

I. Ф. Дадашов

Академія МНС Азербайджанської Республіки

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ ГРАНУЛАМИ ПІНОСКЛА

**Вступ.** Гасіння легкозаймистих рідин є однією з найважчих проблем пожежогасіння. Особливо великі труднощі виникають при гасінні нафти та нафтопродуктів у резервуарах. Найкращі результати при гасінні легкозаймистих рідин забезпечуються за допомогою повітряно-механічних пін. Для різних типів пін існують загальні недоліки: мала стійкість до дії інтенсивних теплових потоків від полум'я горючої рідини, їх швидке руйнування при контакті з полярними рідинами, труднощі з подачею на великі відстані, висока вартість багатьох піноутворювачів, наявність в їх складі речовин, небезпечних для навколишнього середовища, забруднення горючих рідин, висока вартість систем подачі піни.

**Мета.** Для усунення недоліків повітряно-механічної піни, пропонується використовувати гранульоване піноскло як один з компонентів системи пожежогасіння для гасіння горючих та легкозаймистих рідин. Раніше було встановлено, що шар піноскляних гранул уповільнює випаровування горючих рідин. Крім того, подача піноскла призводить до охолодження рідини, що горить. Охолодження є одним з найважливіших механізмів припинення горіння. Через охолодження легкозаймистих рідин тиск парів знижується над їх поверхнею, і, відповідно, інтенсивність горіння зменшується. Щоб визначити умови для згоряння легкозаймистих рідин необхідно знати температуру рідин після впливу на них вогнегасних речовин.

**Методи.** В якості горючої рідини було обрано n-додекан ( $C_{12}H_{26}$ ) кваліфікації «Ч». Він є представником гомологічного ряду алканів, входить до складу моторних палив. Для експериментів було обрано подрібнене піноскло з розміром гранул 1–1,5 см. Його характеристики наведені нижче:

- істинна густина  $186 \pm 19$  кг/м<sup>3</sup>;
- насипна густина  $105 \pm 17$  кг/м<sup>3</sup>;
- плавучість (відношення висоти шару піноскла над рівнем рідини до загальної товщини шару піноскла) у воді  $0,57 \pm 0,05$ ;
- плавучість змоченого піноскла в додекані  $0,44 \pm 0,04$ ;
- водопоглинання  $56,7 \pm 5\%$ ;
- теплоємність  $0,78 \pm 0,03$  кДж/(кг·К).

Під час експерименту 350 мл додекану розігрівали у металевому контейнері при температурі на  $10-15^\circ$  С вище обраної температури. Після цього виливали в теплоізолюваний металевий циліндричний контейнер із внутрішнім діаметром 11,2 см. Температуру вимірювали термометром з точністю 0,1 К. Крім того, проводили експеримент із засипанням піноскла. Об'єм піноскла - 1000 мл.

**Результати.** Відповідні експериментальні результати для сухого та змоченого піноскла дані в табл.

Таблиця

Значення зменшення температури після розсіювання сухого ( $\Delta T_1$ ) і змоченого ( $\Delta T_2$ ) піноскла на різних температурах нагрітого додекану ( $T_d$ )

$T_d, ^\circ\text{C}$	80	100	120	140	160
$\Delta T_1, ^\circ\text{C}$	4,9	5,8	8,7	10,1	12,5
$\Delta T_2, ^\circ\text{C}$	19,0	24,2	33,8	49,8	68,7

### Висновки:

1. Проведено експериментальне дослідження охолодження розігрітого додекану гранулами сухого та змоченого піноскла.
2. Встановлено, що змочене піноскло зберігає плавучість в додекані.
3. Встановлено, що змочене піноскло знижує температуру розігрітого додекану в 3,9 - 5,5 разів більше ніж сухе піноскло.
4. Для сухого піноскла проведено порівняння експериментальних результатів з розрахунковими значеннями зниження температури розігрітого додекану, яка враховує теплоємнісну складову процесу охолодження.

**Ключові слова:** резервуар з горючою рідиною, піноскло, змочене піноскло, охолодження поверхні рідини, додекан.

**Постановка проблеми.** Гасіння горючих рідин є однією із складних проблем пожежогашіння. Особливо великі труднощі викликає гасіння горючих (ГР) і легкозаймистих рідин (ЛЗР), що зберігаються в резервуарах великої місткості. Такі пожежі характеризуються великою тривалістю, високими матеріальним збитками і часто людськими жертвами [1]. Світові статистичні дані вказують на значну поширеність такого виду пожеж [2-3].

