

---

**УДК 614.84**

*А.В. Савченко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., зам. нач. каф. НУГЗУ,  
О.А. Островерх, канд. пед. наук, доцент, нач. каф. НУГЗУ,  
И.М. Хмыров, канд.психол. наук, ст. препод., НУГЗУ,  
Т.М.Ковалевская, ст. препод., НУГЗУ*

## **ОЦЕНОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ОТ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА**

В работе представлены результаты оценочного испытания технологии использования гелеобразующих систем (ГОС) для защиты резервуаров хранения нефтепродуктов от теплового воздействия пожара.

Ключевые слова: гелеобразующая система, резервуар, охлаждение, теплозащита.

**Постановка проблемы.** Пожары на объектах добычи, транспортировки, хранения, переработки нефти и нефтепродуктов приводят к масштабным катастрофическим последствиям. В Украине за последние 20 лет на данных объектах из 200 пожаров 92% возникло в наземных резервуарах (из них 26% - в резервуарах с нефтью, 49% - с бензином и 24% - в резервуарах с мазутом, дизтопливом и керосином). Чаще всего пожары возникали в резервуарах типа РВС-5000 (32% от общего количества), РВС-3000 (27%), РВС-10000 и РВС-20000 (19%) [1]. Резонансный пример – пожар на складе нефтепродуктов компании «БРСМ» 8 июня 2015 года возле города Васильково Киевской области. В результате пожара погибло 6 человек и пострадало 15.

Способы ликвидации пожаров на данной категории объектов изучены достаточно полно. Тем не менее, 25% пожаров на нефтебазах носит затяжной характер и заканчивается полным выгоранием нефтепродуктов. Как правило, стоимость нефтепродуктов, находящихся в резервуаре, в разы, а иногда и на порядок превышает стоимость самих резервуаров. Поэтому разработка новых огнетушащих веществ (ОВ), устройств и приемов подачи, которые позволяют сократить время ликвидации пожаров на объектах нефтеперерабатывающего комплекса, являются актуальной проблемой.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Основные физические и математические модели, описывающие поведение резервуара при тепловом воздействии пожара, представлены в работах [2-5].

Механизмы тушения пожаров разливов нефти и нефтепродуктов хорошо изучены. Например, в [4] приводятся описания реальных пожаров в резервуарных парках, а также различные экспериментальные данные, в том числе, полученные и при натуральных испытаниях. Сам процесс пожаротушения резервуарных парков нефтепродуктов достаточно жестко регламентирован рядом нормативных документов, например [6]. Основным ОВ для ликвидации горения нефтепродуктов (разлив или горение резервуара) является пена.

Важным составляющим успешной ликвидации пожара в резервуарных парках (а чаще минимизации ущерба от пожара) является предотвращение распространения пожара на соседние резервуары, здания или конструкции. На практике это означает непрерывную подачу воды для охлаждения объектов от теплового излучения пожара. Охлаждающее действие огнетушащего состава складывается из нескольких составляющих. Тепло может поглощаться за счёт нагревания (теплоёмкостная составляющая), его плавления, испарения. Также возможно поглощение тепла за счёт протекания химических превращений происходящих при нагревании огнетушащей композиции. Охлаждающее действие воды связано с нагревом и испарением. При организации пожаротушения в резервуарных парках используются следующие технические устройства:

- стационарно установленные на резервуарах системы орошения;
- различного рода гидромониторы, расположенные за обвалованием резервуара;
- подача воды через лафетные или ручные стволы от передвижной пожарной техники.

Каждое устройство обладает известными недостатками. Например, анализ известных пожаров в резервуарных парках показал, что при взрыве и под тепловым воздействием, стационарные установки тушения и орошения выходят из строя [4].

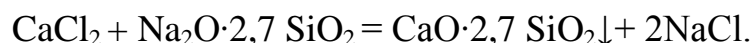
Гидромониторы позволяют подавать воду на значительные расстояния, что обеспечивает максимальную безопасность личного состава. К недостаткам относится достаточно высокая стоимость установки. Поэтому в практике пожаротушения использование стволов от передвижной пожарной техники остается основным способом охлаждения резервуаров [6].

Все перечисленные способы обладают общими недостатками, которые характерны для воды. Относительно большое поверхностное натяжение существенно ограничивает способность воды к растеканию. Незначительная вязкость обуславливает низкую способность воды к удерживанию на вертикальных и наклонных поверхностях.

При тушении пожара в резервуарном парке перечисленные факторы приводят к необходимости непрерывной подачи больших объемов воды на охлаждение. Данная работа является сложной организационной задачей с привлечением большого количества личного состава и техники.

