

*І.Ф. Дадашов, к.т.н., доцент, нач. каф., АМНС Азерб. Республіки,
Д.Г. Трезубов, к.т.н, доцент, доц. каф., НУЦЗУ,
О.О. Кіреєв, д.т.н., доцент, проф. каф., НУЦЗУ,
А.П. Корчагіна, курсант, НУЦЗУ*

ГАСІННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН ВОГНЕГАСНОЮ СИСТЕМОЮ НА ОСНОВІ ЗМОЧЕНОГО ГРАНУЛЬОВАНОГО ПІНОСКЛА

Проаналізовано охолоджуючу дію гранульованого піноскла та піноскла у змоченому водою стані в процесі пожежогасіння горючих та легкозаймистих рідин. Досліджено стадійність припинення горіння технічних рідин ряду алканів в процесі подачі змоченого піноскла на лабораторному вогнищі пожежі класу «В». Запропоновано якісну шкалу відносної інтенсивності горіння рідин за умови нарощування шару піноскла. Розглянуто ефективність застосування гелеутворюючих систем для завершення гасіння рідин та можливість одночасного зменшення товщини шару піноскла. Отримано графічні та математичні залежності товщини шару піноскла необхідного для гасіння від температури спалаху рідини ряду алканів. Доведено, що змочене піноскло дозволяє підвищити ефективність гасіння горючих рідин з високою температурою кипіння.

Ключові слова: вогнище пожежі класу «В», піноскло, вода, охолодження рідини, ізоляція випаровування, гасіння пожежі.

Постановка проблеми. Дані всесвітньої статистики пожеж свідчать про широку розповсюдженість пожеж класу «В» [1–2]. Найбільш складним різновидом пожеж класу «В» для гасіння є пожежі резервуарів з горючими рідинами. Такі пожежі характеризуються великою тривалістю, значними матеріальними збитками, а іноді й людськими жертвами. Існуючі на теперішній час засоби гасіння цих пожеж часто не забезпечують позитивного результату навіть за умови дотримання нормативних вимог [3]. Суттєво підвищити ефективність гасіння пожеж резервуарів з горючими рідинами дозволило впровадження піноутворювачів, заснованих на формуванні ізолюючої плівки «легкої води» на поверхні вуглеводню. Вогнегасні характеристики пін на основі таких піноутворювачів поступово покращуються [4].

Але для усіх пінних засобів пожежогасіння характерні загальні недоліки. Сердь них основними є швидке руйнування пін в процесі подачі та внаслідок впливу факторів пожежі, руйнування пін при контакті з полярними рідинами, віднесення пін конвекційними потоками, малий час працездатності пін після припинення горіння, мала охолоджуюча дія, низькі екологічні [5–6] та економічні показники їх застосування. На основі цього можна зробити висновок про існування проблеми не відповідності властивостей існуючих засобів гасіння пожеж класу «В» комплексу сучасних вимог.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для усунення таких недоліків було запропоновано використовувати новий засіб пожежогасіння на основі негорючих пористих матеріалів та гелеутворюючих систем (ГУС) [7]. В якості негорючого пористого матеріалу було обрано гранульоване піноскло (ПС). Його гранули не руйнуються під впливом температури полум'я і характеризуються достатньою плавучістю на поверхні рідин внаслідок того, що густина піноскла менша за густину рідин, у тому числі – горючих [8]. Водночас, можливість подачі ПС без втрат визначається тим, що гранули ПС не відносяться конвекційними потоками. Застосування ПС для пожежогасіння перспективне також за екологічними та економічними параметрами. Шар гелю, що наноситься на поверхню шару ПС, забезпечує високі ізолюючі характеристики запропонованого засобу пожежогасіння по відношенню до пари багатьох горючих рідин. Недоліком вогнегасного засобу на основі ПС є відносно низька охолоджуюча дія.