Найбільшу ефективність при гасінні ГР і ЛЗР забезпечують засоби гасіння, в яких реалізуються ізолюючий і охолоджуючий механізми припинення горіння. Такими засобами гасіння є повітряно-механічні піни. Вогнегасні піни дають змогу надійно створити умови згасання над усією поверхнею рідини на час достатній для охолодження нагрітих конструкцій до температури нижчої за температуру самозаймання. А саме виконання цих двох умов є необхідним для успішного гасіння пожеж класу "В".

Проте для усіх видів піл більшою або меншою мірою характерна наявність загальних недоліків: мала стійкість при дії інтенсивних теплових потоків від полум'я при горінні рідини, швидке їх руйнування при контакті з полярними рідинами, труднощі з подачею на великі відстані, висока вартість ряду піноутворювачів, наявність в їх складі екологічно небезпечних речовин. На підставі вищесказаного можна зробити висновок, що вирішення проблеми низької ефективності існуючих методів гасіння горючих рідин в резервуарах потребує розробки нових більш ефективних вогнегасних засобів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [4] для усунення ряду відмічених недоліків повітряно-механічних піл запропоновано використовувати гранульоване піноскло (ПС) як один з компонентів вогнегасної системи для гасіння горючих рідин. Запропоновано для цілей пожежогашіння використовувати гранульоване або подрібнене ПС. Таке ПС має низьку питому густину ( $0,1-0,2 \text{ г}\cdot\text{см}^3$ ), що забезпечує його плавучість в ГР і ЛЗР, як у сухому, так і змоченому вигляді. В роботах [5, 6] встановлено, що шар ПС уповільнює випаровування горючих рідин. Крім того ПС призводить до охолодження рідин, що горять. Але кількісного визначення охолоджувальної дії ПС стосовно рідин проведено не було.

**Мета роботи.** Метою роботи є експериментальне визначення впливу гранульованого піноскла на рідини в умовах горіння. Охолодження є одним з важливих механізмів припинення горіння. Завдяки охолодженню ГР і ЛЗР знижується тиск пари над їх поверхнею і відповідно знижується інтенсивність горіння. Для визначення умов припинення горіння ГР і ЛЗР потрібне знання температури рідин після впливу

на них вогнегасних речовин. Теоретичні розрахунки зниження температури поверхні рідини можна провести для сухого ПС. Такі розрахунки для змоченого ПС провести складно тому, що неможливо врахувати винесення частини води в аерозольному стані в результаті закипання рідини та повноту випарування води.

**Виклад основного матеріалу.** В якості горючої рідини було обрано *n*-додекан ( $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ ) кваліфікації «Ч». Він є представником гомологічного ряду алканів, входить до складу моторних палив. Він має досить високі температури кипіння ( $216^\circ\text{C}$ ) і спалаху ( $74^\circ\text{C}$ ), що спрощує проведення експерименту. За теплоємністю додекан близький до основних технічних рідин ( $2,09 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ). Питома густина за температури  $100^\circ\text{C}$  становить  $0,675 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ .

Для експериментів було обрано подрібнене ПС з розміром гранул  $1-1,5 \text{ см}$ . Його характеристики наведені нижче:

- істинна питома густина  $0,186(19) \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$  (данні виробника);
- насипна питома густина  $0,105(17) \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ;
- плавучість (відношення висоти шару ПС над рівнем рідини до загальної товщини шару ПС) у воді  $0,57\pm 0,05$ ;
- плавучість змоченого ПС в додекані  $0,44\pm 0,04$ ;
- водопоглинання  $56,7\pm 5\%$ ;
- теплоємність  $0,78\pm 0,03 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  (данні виробника).

Існує деяка невизначеність в значенні істинної питомої густини ПС. Це пов'язано з тим, що зовнішні пори піноскла можуть заповнюватися рідиною.