Ранее в работе [5] для защиты резервуаров от теплового излучения было предложено использовать гелеобразующие системы.

ГОС состоит из двух компонентов. Первый компонент – раствор сульфата щелочного металла. Второй компонент – раствор силиката. При одновременной подаче двух растворов они смешиваются на защищаемых или горящих поверхностях и образуют слой стойкого геля. Например, при смешивании компонентов гелеобразующей системы  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  происходит следующая реакция:



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.

ГОС имеют ряд преимуществ. Во-первых, это существенное уменьшение потерь за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Во-вторых, преимуществом ГОС является способность длительное время противостоять мощному тепловому потоку. Это обусловлено охлаждающим действием воды, содержащейся в геле. А 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.

Ранее был проведен комплекс исследований свойств ГОС для тушения и оперативной защиты объектов жилого сектора. Результаты позволили определить критерии для построения математической модели теплозащитных свойств ГОС при нанесении их на стенки резервуаров с углеводородами [7].

В работе [8] отмечено, что охлаждающее действие воды превышает охлаждающее действие ГОС при температурах твердой поверхности до 250 °С. При повышении температуры охлаждающее действие воды начинает падать, а гелеобразующих составов возрастать. Падение охлаждающего действия воды с ростом температуры связано с тем, что при температурах более (165–170) °С между каплями воды и твердой поверхностью образуется паровая плёнка, которая затрудняет теплообмен (эффекта Лейденфроста). Мелкие капли воды уносятся восходящими тепловыми потоками, что и приводит к уменьшению охлаждающего действия.

Использование водных растворов позволяет расширить температурный интервал их охлаждающего действия. Твердые вещества, образующиеся после испарения воды, продолжают поглощать тепло при своём нагревании и плавлении при температурах свыше 100 °С (рис.1).

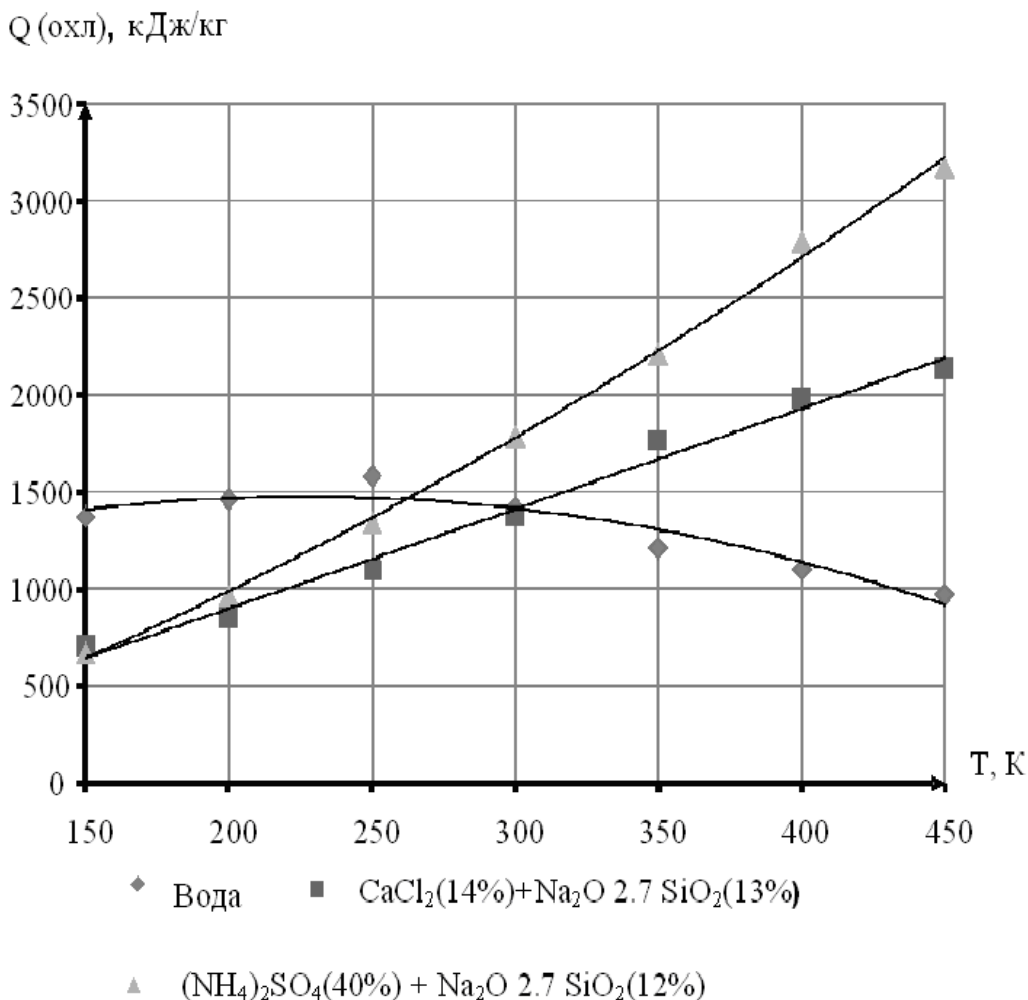


Рис. 1. Зависимость охлаждающих действий ОБ (Q) от температуры (T) для различных ОБ

