

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

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОГNETУШАЩИХ БИНАРНЫХ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ С МОРСКОЙ ВОДОЙ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА ГЕЛЕОБРАЗОВНИЯ**

(представлено д.т.н. Киреевым А.А.)

В работе представлены результаты исследований возможности использования морской воды в качестве катализатора гелеобразования. Определены показатели коррозионной активности гелеобразующей системы (ГОС)  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  – морская вода. Установлено, что коррозионные свойства ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$  – морская вода (Черное море – район г.Феодосия) на 30 % ниже, чем у концентрата сертифицированного пенообразователя.

**Ключевые слова:** гелеобразующая система, охлаждение, тушение, коррозия, оперативная огнезащита.

**Постановка проблемы.** Подавляющее большинство пожаров в мире ликвидируется с помощью воды. Вода обладает рядом известных преимуществ. Однако низкий коэффициент использования воды приводит к существенному снижению эффективности её применения. По разным данным коэффициент использования воды на пожаре составляет от 2 до 20%. Это во многом определяется потерями за счет стекания воды с вертикальных поверхностей, что особенно актуально при организации тушения пожаров при недостаточном количестве сил и средств. Поэтому проблема разработки и внедрения новых огнетушащих веществ остается актуальной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [1,2] было установлено, что существенно уменьшить потери огнетушащего вещества при тушении пожаров позволяет применение гелеобразующих систем. 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 [3] установлено, что для ликвидации низового лесного пожара эффективно использовать последовательно-раздельную подачу компонентов ГОС.

В работе [4] проведено теоретико-экспериментальное исследование процесса подачи и траектории потока струй огнетушащего вещества автономной установкой тушения гелеобразующими составами. Авторами предложена методика имитационных экспериментальных исследований гидродинамики составляющих потока огнетушащего состава.

Области гелеобразования установлены для большого количества систем табл. 1 [5].

**Табл. 1. Значение минимальных концентраций гелеобразователя ( $\omega_1$ ) и катализатора гелеобразования ( $\omega_2$ )**

Гелеобразующая система	( $\omega_1$ ), мас. %	( $\omega_2$ ), мас. %
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$	3	4
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2$	5	4
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgSO}_4$	5	4
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4$	5	8
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeCl}_3$	7	3
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{AlCl}_3$	3,5	3
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	4	8
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{NH}_4\text{Cl}$	8	12
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	8	12
$\text{CaCl}_2 - \text{MgSO}_4$	16	20
$\text{NaOH} - \text{MgCl}_2^*$	15	22
$\text{NaOH} - \text{MgSO}_4^*$	15	15
$\text{NaOH} - \text{FeCl}_3$	12	18
$\text{NaOH} - \text{AlCl}_3$	12	20
$\text{NaOH} - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	12	14
$\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{MgCl}_2$	12	16
$\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{MgSO}_4$	12	4

Примечание: \* – потери за счет стекания  $\approx 15\%$

По ряду показателей таких как огнезащитная эффективность, экономичность, безопасность, ГОС  $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  значительно превосходит остальные. Но данные системы имеют один общий недостаток, который, в известной степени, ограничивает их практическое применение. При ликвидации пожара необходимо иметь достаточный запас готового катализатора гелеобразования – водного раствора соли. Оперативное пополнение запасов данного компонента ГОС вызывает трудности организационно-технического характера.

Методология исследования ГОС включает в себя несколько этапов, на каждом из которых менее перспективные системы отсеивались. Первый этап – определение возможности гелеобразования системы проводилось лабораторным методом. Дальнейшие эксперименты по тушению и «оперативной огнезащите» проводились на системах, которые были определены как перспективные.

Вследствие большого объема исследований, когда перспективность ГОС для пожаротушения еще не была подтверждена экспериментально, возможность использовать в качестве катализатора гелеобразования морскую воду не рассматривалась. А учитывая ее относительную доступность и практически неисчерпаемое количество, представляется интересным провести работы в данном направлении. Данные системы могут быть востребованы, например, при ликвидации пожаров на нефтебазах, расположенных на морском побережье.

Поэтому определение возможности использования морской воды в качестве катализатора гелеобразования, является актуальной задачей.

**Постановка задачи и ее решение.** В работе была поставлена задача экспериментально определить, перспективность использования мор-

ской воды в качестве катализатора гелеобразования для бинарных гелеобразующих систем.

