

*А.В. Савченко, к.т.н., с.н.с., зам. нач. каф., НУГЗУ,
О.А. Островерх, к.пед.н., доцент, нач. каф., НУГЗУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

(представлено д-ром техн. наук Киреевым А.А.)

В работе проведен анализ существующих моделей огнезащитных свойств гелеобразующих систем, моделей воздействия тепловых потоков пожара на стенки резервуаров с нефтепродуктами. Выработаны критерии, для экспериментальных исследований, для построения математической модели теплозащитных свойств гелеобразующих систем при нанесении их на стенки резервуаров с углеводородами от теплового воздействия пожара.

Ключевые слова: гелеобразующая система, резервуар, модель охлаждения.

Постановка проблемы. На нефтеперерабатывающих объектах Украины с 2004 по 2012 год возникло 155 пожаров, которые привели к значительным материальным потерям и гибели 18 человек. Чаще всего пожары возникали в резервуарах типа РВС-5000 (32% от общего количества), РВС-3000 (27%), РВС-10000 и РВС-20000 (19%) [1]. В мире каждый четвертый пожар на нефтебазах носит затяжной характер и заканчивается полным выгоранием нефтепродуктов [2]. Это свидетельствует как о серьезных недостатках при организации пожаротушения, так и о недостаточной эффективности существующих огнетушащих веществ, и тактики их применения, и способов подачи.

Применение существующих инженерно-технических решений не позволяет гарантированно потушить пожар на начальной стадии и ограничить распространение пожара в резервуарных парках с нефтепродуктами.

Поэтому разработка новых огнетушащих и огнезащитных веществ, технических устройств подачи, и тактических приемов, которые позволяют сократить время ликвидации пожаров на объектах нефтеперерабатывающего комплекса, сократить количество сил и средств, а также разработка адекватных моделей описывающих механизмы их применения являются актуальной проблемой.

Анализ последних достижений и публикаций. На практике, основными способами защиты стенок резервуаров с нефтепродуктами от теплового воздействия является охлаждение водой. Для этого используется следующие технические устройства:

- системы орошения, стационарно установленные на резервуарах;

- различного рода гидромониторы, расположенные за обвалованием резервуара;

- подача воды через лафетные или ручные стволы от передвижной пожарной техники.

Анализ известных пожаров в резервуарных парках показал, - при взрыве и под тепловым воздействием, стационарные установки на горящем резервуаре выходят из строя [2,3]. Таким образом, стационарные установки могут быть применены только для охлаждения соседних резервуаров. Но далеко не все резервуары оборудованы такими системами. А существующие, часто, находятся в неудовлетворительном состоянии [3].

Использование гидромониторов позволяет подавать воду на большую дальность, что обеспечивает максимальную безопасность личного состава [3]. К недостаткам относится достаточно высокая стоимость установки.

Учитывая перечисленные недостатки, в практике пожаротушения использование стволов от передвижной пожарной техники остается основным способом охлаждения резервуаров [4].

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. Так для гладких не пропитывающихся материалов удерживается лишь $\sim 0,1$ кг/м² воды [5].

К тому же, при нанесении воды на разогретую поверхность между каплями воды и поверхностью материала образуется паровая пленка (эффект Лейденфроста) вследствие чего затрудняется теплообмен [6].

Тепловое воздействие пожара на резервуар с нефтепродуктами приводит к нагреву сухой стенки резервуара (части стенки, не соприкасающейся с нефтепродуктом) и нагреву смоченной стенки резервуара (части стенки, соприкасающейся с нефтепродуктом).

Нагрев сухой стенки может привести к взрыву резервуара или воспламенению паров, выходящих из нее. Нагрев смоченной стенки может привести к кипению нефтепродукта в пристеночном слое. Это в сочетании с нагревом сухой стенки до температуры самовоспламенения, может способствовать взрыву или воспламенению паров нефтепродукта [7].