В роботі [9] встановлено, що змочене ПС має охолоджуючі властивості набагато кращі ніж сухе. Крім того, для змоченого піноскла у значній мірі може проявитися додаткова складова вогнегасної дії – ефект розведення зони горіння парою води. Під час контакту змоченого ПС з нагрітим шаром рідини утворюється пара води, яка потрапляє у повітряний простір над поверхнею рідини, що горить, та знижує концентрацію в газовій фазі горючих рідин і повітря. Це забезпечує зниження швидкості горіння та може привести до повного припинення горіння. Але змочене ПС має меншу плавучість ніж сухе, що зменшує ізолюючу дію шару ПС та обмежує можливість його використання. Для встановлення вогнегасних властивостей змоченого піноскла треба провести додаткові експериментальні дослідження.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є експериментальне визначення вогнегасних характеристик змоченого піноскла у разі гасіння модельного вогнища пожежі класу «В».

В якості горючих рідин було обрано: бензин, уайт-спірит, октан, гас, декан, дизельне пальне, додекан, машинне масло І-20 (індустріальне). Характеристики лабораторного модельного вогнища пожежі класу «В» і методика проведення експерименту наведені в роботі [10]. Методика змочування ПС передбачала заливання його водою та притискання вантажем для повного занурювання під шар води. Після 1 хвилини змочування ПС за наведеною методикою, його висипали на сітку та витримували в такому стані протягом 5 хвилин для вільного стікання води. За таких умов ПС утримує до 50% води від своєї загальної маси.

На відміну від досліджень сухого ПС, для змоченого – неможливо експериментально визначити масову швидкість вигорання рідин. Це пов'язано з тим, що втрата маси модельного вогнища під час горіння рідин обумовлена не тільки процесом горіння, а й процесом випарування води зі змоченого ПС. Тому в якості кількісної характеристики інтенси-

вності горіння треба обрати інший параметр. Попередні дослідження масової швидкості вигорання рідин [10] дозволили запропонувати в якості оціночної характеристики інтенсивності горіння висоту полум'я. Для малих висот полум'я запроваджено додатковий параметр інтенсивності горіння: частка площі поверхні шару ПС, яка охоплена полум'ям. Відповідну якісну шестибальну шкалу відносної інтенсивності горіння рідин наведено у табл. 1.

Табл. 1. Якісна шкала відносної інтенсивності горіння рідин

Бали	Характеристика полум'я	Висота полум'я
5	дуже сильне горіння	близька до висоти полум'я без ПС
4	сильне горіння	близька до $\frac{1}{2}$ висоти полум'я без ПС
3	помірне горіння	близька до $\frac{1}{10}$ висоти полум'я без ПС
2	слабке горіння	менше $\frac{1}{10}$ висоти полум'я без ПС
1	дуже слабке горіння	менше $\frac{1}{10}$ висоти полум'я без ПС, полум'я охоплює менше $\frac{1}{2}$ поверхні ПС
0	повне погасання полум'я	відсутнє

Аналіз характеру горіння різних горючих рідин на лабораторному модельному вогнищі за різного шару ПС із застосуванням даної якісної шкали наведено у табл. 2.

Табл. 2. Оцінка можливості гасіння горючих рідин \ гранульованим змоченим піносклом за шестибальною шкалою

Рідина	Якісна оцінка характеру горіння за товщини шару ПС, см								
	2	3	4	5	6	7	8	10	12
Бензин	5	–	5	–	5	–	4	3	2*
Уайт-спірит**	5	–	5	–	4	–	3	2	1*
Октан	5	3	4	–	2	–	1*	0	–
Гас	5	3	4	3	2*	1*	0	–	–
Декан	5	3	4	3	2*	0	–	–	–
Дизельне паливо	4	2	1*	0	–	–	–	–	–
Додекан	3	1*	0	–	–	–	–	–	–
Машинне масло	1*	0	–	–	–	–	–	–	–

*–гасіння відбувається після подачі ГУС з поверхневою витратою $0,2 \text{ г/см}^2$.