В ході експерименту  $350 \text{ мл}$  додекану розігрівалися в металічній посудині до температури на  $10-15^\circ\text{C}$  вищої за обрану температуру. Після чого додекан виливали в теплоізольовану металеву посудину циліндричної форми з внутрішнім діаметром  $11,2 \text{ см}$  ( $S=98,5 \text{ см}^2$ ). Температура вимірювалась ртутним термометром з точністю  $0,1 \text{ К}$ . Термометр розташовувався так, щоб резервуар із ртуттю було занурено до середини рівня горючої рідини. Висота шару рідини в циліндричній посудині становила  $h=3,55 \text{ см}$ . Внаслідок витіснення рідини піносклом, її рівень піднімається на певну величину. Експериментально встановлено, що рівень рідини становив  $\sim 7,5 \text{ см}$ . Шар ПС такої висоти буде безпосередньо контактувати з додеканом.

Спочатку провели «холостий» дослід в якому досліджувала швидкість охолодження рідини без засипання ПС. В таких дослідах було встановлено, що зниження температури завдяки теплообміну з навколишнім середовищем за  $5$  хвилин становило  $0,9 - 1,7^\circ\text{C}$ .

Далі провели дослід із засипанням ПС. Об'єм піноскла становив 1000 мл, чого було достатньо для заповнення шару рідини з осіданням піноскла на дно посудини. Як прийнято в калориметричних дослідах вимірювання температури проводилось протягом трьох періодів: попереднього, основного і кінцевого [7]. При цьому значення температури фіксували через кожні 30 с. Далі графічним способом визначали зміну температури рідини після засипання ПС. За кінцеву температуру приймали температуру, через 10 хвилин після засипання піноскла.

Значення температури нагрітого додекану було прийнято рівними 80, 100, 120, 140 і 160 °С що відповідає значенням температури верхнього шару основних легкозаймистих рідин на початковому етапі пожеж в резервуарах. Відповідні результати для сухого ПС наведено в таблиці 1.

Також було проведено спрощену теоретичну оцінку охолодження додекану сухим піносклом. При цьому було взято до уваги зміну рівня додекану, через засипання піноскла, від 3,55 см до 7,5 см. Також було прийнято, що теплоємності додекану і піноскла не залежать від температури і дорівнюють відповідним значенням при температурі 25 °С. В розрахунках враховувалась тільки та частина піноскла, яка була занурена в додекані та маса металу (заліза) з якого виготовлена металічна посудина (~200 г), що була в контакті з рідиною. Теплоємність заліза при температурі 100 °С становить (0,352 кДж/(кг·К)). Початкова температура ПС прийнята як 20 °С.

Рівняння теплового балансу яке використовувалось для розрахунку зниження температури, має вигляд:

$$c_{nc} \cdot m_{nc} \cdot (T_2 - 20) = (c_d \cdot m_d + c_z \cdot m_z) \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

де  $c_{nc}$ ,  $c_d$ ,  $c_z$  – питомі теплоємності піноскла, додекану і заліза;

$m_{nc}$ ,  $m_d$ ,  $m_z$  – маси піноскла, додекану і заліза;

$T_1$  і  $T_2$  – початкова і кінцева температура додекану.

Відповідні результати наведено в табл.1.

**Таблиця 1**

Значення зниження температури після засипання сухого піноскла, отримані експериментально ( $\Delta T_e$ ) і розрахунково з врахуванням вкладу стінок ( $\Delta T_{p1}$ ) і без врахування вкладу стінок ( $\Delta T_{p2}$ ) для різних температур нагрітого додекану ( $T_d$ )

$T_d$ , °С	80	100	120	140	160
$\Delta T_e$ , °С	4,9	5,8	7,6	10,1	12,5
$\Delta T_{p1}$ , °С	4,9	6,5	8,1	9,7	11,3
$\Delta T_{p2}$ , °С	5,5	7,3	9,1	10,9	12,7

Порівняння експериментальних і розрахункових даних, дає змогу зробити висновок про їх задовільний збіг. Але перенесення таких результатів на реальні резервуари буде некоректним, тому що теплоємність стінок резервуара на реальних об'єктах набагато менша порівняно з теплоємністю рідини в резервуарах. Тому для таких об'єктів було проведено розрахунки без врахування внеску від стінок резервуара. В такому випадку рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$c_{nc} \cdot m_{nc} \cdot (T_2 - 20) = c_d \cdot m_d \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Відповідні результати розрахунків наведено в табл.1.

Під час моделювання процесу охолодження рідин, що горять в резервуарах взагалі треба використовувати співвідношення (2), а поблизу стінок резервуара більш надійні результати будуть отримані на основі співвідношення (1).

