

*І.Ф. Дадашов, канд. техн. наук, (Академія МНС Азербайджанської Республіки,  
(Національний університет цивільного захисту України),  
О.О. Кіреєв, д-р техн. наук, доцент  
(Національний університет цивільного захисту України)*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШАРУ ГРАНУЛЬОВАНОГО ПІНОСКЛА НА ГОРІННЯ БЕНЗИНУ**

Проаналізовано недоліки відомих засобів пожежогасіння горючих рідин. Для їх усунення запропоновано використовувати гелеутворювальні вогнегасні склади. Для забезпечення плавучості гелеподібного шару в горючих і легкозаймистих рідинах запропоновано використовувати легкий негорючий неорганічний носій - гранульоване піноскло. Експериментально визначено вплив товщини шару піноскла на масову швидкість вигорання бензину. Встановлено, що масова швидкість вигорання бензину швидко зменшується після досягнення товщини шару 7 см. Зроблено висновок, що нанесення шару легкого носія на горючу рідину дає змогу знизити швидкість конвективних потоків над її поверхнею до рівня, що дозволяє успішно подавати компоненти гелеутворювальні системи в розпиленому вигляді.

**Ключові слова:** масова швидкість вигорання, бензин, пожежі в резервуарах, гелеутворювальні вогнегасні системи, гранульоване піноскло.

*I.F. Dadashov, A.A. Kireev*

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF A GRANULATED FOAMED GLASS LAYER ON THE BURNING OF GASOLINE**

The limitations of existing fire extinguishing means for combustible liquids are analyzed. To eliminate them gel-forming fire extinguishing systems are used. To ensure the buoyancy of the gel-like layer in flammable liquids, a light non-flammable inorganic carrier - granular foam glass is proposed to use. The influence of the thickness of the foamed glass layer on the mass burnup rate of gasoline has been determined experimentally. The results showed that the mass burnup rate of gasoline decreases rapidly after reaching a layer thickness of 7 cm. The conclusion was done that applying a layer of light carrier to a combustible liquid allows to reduce the velocity of convective currents above its surface to a level allowing to supply successfully the components of the gel-forming system in a sprayed form.

**Key words:** mass burning rate, petrol, fires in tanks, gel-forming fire extinguishing systems, granulated foam glass.

**Постановка проблеми.** Гасіння горючих рідин є однією із найскладніших проблем в пожежогасінні. Особливі труднощі викликає гасіння нафти і нафтопродуктів, в резервуарних парках. Зазвичай такі пожежі характеризуються підвищеною тривалістю, необхідністю залучення великої кількості сил і засобів пожежогасіння, великим матеріальними, а часом і людськими втратами [1-4]. У різних літературних джерелах можна знайти інформацію про можливість гасіння горючих рідин (ГР) і легкозаймистих рідин (ЛЗР) практично всіма відомими методами та засобами пожежогасіння: повітряно-механічними пінами, розпорошеною водою, водними розчинами, емульсіями, порошковими засобами, аерозолями, відкачуванням палива з резервуара, твердою вуглекислою, газами-розріджувачами, газоподібними інгібіторами, вогнеперешкоджувачами. На думку деяких авторів [5], більшість таких методів гасіння (окрім гасіння пінами) представляють швидше теоретичний інтерес, через складності забезпечення умов згасання одночасно над всією поверхнею рідини. Проте необхідно відзначити, що всі згадані методи гасіння забезпечують необхідний результат в різних конкретних випадках. Так позитивних результатів часто можна досягнути при гасінні вогнищ пожежі з малою площею горіння. У ряді випадків ці методи забезпечують гасіння висококиплячих або в'язких рідин.

Найкращі результати при гасінні ГР і ЛЗР забезпечують засоби гасіння, в яких реалізується ізолювальний механізм припинення горіння. Таким засобом гасіння є повітряно-механічні піни. Вогнегасні піни дають змогу надійно створити умови згасання над усією по-

верхню рідину на час, достатній для охолодження нагрітих конструкцій до температури, нижчої за температуру самозаймання. А, як відомо саме виконання цих двох умов є необхідним для успішного гасіння пожеж класу "В".

В Україні та у більшості держав пострадянського простору в нормативних документах піни відзначаються як основний засіб гасіння ГР і ЛЗР [6-8]. Лише у декількох ситуаціях нормативними документами допускається застосування вогнегасних порошків і розпорошеної води.

