 40%. В 2017 году по железным дорогам Украины было перевезено 12,4 млн. т нефти и нефтепродуктов. Около 80% аварий на железнодорожном транспорте, связанных с пожарами, составляют пожары нефтепродуктов. В период с 2000 по 2010 год на территории стран постсоветского пространства произошло более 6500 аварийных ситуаций при перевозке нефтепродуктов в вагонах-цистернах железнодорожным транспортом, из них более 2700 было связано с утечками горючих жидкостей и их возгоранием вследствие повреждений котлов таких цистерн [1]. Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих способов и средств тушения, и защиты элементов системы транспортировки, и хранения нефтепродуктов является актуальной проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из главных элементов системы транспортировки и хранения нефтепродуктов являются резервуарные парки и сливно-наливные эстакады. Их проектирование строго регламентируется нормативными документами. Тем не менее, ряд аварий сопровождается каскадным распространением пожара [2, 3].

Общим принципом при ликвидации пожаров в резервуарных парках и на железной дороге является защита аппаратуры и стенок соседних резервуаров от теплового излучения [4, 5]. Существующие способы защиты резервуаров от теплового излучения проанализированы в работе [6]. Сделан вывод, что все применяемые способы обладают общими недостатками, которые характерны для воды. Незначительная вязкость обуславливает низкую способность воды к удерживанию на вертикальных и наклонных поверхностях. Так, для гладких не пропитываемых материалов удержива-

ется лишь $\sim 0,1$ кг/м² воды [7]. Также в работе [6] предложено использование гелеобразующих систем (ГОС) для охлаждения стенок резервуаров и цистерн с углеводородами от теплового воздействия пожара.

Компоненты ГОС – раствор сульфата щелочного металла. Вторым компонентом – раствор силиката. При одновременной подаче двух составов они смешиваются на защищаемых или горящих поверхностях и образуют слой стойкого геля. В отличие от жидкостных средств пожаротушения, ГОС практически на 100% остается на защищаемой поверхности. К тому же, толщину гелевой пленки при необходимости можно регулировать, увеличивая ее в особо опасных местах. При этом гель на 85-95% состоит из воды.

По сравнению с водой ГОС имеют преимущество, заключающееся в существенном уменьшении потерь за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Другим преимуществом ГОС является их высокое огнезащитное действие. На первом этапе это обусловлено охлаждающим действием воды, содержащейся в геле. После испарения всей воды образуется пористый слой высушенного геля (ксероргель), который затрудняет передачу тепла защищаемой поверхности, на которую он нанесен, за счет своей низкой теплопроводности. Однако, в работе не рассмотрены вопросы практического применения ГОС.

Детальный анализ реализованных на практике устройств подачи ГОС проведен в работе [8]. Отмечается, что существующие экспериментальные ранцевые установки подачи ГОС имеют существенные ограничения по дальности подачи. Авторами предложена новая установка АУТГОС-М, которая предназначена для тушения пожаров и для защиты соседствующих с очагом пожара объектов жидкофазными огнетушащими веществами дистанционно (с расстояний до 10 метров). Следует отметить, 10 метров тоже недостаточная дальность для безопасной подачи компонентов ГОС для охлаждения резервуаров и цистерн с нефтепродуктами.

Применительно к сливно-наливным эстакадам, необходимо учитывать время за которое произойдет нагрев цистерн до температуры самовоспламенения хранящегося нефтепродукта с последующим взрывом или пожаром.

Поэтому проблема разработки новых устройств подачи ГОС или доработки существующих остается актуальной.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является техническая реализация подачи компонентов ГОС для охлаждения стенок железнодорожных цистерн на сливно-наливных эстакадах.

Для определения параметров подачи компонентов ГОС необходимо учитывать время до наступления критической температуры при нагреве цистерны с нефтепродуктами. Это позволит сформировать общие требования (расход, интенсивность) к подаче ГОС. Следующим шагом будет рассмотрение существующих принципов и устройств подачи компонентов ГОС с определением перспективной технологии, которая позволит перейти к реализации концепции использования ГОС при тушении сливно-наливных эстакад.