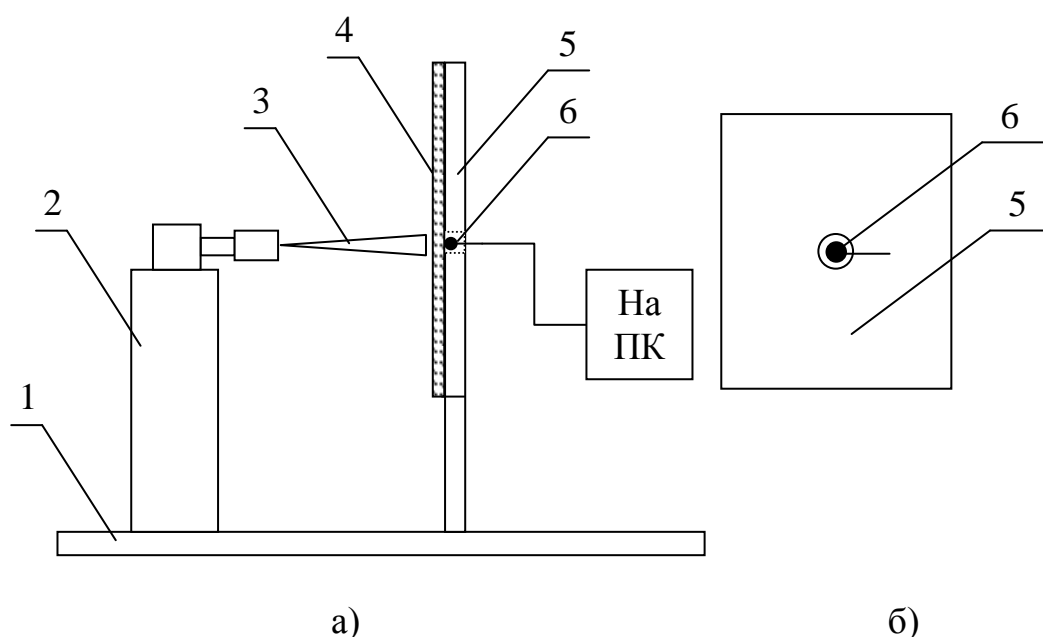
В работе [9] определен показатель коррозионной активности (ПКА) ГОС на стальные элементы резервуаров для нефтепродуктов. Для ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  – 3,63%,  $\text{CaCl}_2$  – 7,79% ПКА составил  $2,2823 \cdot 10^{-8}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) или 720 г/(м<sup>2</sup>·год). Концентрат пенообразователя ППЛВ (Универсал)-106м ПКА  $2,43777 \cdot 10^{-8}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) или 770 г/(м<sup>2</sup>·год). ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  –16,56%,  $\text{CaCl}_2$  – 2,76% ПКА  $2,78468 \cdot 10^{-8}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) или 880 г/(м<sup>2</sup>·год). Сделан вывод о возможности использования ГОС для охлаждения стен резервуаров и цистерн с нефтепродуктами от теплового воздействия пожара.

Исследований эффективности гелевых покрытий для защиты стен резервуаров хранения нефтепродуктов от теплового излучения ранее не проводилось.

**Постановка задачи и ее решение.** Учитывая серьезные отличия между реологическими свойствами воды и компонентов гелевых систем, определение теплозащитных свойств ГОС стандартными методиками не представляется возможным.

Методика оценки охлаждающего действия ГОС, представленная в работе [8], не позволяет напрямую определять время теплозащитного действия.

Для решения данной задачи была разработана установка для исследований гелеобразующих систем (рис. 2).



**Рис. 2.** Принципиальная схема исследования теплозащитного действия ГОС на стальные элементы резервуара. а) Схема установки. б) Расположение термопары в исследуемом образце.

1 – станина; 2 – газовая паяльная лампа; 3 - пламя газовой паяльной лампы; 4 – слой ГОС; 5 – образец стенки резервуара с углублением для термопары; 6 – термопара.