В работе [8] предлагается использовать гелеобразующие составы (ГОС) для охлаждения стен резервуаров и цистерн с углеводородами от теплового воздействия пожара. 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.

В работе предлагается проведение ряда экспериментов для получения адекватных моделей теплозащитных свойств гелевых пленок. Важным условием проведения такого эксперимента является использование теплового потока адекватного реальным значениям.

Поэтому научный и практический интерес представляет прогнози-

рование поведения горящего резервуара, а также соседних резервуаров с нефтепродуктами на которые действует тепловой поток при нанесении на них слоя ГОС.

Постановка задачи и ее решение. Проведем анализ критериев, которые необходимо учитывать при моделировании теплозащитного действия ГОС.

В работе [9] на образцах из древесины определено теплозащитное действие ГОС при толщине слоя $1,5 - 2 \text{ л/м}^2$. В основу модели теплозащитного действия ГОС положено время достижения обогреваемой поверхности образца из древесины до температуры 200°C . Среднее время достижения критической температуры не обработанных образцов составляло 106 с, образцов обработанных водой методом погружения - 230 с, а нанесение ГОС на образцы, позволило увеличить время достижения температуры 200°C до 470 с (рис1).

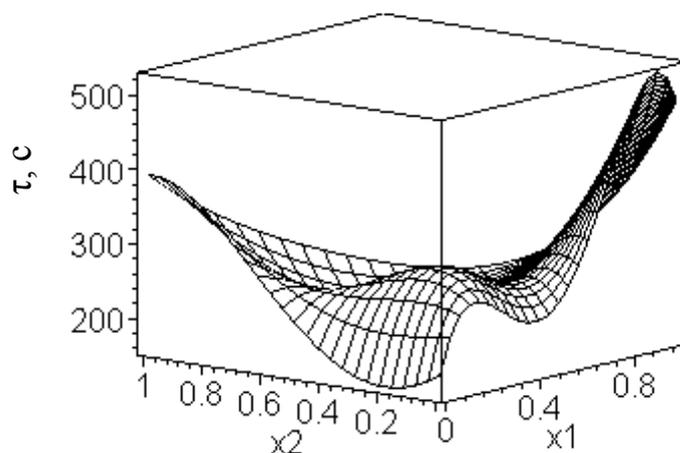


Рис. 1. Поверхность отклика времени теплозащитного действия от массового содержания катализатора гелеобразования (x_1) и гелеобразователя (x_2) для системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$

Математическая зависимость времени теплозащитного действия ГОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ от концентрации компонентов.

$$\begin{aligned}
 \tau = & 477,7 \cdot x_1 + 392,7 \cdot x_2 + 185 \cdot x_3 - 353,4 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\
 & - 256,7 \cdot x_3 \cdot x_2 - 691,4 \cdot x_2 \cdot x_1 + 154,7 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) - \\
 & - 372,5 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2) + 347,5 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1) + \\
 & + 1619,5 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3)^2 + 130,6 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2)^2 - \\
 & - 288,9 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1)^2 - 3304,1 \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
 & + 4177,2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2 - 1719,4 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Пример математической модели использования ГОС для тушения пожара представлен в работе [10]. Приведена оценка времени тушения пожара при использовании ГОС с учетом коэффициента использования

огнетушащих веществ. Установлено, что при условии отсутствия распространения пожара время тушения гелеобразующими составами меньше времени тушения водой в ~ 20 раз при использовании компактных струй и в $\sim 3,5$ раза при использовании тонкораспыленной воды (табл. 1).

Табл. 1. Отношение времён тушения водой и гелеобразующей системой при разных скоростях распространения пожара (a)

$a, \text{ м}^2/\text{с}$	$\tau_{\text{туш}}(\text{вода}) / \tau_{\text{туш}}(\text{гель})$	
	Вода компактной струей	Вода тонкораспыленная
0	20	3,5
0,1	24,8	3,5
0,2	32,7	3,5
0,3	48,5	3,6
0,4	96	3,7
0,45	191	3,7
1	*	4,5
2	*	8
2,5	*	15
3	*	*

*- тушение не достигается

В случае увеличения площади пожара по линейному закону отношения времён тушения водой и ГОС достигают сотен и десятков раз соответственно.