Задачи исследования:

1. Определение времени реагирования на возникновение пожара на

сливно-наливной эстакаде.

2. Анализ существующих технических решений для подачи ГОС.

3. Определение технических требований к практическому устройству получения и подачи ГОС.

Решение данных задач позволит на практике реализовать устройство получения и подачи ГОС большими объемами и на дальнее расстояние. Проведем анализ существующих подходов моделирования пожаров цистерн с углеводородами и определим время, за которое должно начаться охлаждение цистерн с нефтепродуктами при пожаре.

При возникновении пожара пролива на сливно-наливной эстакаде одной из главных угроз распространения пожара является нагрев сухой стенки цистерны до температуры самовоспламенения паров жидкости, хранящейся в ней, с возможным последующим взрывом и горением. Именно в этот промежуток времени необходимо эвакуировать цистерны из зоны теплового воздействия или начать их охлаждение. Поэтому время от начала теплового воздействия на цистерну до наступления одного из критических показателей назовем временем реагирования. Для грубых расчетов, за время реагирования можно использовать результаты эмпирических исследований, представленных в табл. 1. [9].

Табл. 1. Критическое время теплового воздействия пожара

Следствие теплового воздействия пожара	Время, мин.
Взрыв закрытой цистерны с горючей или легковоспламеняющейся жидкостью	10-15
Потеря несущих способностей металлоконструкций эстакады и ее частичное разрушение	10-20
Деформация рельсов	10-20
Потеря герметичности запорной арматурой	3-6

Естественным недостатком представленных значений является то, что результаты получены в конкретных условиях. Не учитывается ряд факторов которые в значительной степени могут повлиять на время:

- площадь горения;
- вид горящего вещества;
- расстояние от цистерны до очага горения;
- направление и скорость ветра, наклоняющего факел, и др.

Более точно спрогнозировать тепловое воздействие пожара на цистерну при условии соприкосновения с ней позволяют результаты работы [10]. На рис. 1 приведена динамика изменения температуры сухой стенки при различных видах горящей жидкости. При этом не учитывался теплообмен за счет теплопроводности стальной стенки.

Несмотря на различное удельное тепловыделение пожара рассмотренных горючих жидкостей и, следовательно, различную скорость изменения температуры и ее максимальное значение, для всех приведенных случаев характерно быстрое достижение сухой стенкой цистерны температуры самовоспламенения паров жидкости, хранящейся в ней. Это время составляет 1÷3 мин. в зависимости от горящей и содержащейся в цистерне жидкости.

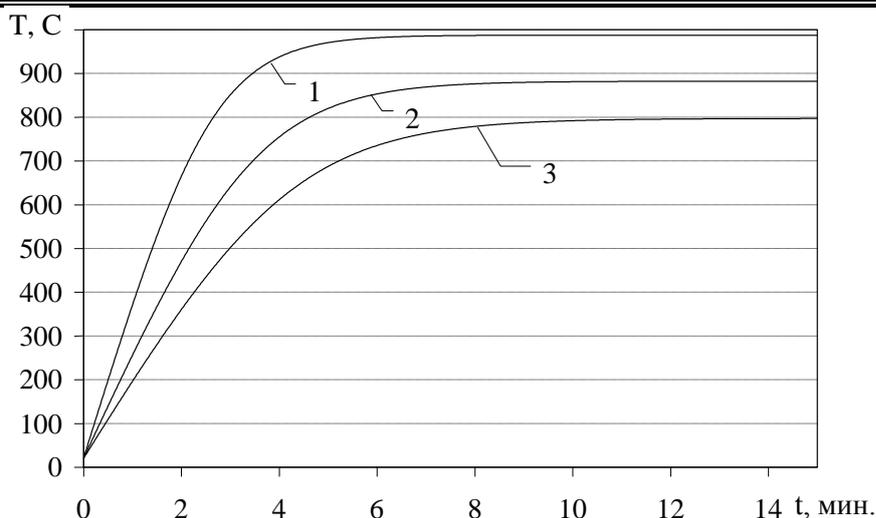


Рис. 1. Динамика изменения температуры сухой стенки цистерны, соприкасающейся с пламенем, в зависимости от вида горячей жидкости: 1 – бензин; 2 – сырая нефть; 3 – мазут

Ввиду того, что в пустой цистерне сохраняется взрывоопасная концентрация паров, то нагрев ее стенки также опасен, как и нагрев сухой стенки заполненной цистерны. В случае соприкосновения пламени со смоченной стенкой цистерны, нагрев стенки цистерны приводит к кипению жидкости в пристеночном слое (рис. 2).