На станину (1) установлен фиксатор образцов. В качестве источника теплового излучения использовалась газовая паяльная лампа (2). Пламя лампы (3) регулировалось таким образом, чтобы в месте нахождения термопары (6) выдерживалась температура  $500^{\circ}\text{C}$ .

На целую поверхность исследуемого образца с помощью пневматических распылителей ОП-301 наносился слой ГОС (4) силикат натрия - хлорид кальция. Образцы (5) изготавливались из железа размерами  $165 \times 165 \times 2$  мм. В образце на глубину 4 мм делалось углубление диаметром 3 мм, которое не доходило до противоположной стороны 1 мм. В углубление вводилась термопара (ТХА) (6), образец устанавливался в фиксатор. Время теплозащитного действия ГОС оценивалось по достижению обогреваемой поверхности образца до температуры  $500^{\circ}\text{C}$ .

Зависимость температуры верхнего слоя образца от времени теплового воздействия фиксировалась с помощью термопары ТХА, микропроцессорного блока сбора данных Triton 6000 и обрабатывалась компьютерной программой Termosoft. Время принималось как среднее по итогам трех измерений (рис. 3).



**Рис. 3. Внешний вид установки исследования теплозащитного действия ГОС на стальные элементы резервуара**

Учитывая ранее полученные результаты эффективности ГОС для оперативной огнезащиты ТГМ, были выбраны составы со следующими концентрациями:

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  -16,6%,  $\text{CaCl}_2$  - 2,7% – состав с избытком силиката натрия.

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  -3,8%,  $\text{CaCl}_2$  - 7,79% – состав с избытком хлорида кальция.

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  -6,6%,  $\text{CaCl}_2$  - 9,3% – состав со средними значениями компонентов.

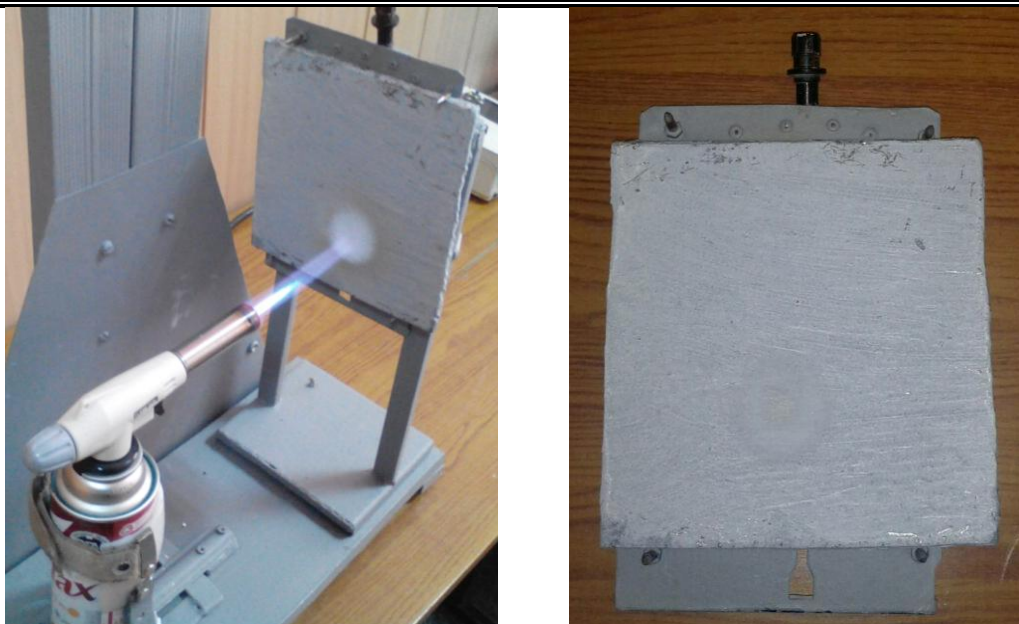
Исследования проводились при удельном массовом расходе ГОС  $2000 \text{ г/м}^2$ , что соответствовало толщине слоя геля  $\sim 2 \text{ мм}$ . Толщина слоя геля определялась гравиметрическим методом.

Исследования проводились сериями из трех опытов. Для сравнения использовались не обработанные образцы, а также образцы, обработанные водой методом погружения (время погружения – 1 минута).

Во время опытов наблюдалось, что под действием пламени необработанные образцы и обработанные водой уже через 4-8 секунд прогреваются до контрольной температуры. Образцы, обработанные ГОС, под действием пламени теряли влагу значительно дольше, наблюдалось локальное вспучивание и образование ксерогеля (табл.1), (рис. 4).