Попередні досліди показали, що змочене піноскло утримує ~50 % води і при цьому зберігає плавучість в горючих рідинах. З урахуванням того, що вода має аномальну високу охолоджуючу дію [8] було експериментально досліджено охолоджуючу дію змоченого ПС (табл. 2).

**Таблиця 2**

Значення зниження температури після засипання змоченого піноскла, отримані експериментально ( $\Delta T_e$ ) для різних температур нагрітого додекану ( $T_d$ )

$T_d$ , °С	80	100	120	140	160
$\Delta T_e$ , °С	19,0	24,2	33,8	49,8	68,7

Провести розрахунки зменшення температури додекану при засипанні змоченого ПС можна лише у випадку, якщо відомо, яка частина води випарувалась. В інтервалі температур 80-100 °С випарування буде неповне. В інтервалі температур 120-160 °С крім повноти випарування води, невідомо, яка частина води виноситься в аерозольному стані в результаті розбрикування рідин під час засипання ПС і бурхливого кипіння. Факт неповного випарування води було підтверджено експериментально ваговим методом. Були зіставленні маси піноскла після проведення експерименту з масою піноскла, змоченого окремо водою і додеканом.

Зіставлення даних таблиць 1 і 2 дає змогу констатувати, що перевага охолоджуючої дії змоченого піноскла порівняно з сухим піносклом зростає у 3,9÷5,5 разів зі збільшенням температури від 80 до 160 °С.

### **Висновки:**

1. Проведено експериментальне дослідження охолодження розігрітого додекана грамулами сухого та змоченого піноскла.

2. Показано, що змочене піноскло зберігає плавучість в додекані.

3. Встановлено, що змочене піноскло знижує температуру розігрітого додекану у 3,9 -5,5 разів більше ніж сухе піноскло.

4. Для сухого піноскла проведено порівняння експериментальних результатів з розрахунковими значеннями зниження температури розігрітого додекану яке враховує теплоємність складову процесу охолодження.

### **Література**

1. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – № 11 (26). – С. 28-29.

2. Campbell R. Fires at Outside Storage Tanks / R. Campbell // Report National fire protection association: August 2014. Електронний ресурс: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>.

3. Hylton J. G. U.S. Fire Department Profile / J. G. Hylton // Report: NFPA's. April 2017. – p. 39. Електронний ресурс: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>.

4. Пат. 123563 Україна, МПК А 62 С 3/06, А 62 D 1/00. Спосіб гасіння резервуарів з горючими та легкозаймистими рідинами / Дадашов І.Ф., Кіреєв О.О., Тарадуда Д.В., заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № 201710836. Заявл. 06.11.2017; надр. 26.02.2018; Бл. № 4. – 4 с.

5. Дадашов И.Ф. Замедление испарения жидкости слоем гранулированного материала, нанесенного на её поверхность / И.Ф. Дадашов, А.А. Киреев, А.Я. Шаршанов, // Проблемы пожарной безопасности. – 2017. – Вып. 41. – С. 53 – 58.

6. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование испарения бензина через слой гранулированного пеностекла / И.Ф. Дадашов // Проблемы пожарной безопасности. – 2017. – Вып.42. – С. 27-32.

7. Каретников Г.С. Практикум по физической химии / Г.С. Каретников, Н.А. Козырева, И.В. Кудряшов. – М. : Высш. школа, 1996. – 495 с.

8. Тарахно О.В. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі / О.В. Тарахно, А.Я. Шаршанов. – Харків, 2004. – 252с.

### **References**

1. Borovykov, V. (2015) "Extinguishing fires in tanks with oil and oil products". *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, No. 11 (26), pp. 28-29.

2. Campbell, R. (2014). "Fires at Outside Storage Tanks", Report National fire protection association, available at: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>. acctssed, August 21, 2014.

3. Hylton J. G. (2017) "U.S. Fire Department Profile". Report: NFPA's. April 2017. – p. 39. available at: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>.

4. Pat. 123563 Ukraina, МПК А 62 S 3/06, А 62 D 1/00. Sposib gasynnya rezervuariv z goryuchimi ta legkozaymistimi ridinami / Dadashov I.F., Kireev O.O., Taraduda D.V., zayavnik i patentovlasnik Natsionalniy universitet tsivilnogo zahistu Ukraini. – № 201710836. Zayavl. 06.11.2017; nadr. 26.02.2018; Bl. № 4. – 4 s.