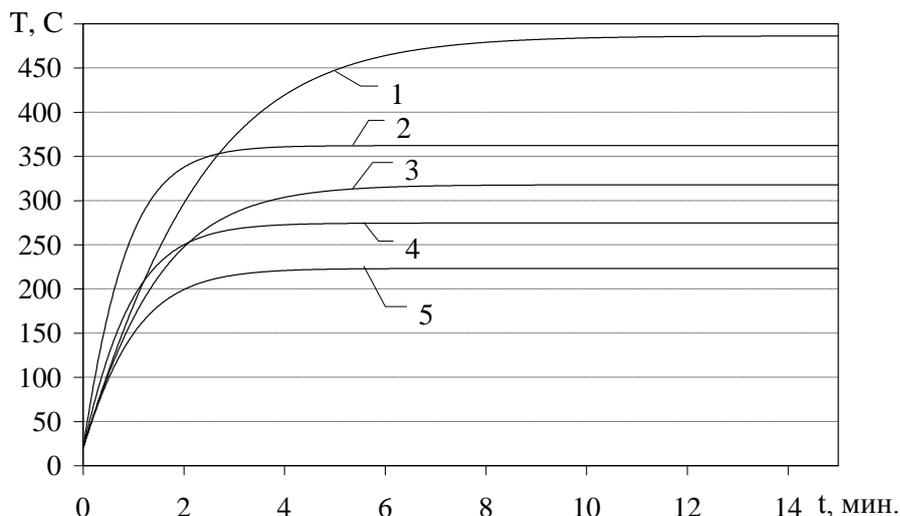


Рис. 2. Динамика изменения температуры смоченной стенки цистерны, соприкасающейся с пламенем, для некоторых пар «горячая жидкость – жидкость в цистерне»: 1 – «мазут – мазут»; 2 – «бензин – бензин»; 3 – «мазут – нефть»; 4 – «нефть – бензин»; 5 – «мазут – бензин»

Непосредственно это не может послужить причиной взрыва цистерны, т.к. в месте кипения отсутствует кислород. Однако, если в область действия пламени попадает запорная арматура, то ее нагрев приведет к разгерметизации и вытеканию жидкости из цистерны в очаг горения.

В обоих рассмотренных вариантах время достижения опасной температуры составляет 1÷3 мин. Оно слишком мало для того, чтобы обеспечить развертывание и начало охлаждения цистерны аварийно-спасательными подразделениями. Обеспечить защиту возможно только

путем выведения цистерны из опасной зоны либо ее охлаждения с помощью стационарных установок. Примем этот временной промежуток за время реагирования и определим его значение 3 минуты.

Для решения второй задачи исследования рассмотрим вопрос технической реализации подачи компонентов ГОС. Проведем анализ существующих способов подачи огнетушащих веществ (ОВ) и возможность их практического применения для формирования слоя геля на защищаемой поверхности. Для анализа возьмем реализованные на практике способы подачи жидкостных ОВ.

1. Подача ОВ центробежным насосом. Преимущества: наиболее распространенный способ для подачи воды, использование штатной пожарной техники, большая дальность подачи.

Недостатки. Использование данного способа сомнительно. Так как подача двух растворов через один насос приведет к гелеобразованию уже в полости насоса и рукаве. Как следствие возможно образование пробки и прекращение подачи ОВ. При использовании двух насосов возникают трудности синхронизации подачи растворов. Возникает необходимость прокладки двух рукавных линий.