**–температура спалаху « -10°C ».

З наведених у табл. 2 даних можна зробити висновок, що для більшості досліджених горючих рідин (крім бензину та уайт-спіриту) додаткове використання ГУС дозволяє зменшити товщину шару ПС, яка потрібна для гасіння, на 1–2 см. На рис. 1 наведено дослідні дані щодо висоти шару сухого та змоченого ПС, який необхідно накопичити для гасіння горючих рідин в залежності від їх температур спалаху.

З наведених графічних залежностей та даних табл. 2 можна зробити наступні висновки: зі зростанням температури спалаху рідин зменшується товщина шару як сухого так і змоченого ПС для їх гасіння; змочене ПС має більші вогнегасні властивості порівняно з сухим для рідин з температурою спалаху не менше 14°C ; перевага змоченого ПС у порівнянні

з сухим ПС за товщиною вогнегасного шару становить 1–2 см, що становить 25 % для найменш горючих рідин (у дослідях – машинне масло І-20); перевага змоченого ПС за умови подачі другим шаром ГУС з поверхневою витратою $0,2 \text{ г/см}^2$ у порівнянні з сухим ПС за товщиною вогнегасного шару ПС становить 3–4 см.

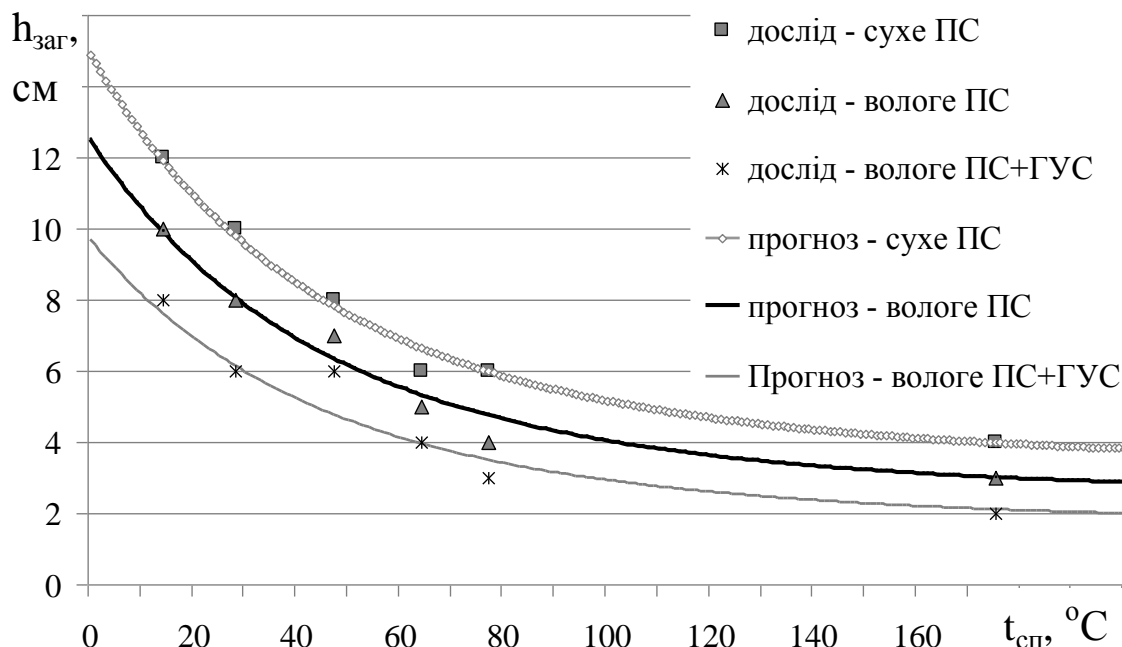


Рис. 1. Вогнегасний шар піноскла для припинення горіння рідин ряду алканів на лабораторному вогнищі за дослідом та за розрахунком

Аналіз дослідних даних дозволив встановити залежність, яка прогнозує товщину шару ПС для гасіння пожеж класу «В» в залежності від температури спалаху рідин та способу використання ПС для гасіння:

$$h_{\text{заг}} = h_0 \left(\frac{273}{T_{\text{сп}}} \right)^k + h_b, \text{ м}; \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, пов'язаний з охолоджуючою та ізолюючою дією ПС; h_b – базовий шар ПС для гасіння рідин, м; h_0 – нормувальний коефіцієнт, який показує значення додаткового шару ПС для гасіння рідини з $T_{\text{сп}} = 273 \text{ К}$, м; $T_{\text{сп}}$ – температура спалаху рідини, К.