Однако, учитывая, что металл не смачивается жидкостями (эффект от пропитки отсутствует), результаты данных работ позволяют сделать только оценочный вывод о перспективности исследований ГОС для защиты резервуаров от теплового воздействия пожара.

В работе [11] приводятся данные изменения температуры сухой стенки цистерны объемом 30 м^3 с бензином, заполненной на $0,1\%$ (рис. 2).

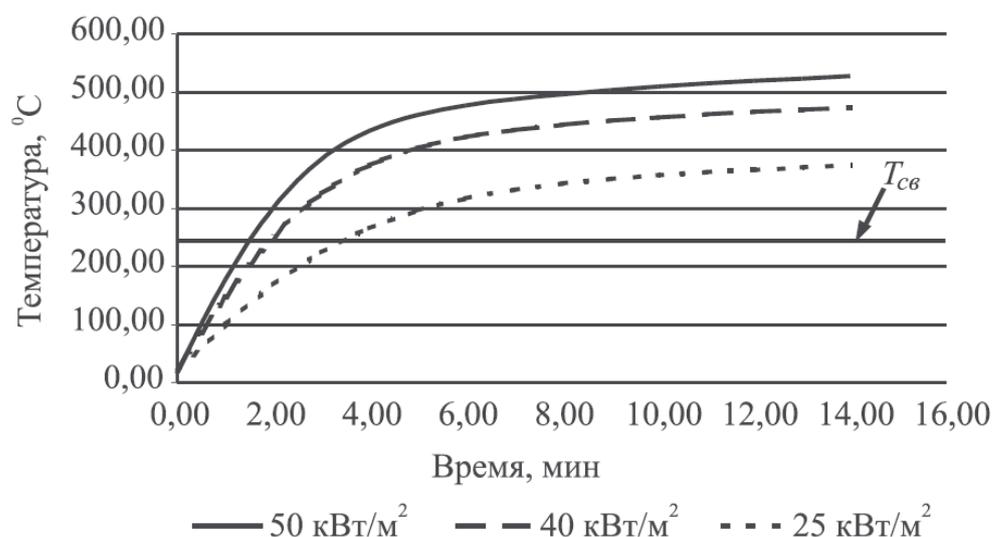


Рис. 2. Температура стенки цистерны в зависимости от продолжительности теплового воздействия и мощности потока

При мощности теплового потока 25 кВт/м^2 стенка резервуара достигает температуры самовоспламенения бензина (250°C) через 4 минуты. При мощности теплового потока 50 кВт/м^2 уже через 1 минуту.

При реальном пожаре даже средний тепловой поток не может быть известен с такой точностью, поэтому время достижения критической температуры может оказаться очень неточным.

Оперативную оценку плотности теплового потока от горящего разлива можно осуществить с помощью табл. 2 [12].

Табл. 2. Величина плотности теплового излучения (кВт/м^2) пожаров проливов ЛВЖ в зависимости от массы пролившегося продукта и расстояния до границы разлива (факела)

Расстояние, м	Масса пролившегося продукта, т				
	10	20	30	40	50
10	25	35	40	50	55
20	15	20	22	30	35
30	8	10	12	13	14
40	5	6	7	8	9
50	4	5	6	7	8
60	3	4	4	5	5
80	–	2	3	3	3
100	–	–	1	1	2

Очевидным недостатком такого подхода является то, что не учитывается вид горящей жидкости. Плотность теплового потока определяется высотой, степенью черноты и температурой факела. А для разных ЛВЖ и ГР плотность теплового потока может отличаться в 2 раза (например, бензин и дизельное топливо) [12]. Также не учитывается наклон факела под действием ветра. Так при скорости ветра 2 м/с угол отклонения оси факела от вертикали составляет около 45° , а при скорости 4 м/с – 60° - 70° [13], что сказывается на значении коэффициента облученности факелом.