2. Гидравлическая и пневматическая подача ОВ. Преимущества: используются при проведении лабораторных исследований свойств ГОС (опрыскиватели ОП-301). Для экспериментов на стандартизированных модельных очагах и апробации в реальных условиях изготовлены «АУТГОС» (с гидравлическим распылом) (рис. 3 (а)) и «АУТГОС-П» (с пневматическим распылом) (рис. 3 (б)) [11].

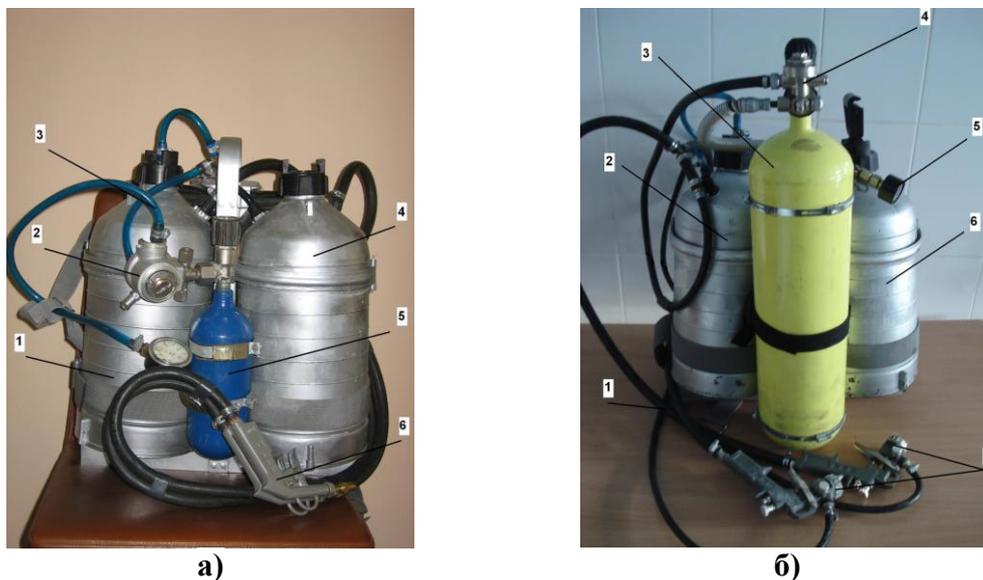


Рис. 3. Внешний вид автономной установки пожаротушения ГОС АУТГОС (а) и автономной установки пожаротушения ГОС АУТГОС-П (б)

Авторы установки АУТГОС-М (рис. 4) [12] смогли добиться подачи компонентов ГОС на дистанцию до 10 м.

В результате дополнительных исследований предложено:

- разводить по углам возвышения и рыскания два ствола-распылителя для того, чтобы конусы распыла этих стволов пересекались на третьем этапе движения бинарного потока ГОС;



Рис. 4. Внешний вид установки АУТГОС-М

- осуществлять распыление плоскими радиальными струями.

Данные методы позволяют получить мелкодисперсные капли, что положительно влияет на формирование геля на защищаемой поверхности.

Недостаток. Необходимость использования баллона со сжатым воздухом либо компрессора. Для увеличения дальности подачи ОВ нужно увеличивать давление в системе, что приводит необходимости увеличения прочностных характеристик емкостей для хранения компонентов ГОС и повышает требования к герметичности. Следствием этого является существенное ограничение по дальности подачи ОВ.

3. Подача ОВ с помощью эжекции. Технология реализована в штатной пожарной технике (пеносмеситель ПС-5), используется для дозированного добавления в воду раствора пенообразователя и получения воздушно-механической пены. При штатном использовании пеносмесителя данный способ обладает теми же недостатками, что и подача готовых растворов ГОС непосредственно с помощью насоса.

Возможным вариантом решения этой проблемы является установка эжекционного устройства непосредственно перед стволом. Вода, подаваемая насосом, с помощью эжекции перемещает растворы компонентов ГОС непосредственно в ствол. Принципиальная схема представлена на рис. 5.