За результатами комплексу проведених досліджень встановлено, що для прогнозу пожежогасіння рідин сухим ПС на лабораторному вогнищі коефіцієнти рівняння (1) становлять – $h_b = 0,034 \text{ м}$, $h_0 = 0,115 \text{ м}$; для змоченого ПС – $h_b = 0,025 \text{ м}$, $h_0 = 0,1 \text{ м}$; для змоченого ПС на звершенням гасіння шляхом подачі ГУС з витратою $0,2 \text{ г/см}^2$ – $h_b = 0,017 \text{ м}$, $h_0 = 0,08 \text{ м}$; для усіх способів гасіння пожеж класу «В» з застосуванням піноскла $k = 6$. Розрахункові залежності наведені на рис. 1.

З наведених в табл. 2 даних видно, що бензин та уайт-спірит на лабораторному вогнищі пожежі класу «В» неможливо загасити лише гранульованим ПС без наступної подачі ГУС. Для цього є недостатньою висота вільного борта модельних вогнищ. Тому досліди з гасіння рідин було проведено на модифікованому модельному вогнищі пожежі «2В» з нарощеними бортами [11]. Експеримент показав, що для гасіння бензину необхідна загальна товщина шару змоченого ПС – 65,5 см, а сухого ПС – 50 см. Для уайт-спіриту відповідні товщини шару ПС склали 32 см для змоченого ПС та 24 см для сухого ПС.

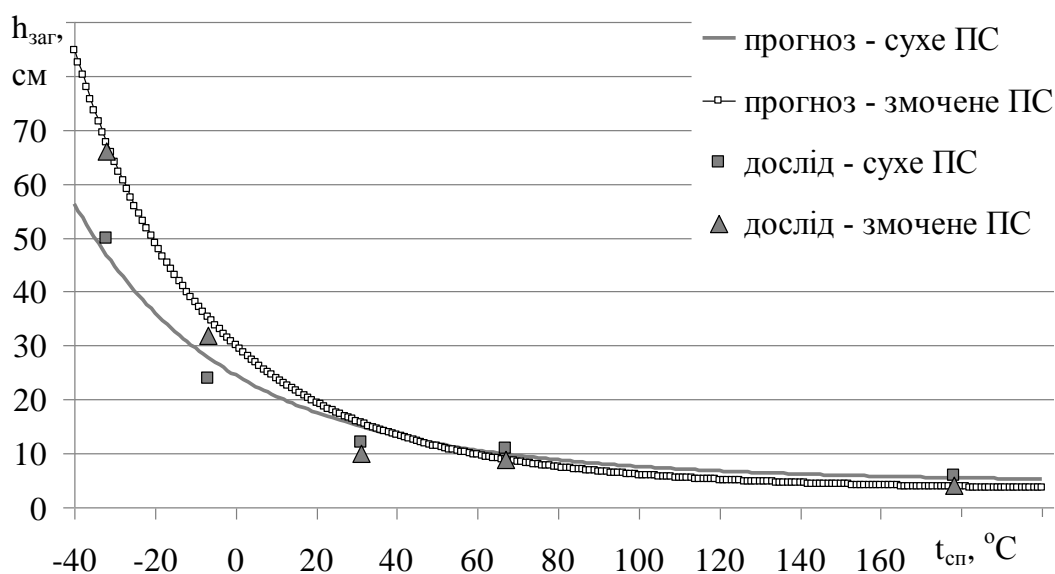


Рис. 2. Залежність вогнегасного шару сухого та змоченого піноскла від температури спалаху рідин ряду алканів при гасінні модельного вогнища «2В»