Піни використовуються для гасіння горючих рідин понад століття. Для отримання вогнегасних піни використовуються водні розчини одним з основних компонентів яких є поверхнево активні речовини (ПАР), що дістали назву піноутворювачів (ПУ). Спочатку використовувалися ПУ на основі ПАР рослинного походження, які поступово замінювали на ПАР тваринного походження (білкові ПАР). Згодом широкого поширення набули ПУ на основі синтетичних ПАР. Проте всі раніше розроблені піноутворювачі часто не забезпечували позитивного результату гасіння навіть при повному виконанні нормативних вимог [3-4].

До недавнього часу при гасінні пожеж в резервуарах відбувався перехід на використання плівкоутворювальних піноутворювачів. Останній тип ПУ містить перфторові сполуки. Впровадження плівкоутворювальних піноутворювачів істотно підвищило ефективність пожежогасіння резервуарів. Такі ПУ в переважній більшості випадків дають змогу забезпечити позитивний результат гасіння пожеж за участю горючих рідин при виконанні нормативних вимог. Переваги плівкоутворювальних ПУ перед ПУ загального призначення є загальноприйнятим [2-5].

Проте для усіх видів ПУ у більшій або меншій мірі характерна наявність загальних недоліків: мала стійкість піни при дії інтенсивних теплових потоків від полум'я рідини, про що свідчить, швидке їх руйнування при контакті з полярними рідинами, труднощі з подаванням на великі відстані, висока ціна ряду ПУ, наявність у їх складі екологічно небезпечних речовин, забруднення ними горючої рідини. Для плівкоутворювальних ПУ також відзначається як істотний недолік висока ціна як систем підшарового подавання піни, так і самих ПУ [9-10].

Проте критичними параметрами плівкоутворювальних ПУ виявилися їх екологічні характеристики [11-12]. Вони виявилися в 150 разів більш токсичними за "біологічно жорсткий" піноутворювач ПО-6К і в 2500 разів стабільніші до біодеградації в довкіллі. Підтвердженням факту екологічної небезпеки таких ПУ стало рішення Агентства з охорони довкілля США оголосити програму добровільного припинення використання таких речовин і відмову фірми "ЗМ" від їх випуску.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для усунення ряду відмічених недоліків повітряно-механічних піни було запропоновано використати гелеутворювальні вогнегасні та вогнезахисні склади (ГУС) [13-14]. ГУС є бінарною системою, рідкі компоненти якої окремо та одночасно подаються у вогнище горіння. Компоненти системи підібрані так, щоб при їх змішуванні утворювався нетекучий гелеподібний шар. Для забезпечення плавучості такого шару в ГР і ЛЗР запропоновано використати легкий негорючий неорганічний носій – гранульоване піноскло [15]. Технологія гасіння рідин, таким чином, складається з двох етапів. Перший етап – рівномірне нанесення на поверхню рідини шару легкого носія – гранульованого піноскла (ПС). Другий етап – нанесення на шар плаваючого піноскла компонентів ГУС. Бінарний шар легкий носій – гель забезпечує ізоляцію простору над шаром гелю від проникнення пари ГР і ЛЗР.

У роботах [16-17] були встановлені високі ізолювальні властивості гелеподібного шару. При товщині суцільного шару гелю, яка становить 1,3-1,4 мм коефіцієнт уповільнення випарування вуглеводневих палив дорівнює ~ 30. Проте нанесення шару гелю потребує подання компонентів ГУС в розпорошеному вигляді. Цьому процесу перешкоджають інтенсивні висхідні конвективні потоки від поверхні горючої рідини. Знизити швидкість конвективних потоків дає змогу попереднє нанесення шару легкого носія. У роботі [18] визначено швидкості випаровування рідин через шар легкого носія. Так було встановлено, що шар гранульованого піноскла уповільнює швидкість випарування бензину при товщині шару 4,5 см в 1,4 раза, із зростанням шару до 13,5 см – в 5,6 раза.

Експерименти з визначення впливу товщини шару ПС були проведені при температурі 20 °С. Вплив товщини шару ПС на швидкість випарування бензину за умови його горіння раніше не досліджувався. Оскільки лімітуючою стадією горіння рідин є швидкість її випарування, то інтенсивність горіння залежатиме від товщини шару легкого носія.