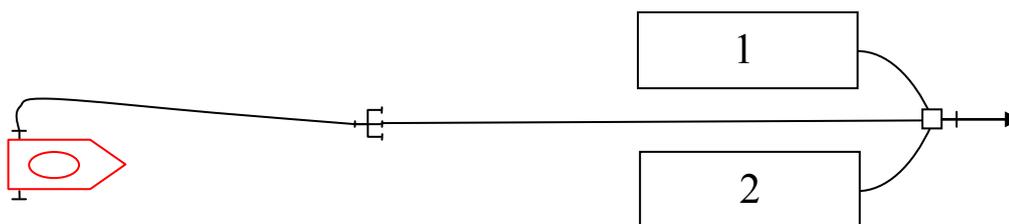


Рис. 5. Принципиальная схема подачи ГОС с использованием штатной пожарной техники: 1 – гелеобразователь; 2 – катализатор гелеобразования

Ожидается, что за счет относительно малых геометрических размеров ствола забивание его гелем будет исключено. Подобный принцип (с твердой вставкой смачивателя) реализован в тубус-смесителе и стволе Rambojet [13]. При соответствующем подборе дозаторов можно использовать насыщенные или близкие к насыщенным растворы компонентов ГОС. Это позволит на порядок увеличить объем получаемого геля.

При реализации данной схемы сохраняется возможность подачи ОВ на дальние расстояния, при этом отсутствует необходимость вносить конструктивные изменения в штатную пожарную технику рис. 6, 7. [14].

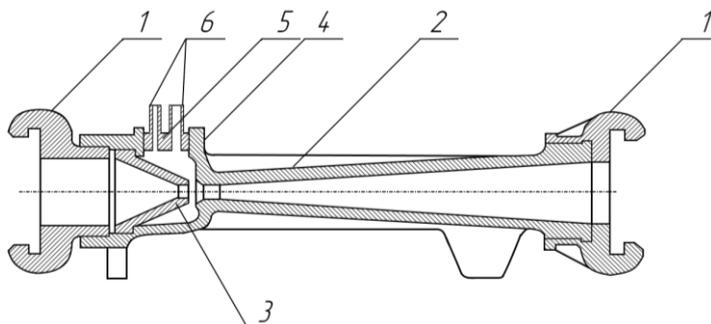


Рис. 6. Схема переносного устройства эжекционного типа для получения огнетушащего геля : 1 – соединительные головки, 2 – корпус, 3 – сопло, 4 – забортная горловина, 5 – дозирующая шайба, 6 – калиброванные штуцера



Рис. 7. Внешний вид переносного устройства эжекционного типа для получения огнетушащего геля

Данное техническое решение позволяет расширить практическое применение ГОС. Например, в «АУТГОС» суммарно находится 12 литров готовых растворов компонентов ГОС ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 3,8%, CaCl_2 – 11,4%). Это обеспечивает эффективную площадь тушения/защиты 15-20 м². При использовании в этой установке насыщенных растворов компонентов $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 36%, CaCl_2 – 42,7% и эжекционной вставки площадь тушения и/или защиты составит 250-300 м².

При решении третьей задачи исследования определения технических требований к практическому устройству получения и подачи ГОС необходимо рассмотреть существующие нормативные интенсивности подачи воды для охлаждения цистерн табл. 2.

Также рассмотрим интенсивности подачи воды для защиты и тушения других видов вагонов табл. 3. [15].

Табл. 2. Интенсивность подачи воды для охлаждения цистерн с ЛВЖ и ГЖ

Огнетушащие средства	Интенсивность подачи воды, л/м ² ·с	
	В зоне горения	На соседних путях
Компактные струи воды из ручных и лафетных стволов	0,2	0,15
Распыленные струи воды, подаваемые из ручных стволов	0,1	0,05
Распыленные струи воды из турбинных распылителей и пена низкой кратности	0,1	0,05

Табл. 3. Интенсивность подачи распыленной воды для тушения и защиты подвижного состава

Вид подвижного состава	Интенсивность подачи распыленной воды, л/м ² ·с	
	для тушения	для защиты
Пассажирский, почтово-багажный	0,2	0,15
Рефрижераторный	0,35	0,15
Грузовой с твердыми горючими материалами	0,2	0,1
Грузовой с хлопчатобумажной продукцией	0,25	0,1

Обеспечить такую интенсивность подачи воды на начальном этапе развития пожара (до прибытия аварийно-спасательных подразделений) могут только стационарно установленные лафетные стволы. Поэтому устройства подачи ГОС по своим характеристикам должны приближаться к существующим техническим средствам подачи ОВ.