Выводы. При планировании эксперимента по определению теплозащитных свойств ГОС на стальные элементы стен резервуаров необходимо:

1) варьировать значениями мощности теплового потока, принимая его максимальное значение 50 кВт/м^2 ;

2) одним из факторов влияющих на теплозащитные свойства принять толщину слоя ГОС нанесенного на образец;

3) в полученных моделях учитывать возможность восстановления свойств гелевого слоя, путем распыления воды на ксерогель после первоначального испарения воды;

4) учитывать коэффициент использования ГОС.

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. Гришин В.В. Состояние и проблемы противопожарной защиты резервуаров / В.В. Гришин // Теоретические и экспериментальные вопросы автоматического пожаротушения: Сборник науч. тр. – М., ВНИИПО, 1987. – С. 24-32.
3. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / [Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С, Шароварников С.А.]. – М. : «Калан», 2002. – 482 с.
4. НАПБ 05.035-2004 Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою і нафтопродуктами.
5. 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.
6. Харченко И.А. Теплообмен при взаимодействии жидкостных средств пожаротушения с нагретой поверхностью / И.А. Харченко, Э.Г. Братута, В.В. Хмельницкий // Порошковое пожаротушение: Сб. науч. трудов. М., ВНИИПО, 1993. С. 60-64.
7. Локализация пожаров нефтепродуктов на железнодорожном транспорте / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, М.Р. Байтала. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 110 с.
8. 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.
9. Кіреєв О.О. Дослідження теплозахисної дії гелевих плівок / О.О. Кіреєв, О.В. Савченко, Г.В. Тарасова, О.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АГЗ Украины – Харьков, 2005. – Вып. 18. – С. 82-86.
10. Савченко А.В. Оценка времени тушения пожара в квартире при использовании гелеобразующих составов. Учет коэффициента использования огнетушащего вещества / А.В. Савченко, А.А. Киреев, А.Я. Шаршанов // Науковий вісник будівництва ХДТУБА ХОТВ АБУ – Харків, 2007. – Вип. 40. – С. 281-287.
11. Исхаков Х.И. Оценка воздействия тепловых потоков пожара на цистерну автомобиля для транспортировки нефтепродуктов / Х.И. Исхаков, Р.Ш. Хабибулин // Пожаровзрывобезопасность, 2003. – №1. – С. 75-80.

12. 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.

13. Бабенко Ю.В. Протипожежний захист складів нафти і нафтопродуктів. Оглядова інформація / Бабенко Ю.В., Дудченко В.Г., Басаєв А.М., Савельєв І.В., Деревинський Д.М., Боровиков В.О., Антонов А.В. – К.: УкрНДІПБ, 2002. – 142 с.

О.В. Савченко, О.О. Островерх

Моделювання теплозахисних властивостей гелеутворюючих систем при ліквідації пожеж у резервуарних парків зберігання нафтопродуктів

У роботі проведено аналіз існуючих моделей вогнезахисних властивостей гелеутворюючих систем, моделей впливу теплових потоків пожежі на стінки резервуарів з нафтопродуктами. Отримані критерії, для експериментальних досліджень, для побудови математичної моделі теплозахисних властивостей гелеоб- гелеутворюючих систем при нанесенні їх на стінки резервуарів з вуглеводнями від теплового впливу пожежі.

Ключові слова: гелеутворююча система, резервуар, охолодження.

A.V. Savchenko, O.A. Ostroverh

Modeling heat-shielding properties of the gelling systems in extinguishing the fire in the tank farm storage of petroleum products

The analysis of the existing models of fire-retardant properties of the gel-forming systems, thermal modeling of the effects of fire on the wall of the flow tanks with oil. The criteria for experimental studies, to construct a mathematical model of heat-shielding properties of the gelling systems when applying them to the walls of the reservoir with hydrocarbons from the heat of fire exposure.

Keywords: gelling system, tank, cooling.