**Постановка завдання.** Метою роботи є експериментальне визначення масової швидкості вигорання бензину з нанесеним на його поверхню шаром гранульованого ПС. Кількісно масова швидкість вигорання рідини ( $V$ ) ( $\frac{g}{c \cdot m^2}$ ) [19] визначається із співвідношення:

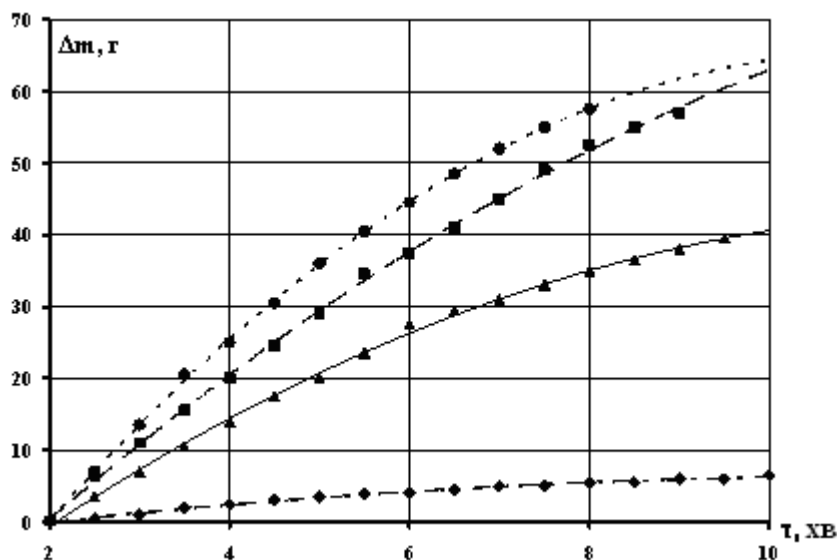
$$V = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (1)$$

де  $\Delta m$  – зміна маси рідини в результаті її горіння, г;

$\tau$  – час горіння, с;

$S$  – площа поверхні рідини,  $m^2$ .

**Викладення основного матеріалу.** Заздалегідь була вивчена швидкість вигорання бензину з вільної поверхні. Для цього 100 мл бензину А- 92 (зимового), налили в металеву посудину циліндричної форми з внутрішнім діаметром 11,2 см ( $S=98,5 \text{ cm}^2$ ). При цьому товщина шару бензину становила ~1 см. Далі заливалися такий об'єм води, щоб поверхня бензину була нижча від бортів циліндра на 1 см. Після цього бензин підпалювали і гравіметричним методом визначали його втрату маси до закінчення горіння. Зважування здійснювалося за допомогою електронних ваг безперервного зважування ВТА- 60-3-7. Точність зважування становила 0,5 г. Виміри проводилися при температурі навколишнього повітря ( $20 \pm 2$ ) °С. Відповідні значення зменшення маси бензину ( $\Delta m$ ), починаючи з другої хвилини після початку горіння, представлені на рис. 1.



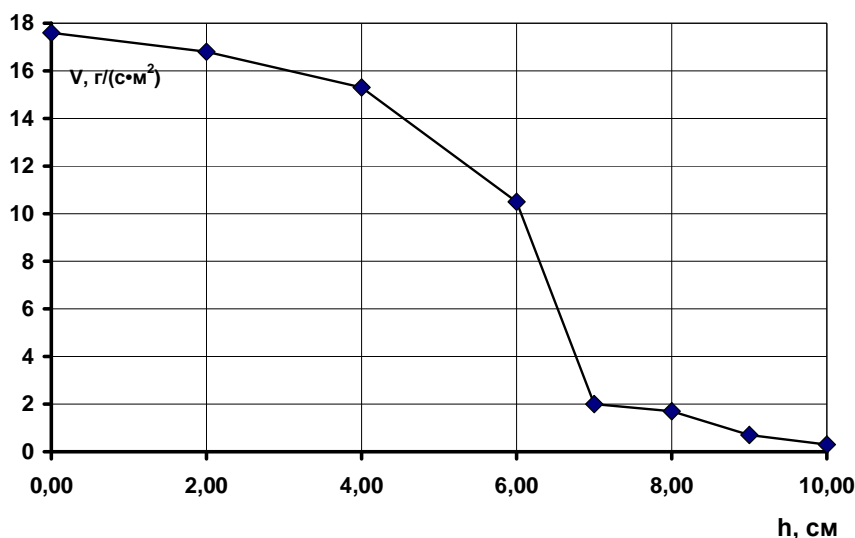
**Рисунок 1** – Зміна маси бензину ( $\Delta m$ ) в процесі горіння з часом ( $\tau$ ) при різній товщині шару гранульованого піноскла (● – 0 см, ■ – 4 см, ▲ – 6 см, ◆ – 8 см)

Виміряти товщину шару ПС, що знаходиться вище рівня рідини, при проведенні лабораторних досліджень складно. Тому, як і раніше [18] усі дані наводяться для загальної товщини шару гранульованого піноскла.