В результате анализа определено минимальное время реагирования на возникновение пожара на сливно-наливной эстакаде, которое составляет 3 минуты. Проведен анализ существующих и определены технические требования к практическому устройству подачи ГОС. Как перспективный определен эжекционный способ подачи компонентов ГОС. Практически реализовано техническое устройство получения и подачи ГОС.

Из применяемых на практике принципов подачи жидкостных ОВ определена перспективная технология смешивания и подачи компонентов гелеобразующих систем. Предложенная технология реализована на практике. Изготовлено и запатентовано переносное устройство эжекционного типа для получения огнетушащего геля. Согласно проведенного анализа, время реагирования на возникновения возгорания на сливно-наливных эстакадах нефтепродуктов составляет 3 минуты.

Выводы. Определено время реагирования на возникновение пожара на сливно-наливной эстакаде. Проведен анализ существующих технических решений для подачи компонентов ГОС. Определены технических требований к практическому устройству получения и подачи ГОС. В результате решения поставленных задач выработаны критерии подачи компонентов ГОС для охлаждения стенок железнодорожных цистерн на сливно-наливных эстакадах. Эжекционный способ подачи компонентов ГОС определен как перспективный. Предложена техническая реализация данной технологии подачи компонентов ГОС. Изготовлено и запатентовано переносное устройство эжекционного типа для получения огнетушащего геля. Данное устройство позволяет на практике реализовать кон-

цепцию использования ГОС для защиты цистерн с нефтепродуктами от теплового воздействия пожара. При этом отсутствует необходимость конструктивных изменений в штатной пожарной технике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шостак Р.М. Ризики виникнення пожеж під час експлуатації залізничних цистерн з пошкодженнями типу "вмятина": автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 «Пожежна безпека» / Р.М. Шостак. – К., 2012. – 22 с.

2. M.S. Mannan / A technical analysis of the buncefield explosion and fire / M.S. Mannan, M.K. O'Connor / Hazards XXI: Process Safety and Environmental Protection in a Changing World, was held at The Weston Building, Manchester Conference Centre, University of Manchester on 10-12 November 2009 symposium series no. 155 Hazards XXI p. 662-673.

3. Fu-zhen Chen / Risk Analysis on Domino Effect Caused by Pool Fire in Petroliferous Tank Farm / Fu-zhen Chen, Ming-guang Zhang, Jian Song, Feng Zheng // Journal of Loss Prevention in the Process Industries Volume 211, 2018, Pages 46-54.

4. M. Ebrahemzadih / The Analysis of Process Accidents Due to Risks in the Petrochemical Industries— The Case Study of Radiation Intensity Determination Proportional to Distance from Tank Level / M. Ebrahemzadih, A.Maleki, E.Darvishi, M. Meimanat Abadi, S. Dehestaniathar // Open Journal of Safety Science and Technology, 2015, 5, 21-26.

5. P. Moshashaei / Investigate the Causes of Fires and Explosions at External Floating Roof Tanks: A Comprehensive Literature Review / P. Moshashaei, S. Shamseddin, A. Leila Khazini, M. Asghari-Jafarabadi // Journal of Failure Analysis and Prevention, October 2017, Volume 17, Issue 5, pp 1044–1052.

6. Савченко А.В. Моделирование теплозащитных свойств гелеобразующих систем при ликвидации пожаров в резервуарных парках хранения нефтепродуктов / А.В. Савченко, О.А. Островерх // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2016. – Вып. 39. – С. 243 – 249. Режим доступа к журн.: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1054>.