5. Dadashov, I.F. (2017). Zamedlenie ispareniya zhidkosti sloem granulirovannogo materiala, nanesionnogo na ego poverhnosti. [Deceleration of evaporation of liquid the layer of the granular material inflicted on her surface]. *Problemyi pozharney bezopasnosti – Problems of fire safety*. Charkiv. Ukraina – Vyip.41. – S. 53.

6. Dadashov, I.F. (2017). Eksperimentalnoe issledovanie ispareniya benzina cherez sloy granulirovannogo penostekla. [Experimental research of evaporation of petrol through the layer of granular foamglass]. *Problemyi pozharney bezopasnosti – Problems of fire safety*, Charkiv. Ukraina, – Vyip.42. – S. 27-32.

7. Karetnikov, G.S. (1996). *Praktikum po fizicheskoy himii*, [Practical work on physical chemistry], Moscwa, : Vyissh. shkola, Russia.

8. Tarahno, O.V. (2004) *Fiziko-himichni osnovi vikoristannya vodi v pozhezhniy spravi*, [Physical and chemical bases of the use of water are on fire business], Harkiv, 252s.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF USING GRANULATED FOAMGLASS FOR COOLING THE COMBUSTIBLE LIQUID

**Introduction.** Extinguishing of flammable liquids is one of the most difficult problems of firefighting. Especially great difficulties are caused by fire extinguishing of oil and oil products, in tank farms. The best results when extinguishing flammable liquids are provided by means air-mechanical foams. For various types of foams, there are common drawbacks: low foams stability under the action of intense heat fluxes from the flame of a burning liquid, their rapid destruction upon contact with polar liquids, difficulties with feeding over long distances, high cost of a number of foaming agents, the presence in their composition of environmentally hazardous substances, contamination of flammable liquids, high cost of foam supply systems .

**Purpose.** To eliminate the disadvantages of air-mechanical foam, it is proposed to use granular foam glass as one of the components of the fire extinguishing system for extinguishing flammable liquids. It has been previously established that the foam glass layer slows down the evaporation of combustible liquids. In addition, filling the foam glass leads to the cooling of the burning liquids.

Cooling is one of the most important mechanisms for stopping combustion. Due to the cooling of flammable liquids, the vapor pressure is lowered over their surface and, accordingly, the intensity of combustion decreases. To determine the conditions for combustion of flammable liquids need to know the temperature of liquids after exposure to them extinguishant substances.

**Methods.** N-dodecane ( $C_{12}H_{26}$ ) was chosen as a combustible liquid. He is the representative of the homologous series of alkanes, entering into the composition of motor fuels. For experiments, a chopped foam glass with a granule size of 1-1.5 cm was selected. Its characteristics are given below:

- the truth density of  $186 \pm 19 \text{ kg / m}^3$ ;
- bulk density  $105 \pm 17 \text{ kg / m}^3$ ;
- heat capacity  $0,78 \pm 0,03 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{K)}$ .

During the experiment 350 ml of dodecane was played in a metallic container at a temperature of 10-15 ° C above the chosen temperature. After that, poured into a heat-insulated metal cylindrical container with an internal diameter of 11.2 cm. The temperature was measured by an thermometer with an accuracy of 0.1 K. Further, an experiment was conducted with the aspiration of the PS. The volume of foam glass is 1000 ml.

**Results.** The corresponding experimental results for dry and wetted foam glass are given in Table.

**Table**

The values of decrease in temperature after scattering of dry ( $\Delta T_1$ ) and wetted ( $\Delta T_2$ ) foamglass for different temperatures of heated dodecane ( $T_d$ )

$T_d, ^\circ\text{C}$	80	100	120	140	160
$\Delta T_1, ^\circ\text{C}$	4,9	5,8	8,7	10,1	12,5
$\Delta T_2, ^\circ\text{C}$	19,0	24,2	33,8	49,8	68,7

### Conclusion.

1. An experimental study was carried out on the cooling of preheated dodecane with granules of dry and wetted foam glass.

2. It was found that the dusted foam glass retains buoyancy in dodecane.

3. It has been established that the wetted foam glass reduces the temperature of the heated preodankum 3,9 - 5,5 times more than dry foam glass.

4. For a dry foamglass, comparing of experimental results is conducted to the calculation values of decline of temperature of warmed-up dodecane that takes into account heatcapacity constituent of cooling process.

**Key words:** reservoir with a combustible liquid, foamglass, moistened foamglass, cooling of surface of liquid, dodecane.