Розрахункові залежності прогнозованого вогнегасного шару сухого та змоченого ПС для горючих рідин ряду алканів за умови гасіння пожежі на модельному вогнищі «2В» наведено на рис. 2; розрахунок проведено з коефіцієнтами рівняння (1) для сухого ПС – $h_b = 0,045$ м, $h_o = 0,2$ м, $k = 6$; для змоченого – $h_b = 0,03$ м, $h_o = 0,27$ м, $k = 7$.

Ці дані показують, що рідини з низькою $t_{сп}$ краще гасити сухим ПС. Цей факт можна пояснити тим, що температуру верхнього шару рідини, що горить, неможливо охолодити нижче температури її спалаху шляхом подавання вогнегасної речовини з температурою навколишнього середовища (для бензинів $t_{сп} = -20 - -40$ °C). Основний внесок у вогнегасні властивості випробуваних вогнегасних систем вносять ізолюючі властивості шару ПС. Змочене ПС має меншу плавучість в горючих рідинах ніж сухе, тому шар такого ПС, який знаходиться вище рівня рідини, та його ізолююча дія будуть меншими. Але водночас збільшується його охолоджуюча здатність для поверхневого шару рідини внаслідок наявності води та більшої зануреної маси ПС.

За даними рис. 2 гасіння усіх легкозаймистих рідин з $t_{сп}$ меншою за 30 °C ефективно здійснювати не вологим ПС, а сухим. Зменшити загаль-

ну товщину шару сухого ПС за умови гасіння таких легкозаймистих рідин можна за рахунок подавання ГУС з поверхневою витратою $0,2 \text{ г/см}^2$ при нанесенні на несучий шар ПС товщиною 11-13 см. За таких умов гасіння бензину на модельному вогнищі «2В» реалізується за товщини шару сухого ПС зменшеної на 38 см (тобто на 76 %), для гасіння уайт-спіриту цей параметр зменшується на 12 см (на 50 %).

Висновки. Експериментально визначено вогнегасні характеристики змоченого піноскла у разі гасіння вогнища пожежі класу «В». Встановлено, за умови гасіння лабораторного вогнища пожежі класу «В» змочене ПС має кращі вогнегасні властивості (вогнегасний шар менший на 2 см) порівняно з сухим для рідин з температурою спалаху більше за 14°C . Експеримент показав, що у разі подачі на ПС другим шаром ГУС з поверхневою витратою $0,2 \text{ г/см}^2$ перевага змоченого ПС порівняно із сухим за товщини вогнегасного шару ПС становить 3-4 см. Досліди на модельному вогнищі пожежі класу «В» дозволили встановити, що вогнегасний шар змоченого ПС становить для бензину 66 см, для уайт-спіриту – 32 см. Експеримент показав, що подача ГУС дозволяє знизити вогнегасний шар ПС для бензину на 76 %, для уайт-спіриту – на 50 %. Встановлено аналітичну залежність, яка дозволяє прогнозувати значення вогнегасного шару ПС за температурою спалаху горючої рідини та коефіцієнти цього рівняння для різних режимів гасіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Campbell R. Fires at Outside Storage Tanks / R. Campbell // Report National fire protection association: August 2014. Режим доступу: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>.
2. Hylton J.G. U.S. Fire Department Profile / J. G. Hylton // Report: NFPA's. April 2017. – p. 39. Режим доступу: <https://www.nfpa.org//media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>.
3. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – №11(26). – С. 28 – 29.
4. Pat. 2014/153122 WO, IPC A61D 1/02, C08L 79/02, C08G 73/02. Polyperfluoroalkyl substituted polyethyleneimine foam stabilizers and film formers / Yuan Xie.; Original Assignee: Tyco fire products LP,–US61/785963, 14.03.2013, International Publication Date: 25.09.2014.
5. Seam J. Fire fighting foams with perfluorechemicals / J. Seam // Environmental revive. 2013. – Електронний ресурс: https://www.google.com.ua/search?rlz=1C1BLWB_enUA771UA722.
6. Olkowska E. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges / E. Olkowska, Ż. Polkowska, J. Namieśnik // Chem. Rev. 2011. Vol. 111, № 9. P. 5667-5700.
7. Пат. № 123563 UA. Спосіб гасіння резервуарів з горючими та