Для решения задачи, поставленной в работе, было проведено лабораторное исследование, в котором в качестве катализатора гелеобразования были использованы пробы морской воды, отобранных из разных географических зон:

Проба воды из Мертвого моря;

Проба воды из Черное море – район г.Феодосия;

Проба воды из Средиземного моря – район о.Кипр.

Эксперимент проводился с пробами морской воды в неразбавленном виде. В качестве гелеобразователя был выбран силикат натрия:

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  – 36% (раствор с верхней границей гелеобразования, установленной для ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ );

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  – 16,56% (раствор со средним значением концентрации гелеобразования, установленной для ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ );

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  – 2% (раствор с нижней границей гелеобразования, установленной для ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ ).

Эксперимент осуществлялся путем смешивания равных объемов растворов  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  и морской воды. Образование геля определялось визуально. Результаты исследования представлены в таблице 2.

**Табл. 2. Результаты гелеобразования  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  и морской воды**

Массовое содержание $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$	Вода Мертвого моря	Вода Черного моря (район г.Феодосия)	Вода Средиземного моря (район о. Кипр)
36%	Гель составляет более 95% объема	Гель составляет более 80% объема	Гель составляет более 80% объема
16,56	Гель составляет более 70% объема	Гель составляет более 60% объема	Гель составляет более 60% объема
2%	Гель составляет более 50% объема	Гель составляет менее 30% объема	Гель составляет менее 30% объема

В результате эксперимента установлено, что гелеобразование происходит для всех рассматриваемых проб морской воды. При смешивании гелеобразователя с массовым содержанием 2% с водой из Черного и Средиземных морей объем получаемого геля составляет менее 30%, что не дает возможности практического применения данных составов.

Во всех случаях насыщенный раствор и раствор со средним значением концентрации  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  позволяют получить объем геля, достаточный для практического применения.

Вода Мертвого моря позволяет получить гель даже при минимальной концентрации гелеобразователя. Это можно объяснить большей концентрацией солей в воде Мертвого моря.

Естественным ограничением применения нового огнетушащего вещества является оказываемое им негативное воздействие на конструкции и материалы. Поэтому следующим этапом исследования стало определение показателя коррозионной активности (ПКА) рассматриваемых составов.

Аналогично работе [6], эксперимент по определению ПКА проводился на фрагментах листового элемента стенки резервуаров стали марки Ст. 3 толщиной 5 мм.

Коррозионное действие определялось с использованием «Экспериментальной методики определения показателя коррозионной активности водных и водопенных огнетушащих веществ, а также водных растворов, в том числе и огнезащитных веществ», разработанной в УкрНИИГЗ [7].

Метод заключается в определении средней скорости потери массы с единицы площади металлических пластин при их экспонировании в исследуемом водном растворе (время экспонирования пластин 30 суток).

Средняя удельная скорость потери массы пластины ( $V_{\text{п}}$ , кг/(м<sup>2</sup>·с)) рассчитывалась по формуле

$$V_{\text{п}} = \frac{P}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где  $P$  – потеря массы пластины, кг;  $S$  – площадь поверхности контакта пластины с раствором огнетушащего вещества, м<sup>2</sup>;  $t$  – длительность экспозиции пластины в растворе огнетушащего вещества, ( $t = 2592000$  с).

За результат определения показателя коррозионной активности принималось среднее арифметическое значение результатов двух параллельных измерений. Допустимое расхождение между результатами параллельных измерений не превышало  $\pm 10\%$  относительно среднего арифметического значения. Результаты исследований по определению ПКА, исследуемых огнетушащих веществ, приведены в таблицах 3-6, рис. 1.