**Табл. 1** Время достижения контрольной температуры на образцах из стали толщиной 5 мм

Вид ОБ	Время достижения контрольной температуры $\tau$ , с			Среднее время час, $\tau_{\text{ср}}$ , с
	1	2	3	
Необработанный образец	4	5	3	4
Образец, обработанный водой	6	5	7	6
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ -16,6%, $\text{CaCl}_2$ - 2,7% – 2 мм	150	161	148	153
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ -3,8%, $\text{CaCl}_2$ - 7,79% – 2мм	87	97	81	88
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ -6,6%, $\text{CaCl}_2$ - 9,3% – 2мм	119	130	124	124



а)

б)

**Рис. 4.** Эксперимент теплозащитного действия ГОС на стальные элементы резервуара. а) Проведение эксперимента б) Внешний вид образца, обработанного ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  -16,6%,  $\text{CaCl}_2$  - 2,7% толщиной 2 мм

В результате испытаний установлено: нанесение ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  -16,6%,  $\text{CaCl}_2$  - 2,7% толщиной 2 мм, позволяет увеличить время прогрева резервуара более, чем на 150 с. Порционное нанесение воды на стальную пластину (беспрерывная подача воды не производилась) фактически не влияет на время теплозащиты, так как практически вся вода стекает с вертикальной поверхности. Эксперимент подтвердил предположение о существенном преимуществе времени теплозащитного действия ГОС по сравнению с водой.

**Выводы.** Результаты оценочного испытания технологии использования гелеобразующих систем для защиты резервуаров хранения нефтепродуктов от теплового воздействия пожара свидетельствуют о перспективности применения данных систем при ликвидации пожаров в резервуарных парках. Техническая реализация данной технологии позволит существенно расширить тактические возможности оперативно-спасательных подразделений, сократить необходимое количество сил и средств, для ликвидации пожаров на объектах нефтеперерабатывающего комплекса.

## ЛИТЕРАТУРА



1. Свиридов В.А. Деякі проблемні питання системи протипожежного захисту нафтопереробних підприємств / В.А. Свиридов, В.В. Присяжнюк, С.Д. Кухарішин, М.Л. Якіменко // Надзвичайна ситуація. 2013. – №1. – С. 36–38.
2. Абрамов Ю.А. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. – Харьков: АГЗУ, 2006. – 256 с.
3. Локализация пожаров нефтепродуктов на железнодорожном транспорте / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, М.Р. Байтала. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 110 с.
4. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / [Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С, Шароварников С.А.]. – М. : «Калан», 2002. – 482 с.
5. Савченко А.В. Теоретическое обоснование использования гелеобразующих систем для охлаждения стенок резервуаров и цистерн с углеводородами от теплового воздействия пожара / А.В. Савченко, О.А. Островерх, А.С. Холодный // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2015. – Вып. 37. – С.191 – 195. Режим доступа к журн.: [http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol37/Ppb\\_2015\\_37\\_34.pdf](http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol37/Ppb_2015_37_34.pdf).
6. НАПБ 05.035-2004 Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою і нафтопродуктами.
7. 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, 2016. – Вып. 39. – С.243 – 249. Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Savchenko.pdf>.
8. Кіреєв О.О. Гелеутворюючі вогнегасні і вогнезахисні засоби підвищеної ефективності стосовно пожеж класу А: автореф. дис... д-ра техн.. наук: 21.06.02. Національний університет цивільного захисту України Харків 2014. 42 с.
9. Савченко А.В. / Определение показателя коррозионной активности гелеобразующей системы  $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  на стальные элементы резервуаров для нефтепродуктов / А.В. Савченко, А.А. Киреев, О.А. Островерх, А.С. Холодный // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2014. – Вып. 36. – С.199 – 207. Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/savchenko.pdf>.

**О.В. Савченко, О.О. Островерх, І.М. Хмиров, Т.М.Ковалевська**

**Оціночні випробування технології використання гелеутворюючих систем для захисту резервуарів зберігання нафтопродуктів від теплового впливу пожежі.**

У роботі представлені результати оціночного випробування технології використання гелеутворюючих систем для захисту резервуарів зберігання нафтопродуктів від теплового впливу пожежі.

Ключові слова: гелеутворююча система, резервуар, охолодження, теплозахист.

**A.V. Savchenko, O.A. Ostroverh, I.M. Khmurov, T.M. Kovalevskaya**

**Evaluation tests of the technology use of gelling systems for the protection of oil storage tanks from the heat of fire exposure.**

The results of the evaluation tests of the technology use of gelling systems for the protection of oil storage tanks from the heat of fire exposure.

Key words: gelling system, tank, cooling, heat shield.