легкозаймистими рідинами / І.Ф. Дадашов, О.О. Кіреєв, Д.В. Тарадуда. – заяв.: НУЦЗУ.– u201710836, 06.11.2017; опубл. 26.02.2018, Бюл. №4.– 4 с.

8. Eom J.H. Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics / J.H. Eom, Y.W. Kim, S. Raju // Journal of Asian Ceramic Societies. v.1 (3), 2013. P. 220–242.

9. Дадашов І.Ф. Експериментальне дослідження охолодження горючої рідини гранулами піноскла / І.Ф. Дадашов // Пожежна безпека. – 2018. – № 33. – С. 48-52.

10. Дадашов І.Ф. Исследование влияния толщины слоя пеностекла на горение жидких углеводородов / И.Ф. Дадашов, Д.Г. Трегубов, А.А. Киреев, Е.В. Тарахно // Вестник КТИ.–№4(32). – 2018.–С.47-54.

11. Дадашов І.Ф. Напрямки вдосконалення гасіння пожеж нафтопродуктів / І.Ф. Дадашов, Д.Г. Трегубов, Ю.М. Сенчихін, О.О. Кіреєв // Науковий вісник будівництва. – т. 94.–№4. – 2018. – С. 238-249.

Отримано редколегією 13.03.2019

І.Ф. Дадашов, Д.Г. Трегубов, А.А. Киреев, А.П. Корчагина

Тушение горючих жидкостей огнетушащей системой на основе смоченного гранулированного пеностекла

Проанализировано охлаждающее действие пеностекла (ПС) и ПС в смоченном водой состоянии в процессе пожаротушения горючих и легковоспламеняющихся жидкостей. Исследована стадийность прекращения горения технических жидкостей ряда алканов в процессе подачи смоченного ПС на лабораторном очаге пожара класса «В». Предложена качественная шкала относительной интенсивности горения жидкостей при увеличении слоя пеностекла. Рассмотрена эффективность применения гелеобразующих систем для завершения тушения жидкостей и возможность одновременного уменьшения толщины слоя ПС. Получены графические и математические зависимости толщины необходимого для тушения слоя ПС от температуры вспышки жидкости ряда алканов. Доказано, что смоченное ПС позволяет повысить эффективность тушения горючих жидкостей с высокой температурой кипения.

Ключевые слова: очаг пожара класса «В», пеностекло, вода, охлаждение жидкости, изоляция испарения, тушение пожара.

I. Dadashov, D. Tregubov, A. Kireev, A. Korchagina

Stopping burning of flammable liquids by fire extinguishing system based on wetted granularfoam glass

The cooling effect of foam glass and foam glass in the water soaked in the combustion process of combustible and flammable liquids is analyzed. The stop burning stages of technical liquids of alkanes liquid series in the feeding process a wet foam on the laboratory fire cell of the class "B" is investigated. A qualitative scale of the relative intensity of liquids combustion for different layers of foam glass is proposed. The efficiency of application of gelling systems for completing liquids fire fighting and the possibility of simultaneous reduction of the foam glass layer thickness is considered. The graphic and mathematical dependences of the fire-extinguishing foam glass layer thickness from the flash-point of alkanes liquid series are obtained. It is proved that the wetted condition of the foam glass can increase the efficiency of extinguishing for high-boiling flammable liquids.

Keywords: fire cell of the class "B", foam glass, water, cooling of the liquid, isolation of the evaporation, fire extinguishing.