7. Ross R.H. Moisture of material surfaces / R.H. Ross, D.L. Honkonen, S.R. Salaymeh // Trans. Amer. Nucl. Soc. – 1991. – V. 63. – P. 218-220.

8. Сенчихин Ю.Н. Тактика подачи потока струй огнетушащих составов установками типа АУТГОС / Ю.Н. Сенчихин, В.В. Сыровой, К.М. Остапов, // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2017.– Вып. 41. – С.168 – 176. Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol41/sencihin.pdf>.

9. Бабенко Ю.В. Пожежна безпека залізничних зливно-наливних естакад для нафти та нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа / Ю.В. Бабенко, В.Г. Дудченко, А.М. Басаєв. – Луганськ, 2003. – 69 с.

10. Локализация пожаров нефтепродуктов на железнодорожном транспорте / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, М.Р. Байтала. – Харьков: НУЦЗУ, 2011. – 110 с.

11. Савченко О.В. Визначення показника вогнегасної здатності оптимізованого кількісного складу гелеутворюючої системи $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ на стандартизованому модельному вогнищі пожежі / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, О.О. Островерх // Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр. – Харьков, 2011. – Вып. 29. – С.149 – 155. Режим доступа к журн.: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1083>.

12. Сенчихин Ю.Н. Тактика подачі потоку струй огнетушачих составлюючих установками типу АУТГОС / Ю.Н. Сенчихин, В.В. Сыровой, К.М. Остапов // Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр. – Харьков, 2017. – Вып. 41. – С. 168 – 176.

13. Rambojet system / Режим доступа к журн.: <https://www.horpol.com/en/2/75-48,System-RAMBOJET,System-Rambojet>.

14. Пат. 118468 Україна МПК7 (2006) А62С 13/00, А62С 31/00, F04F 5/00 Переносний пристрій ежекційного типу для отримання вогнегасного гелю / Саченко О.В, Виноградов С.А., Кіреєв О.О., Калиновський А.Я., Островерх О.О., Баркалов В.Г. заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – u201701868. Заявл. 27.02.2017; Патент опубліковано 10.08.2017; бюл. № 15/2017. Режим доступа к журн.: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5369>.

15. Кацман М.Д. Ліквідація пожеж на залізничному транспорті / М.Д. Кацман, Г.Б. Кононов, І.В. Віденко, Н.В. Огороднічук – К.: Основа, 2006. – 216 с.

Получено редколлегией 10.03.2018

О.В. Савченко, О.Є. Басманов, О.О. Островерх

Реалізація концепції використання гелеутворюючих систем для захисту цистерн з нафтопродуктами від теплового впливу пожежі

В роботі визначено час реагування при пожежі на зливно-наливних естакадах. Вироблені критерії подачі компонентів гелеутворюючих систем для охолодження стінок залізничних цистерн. Ежекційний спосіб подачі компонентів визначено як перспективний. Запропонована технічна реалізація даної технології подачі компонентів. Розроблений пристрій дозволить виконувати дану роботу без конструктивних змін в штатній пожежній техніці.

Ключові слова: гелеутворююча система, охолодження, гасіння, оперативний вогнезахист, нафтопродукти.

A. Savchenko, O. Basmanov, O. Ostroverch

Implementation of the concept of the use of gel-forming systems for the protection of oil drains of oil products from the thermal impact of fire

The paper proposes technical solutions for the implementation of the concept of using gel-forming systems for cooling tanks with oil products on the loading and unloading trestles from the thermal impact of a fire. As a result of the analysis, the reaction time for a fire on the overhead ramps is determined, which is 3 minutes. Criteria for supplying components of gel-forming systems for cooling rail car tanks have been developed. The analysis of existing technical solutions for the supply of components of gel-forming systems is carried out. The ejection method of feeding gel-forming systems has been determined as a promising one. It was concluded that the required intensity of fire extinguishing agent supply is possible only with the use of permanently installed gun masts. A technical solution for the implementation of this technology is proposed. The developed device will allow to carry out this work without structural changes in the standard fire fighting equipment.

Keywords: gelling system, cooling, quenching, tank, tank, overpass, oil.