**Табл. 3. Результаты исследований ПКА ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  –16,56% – морская вода (Черное море – район г.Феодосия)**

№ пластины	Масса пластины до испытаний $m_1$ , кг	Масса пластины после испытаний $m_2$ , кг	Потеря массы пластины $P = (m_1 - m_2)$ , кг	Коррозионная активность (скорость коррозии), кг/(м <sup>2</sup> ·с)	Среднее значение коррозионной активности кг/(м <sup>2</sup> ·с), (г/(м <sup>2</sup> ·год))	Расхождение результатов испытаний
1	0,106889	0,106708	0,00011946	$1,63805 \cdot 10^{-8}$	$1,69545 \cdot 10^{-8}$ , (535)	0,03
2	0,101212	0,101012	0,000132	$1,75285 \cdot 10^{-8}$		

**Табл. 4. Результаты исследований ПКА морской воды (Черное море – район г.Феодосия)**

№ пластины	Масса пластины до испытаний $m_1$ , кг	Масса пластины после испытаний $m_2$ , кг	Потеря массы пластины $P = (m_1 - m_2)$ , кг	Коррозионная активность (скорость коррозии), кг/(м <sup>2</sup> ·с)	Среднее значение коррозионной активности кг/(м <sup>2</sup> ·с), (г/(м <sup>2</sup> ·год))	Расхождение результатов испытаний
1	0,102574	0,102201	0,00024618	$2,476 \cdot 10^{-8}$	$2,62741 \cdot 10^{-8}$ , (830)	0,06
2	0,109223	0,108791	0,00028512	$2,77883 \cdot 10^{-8}$		

**Табл. 5. Результаты исследований ПКА морской воды (Средиземное море (район острова Кипр))**

№ пластины	Масса пластины до испытаний $m_1$ , кг	Масса пластины после испытаний $m_2$ , кг	Потеря массы пластины $P = (m_1 - m_2)$ , кг	Коррозионная активность (скорость коррозии), $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Среднее значение коррозионной активности $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , $(\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}))$	Расхождение результатов испытаний
1	0,101942	0,101685	0,000257	$2,73519 \cdot 10^{-8}$	$2,54974 \cdot 10^{-8}$ , (805)	0,07
2	0,101947	0,101741	0,000206	$2,36428 \cdot 10^{-8}$		

**Табл. 6. Результаты исследований ПКА морской воды (Мертвое море)**

№ пластины	Масса пластины до испытаний $m_1$ , кг	Масса пластины после испытаний $m_2$ , кг	Потеря массы пластины $P = (m_1 - m_2)$ , кг	Коррозионная активность (скорость коррозии), $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Среднее значение коррозионной активности $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , $(\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}))$	Расхождение результатов испытаний
1	0,105353	0,105111	0,000242	$2,57555 \cdot 10^{-8}$	$2,81997 \cdot 10^{-8}$ , (890)	0,08
2	0,102305	0,102038	0,000267	$3,06438 \cdot 10^{-8}$		



а)



б)

**Рис. 1. Внешний вид образцов металла после исследований: а) ГОС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$  – морская вода (Черное море – район г.Феодосия); б) морская вода (Черное море – район г.Феодосия)**

Перед проведением экспериментов был установлен водородный показатель (рН) исследуемых компонентов ГОС. Для раствора  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$  рН = 12, воды Мертвого моря рН = 4, Черного моря рН = 4,5, Средиземного моря рН = 5.

Коррозионная активность зависит от водородного показателя (рН) среды. В кислой среде (рН < 4,0) пленка оксида железа растворяется, скорость коррозии максимальна. В пределах рН 4,0-10 скорость коррозии железа стабильна. Увеличение щелочности среды (рН > 10) приводит к уменьшению скорости коррозии, так как железо все больше пассивируется [8].

Результаты экспериментов полностью согласуются с теорией, значение ПКА воды Мертвого моря, имеющий самую кислую среду, оказался самым высоким.

Анализ полученных результатов и сопоставление их с ранее прове-

денными исследованиями свидетельствует, что ПКА ГОС  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2$  – 16,56% – морская вода (Черное море – район г.Феодосия) составляет 535 г/(м<sup>2</sup>·год) и является самым низким. При этом его коррозионное действие на 30 % ниже, чем у концентрата пенообразователя ППЛВ (Универсал)-106м (табл. 7).

**Табл. 7. Результаты исследований ПКА различных ОВ**

№ з/п	Огнетушащее вещество	кг/(м <sup>2</sup> ·с)	г/(м <sup>2</sup> ·год)
1.	$\text{CaCl}_2$ – 42%	$1,77389\cdot 10^{-8}$	560
2.	ГОС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 3,63%, $\text{CaCl}_2$ – 7,79%	$2,2823\cdot 10^{-8}$	720
3.	концентрат пенообразователя ППЛВ (Универсал)-106м	$2,43777\cdot 10^{-8}$	770
4.	ГОС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 16,56%, $\text{CaCl}_2$ – 2,76%	$2,78468\cdot 10^{-8}$	880
5.	ГОС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 16,56% – морская вода (Черное море – район г.Феодосия)	$1,69545\cdot 10^{-8}$	535
6.	морская вода (Черное море – район г. Феодосия)	$2,62741\cdot 10^{-8}$	830
7.	морская вода (Средиземное море (район о. Кипр))	$2,54974\cdot 10^{-8}$	805
8.	морская вода (Мертвое море)	$2,81997\cdot 10^{-8}$	890

**Выводы.** Результаты исследований подтвердили гипотезу о возможности использования морской воды в качестве катализатора гелеобразования. Установлено, что коррозионные свойства ГОС  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2$  – 16,56% – морская вода (Черное море – район г.Феодосия) на 30 % ниже, чем у концентрата пенообразователя ППЛВ (Универсал)–106м.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования морской воды в качестве катализатора гелеобразования для бинарных гелеобразующих систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Савченко А.О. Обґрунтування використання гелеутворюючих систем для запобігання надзвичайних ситуацій на складах зберігання артилерійських боєприпасів / О.В. Савченко, Є.І. Стецюк, О.О. Островерх, Г.В. Іванець // Проблеми надзвичайних ситуацій: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2015. – Вып. 22. – С. 106-112. Режим доступа к журн.: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/956>.

2. Савченко А.В. Оценочные испытания технологии использования гелеобразующих систем для защиты резервуаров хранения нефтепродуктов от теплового воздействия пожара / А.В. Савченко, О.А. Островерх, И.М.Хмыров, Т.М.Ковалевская // Проблеми пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2017.– Вып. 41. – С.154-162. Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol41/savcenko.pdf>.

3. Савельев Д.И. Повышение эффективности использования гелеобразующих составов при борьбе с низовыми лесными пожарами / Д.И. Савельев, А.А. Киреев, К.В. Жерноклев // Проблеми пожарной без-

опасности: Сб. науч. тр. – Харьков, НУЦЗУ, 2016.– Вып. 39. – С. 237-242. Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Saveliev.pdf>.

4. Сенчихин Ю.Н. Тактика подачи потока струй огнетушащих составляющих 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>.

5. Савченко О.В. Вплив гелеутворюючих систем на матеріали, поширені у житловому секторі / О.В. Савченко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2010. – Вып. 27. – С. 186-191. Режим доступа к журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol27/25.pdf>.

6. 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://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1055>.

7. Уханский Р.В. Обґрунтування ефективних умов застосування для пожежогасіння водної вогнегасної речовини на основі полімерів гуанідинового ряду: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 „Пожежна безпека” / Р.В. Уханский. – Черкаси, 2013. – 20с.

8. Улиг Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику Пер. с англ. под ред. А.М. Сухотина / Г.Г. Улиг, Р.У. Ревви. – Л: Химия, 1989. – Пер. изд., США 1985.– 456 с.

*Получено редколлегией 12.10.2017*

О.В. Савченко, О.О. Островерх

**Перспективи використання вогнегасних бінарних гелеутворюючих систем з морською водою в якості каталізатора гелеобразовня**

В роботі представлені результати досліджень можливості використання морської води в якості каталізатора гелеобразовня. Визначено показники корозійної активності гелеутворюючої системи  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  – морська вода. Встановлено, що корозійні властивості ГУС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  – морська вода (Чорне море – район м. Феодосія) на 30% нижче ніж у концентрату сертифікованого піноутворювача.

**Ключові слова:** гелеутворююча система, охолодження, гасіння, корозія, оперативний вогнезахист.

A. Savchenko, O. Ostroverx

**Prospects for the use of extinguishing binary gel-forming systems with sea water as a gelling catalyst**

The paper presents the results of studies on the possibility of using sea water as a gelling catalyst. The parameters of the corrosive activity of the gelling system  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  – sea water. It is established that the corrosion properties gelling system  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  – sea water (Black Sea – the area of Feodosiya) 30% lower than the concentrate of certified blowing agent.

**Keywords:** gel-forming system, cooling, quenching, corrosion, operational fire protection.