Надалі було досліджено швидкість вигорання бензину з нанесеним шаром ПС. Експеримент проводився так само, як і без нанесеного шару, за винятком того, що об'єм води під-

бирився таким, щоб після нанесення на поверхню бензину ПС, висота вільного борту становила 1 см. При цьому шар легкого носія рівномірно засипався на поверхню, що горіла, після 1 хвилини вільного горіння бензину. Значення убування маси фіксувалися після двох хвилин від початку горіння. Всього було визначено швидкість горіння бензину для 7 товщин шару ПС: 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10 см. Відповідні графічні залежності для трьох товщин шару ПС представлені на рис. 1. Аналіз наведених результатів наводить на висновок, що в інтервалі часу від 2 до 6 хвилин ці залежності близькі до лінійних. Це означає, що масова швидкість вигорання бензину за цей проміжок часу постійна.

На підставі отриманих результатів за рівнянням (1) було розраховано масові швидкості вигорання бензину для різної товщини шару ПС. Відповідна залежність масової швидкості вигорання бензину від товщини шару ПС представлена на рис. 2.



**Рисунок 2** – Залежність масової швидкості вигорання бензину ( $v$ ) від товщини шару гранульованого ПС ( $h$ )

Аналіз приведених графічних залежностей наводить на такі висновки :

- при збільшенні товщини шару ПС масова швидкість вигорання бензину убуває;
- в інтервалі 0-4 см убування масової швидкості вигорання незначне;
- в інтервалі 4-7 см відбувається швидке зменшення масової швидкості вигорання бензину;

- в інтервалі товщини шару ПС 7-10 см масова швидкість вигорання бензину в десятки разів менша, ніж масова швидкість вигорання бензину з вільної поверхні.

Візуальні спостереження процесу горіння бензину з нанесеним шаром ПС також показують, що при товщині шару ПС більше 7 см висота полум'я і швидкість конвективних потоків над поверхнею шару ПС незначні. Причому, при товщині шару 9-10 см спостерігається лише локальне горіння на окремих ділянках з періодичним проскакуванням полум'я углиб шару ПС. У такому режимі горіння виявилось легко добитися повного згасання полум'я. В ході додаткових дослідів було встановлено, що згасання легко досягається при подаванні розпорошеної води з малою витратою в течії 1 с. Такий же результат забезпечується при короткочасному поданні компонентів ГУС і дії повітряного потоку (зрив полум'я). Одночасно встановлено, що після припинення горіння такими способами, воно легко відновлюється при внесенні джерела запалення.

Порівняння результатів впливу товщини шару ПС на процес горіння бензину і його випарування [18] дає змогу зробити такі висновки. У інтервалі товщини шару ПС 7-10 см

швидкість випарування бензину зменшується в 2-5 разів порівняно з випаруванням з вільної поверхні. У цьому ж інтервалі товщини шару ПС швидкість горіння бензину зменшується в десятки разів порівняно зі швидкістю горіння без нанесеного шару. Цей факт можна пояснити тим, що швидкість випарування під дією шару ПС зменшується тільки завдяки зменшенню швидкості дифузії пари бензину через пористий матеріал. На швидкість горіння бензину окрім зменшення швидкості дифузії впливає охолодження шару бензину, що горить, гранульованим ПС і екранування теплового потоку від полум'я до поверхні бензину.

**Висновки.** Запропонований для забезпечення плавучості шару гелю в горючих рідинах легкий негорючий носій – гранульоване піноскло з товщиною шару 7-10 см дає змогу зменшити масову швидкість вигорання бензину в десятки разів. Це знижує швидкість конвективних потоків над поверхнею рідини, що горить, до рівня, який дає змогу успішно подавати компоненти гелеутворювальної системи в розпорошеному вигляді.

#### Список літератури:

1. Вогнегасні речовини / А. В. Антонов, В. О. Боровиков, В. П. Орел, В. М. Жартовский та ін. – К. : Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
2. Шараварников А. С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А. Ф. Шараварников, В. П. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шараварников. – М. : Калан, 2002. – 448 с.
3. Баратов А. Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности / А. Н. Баратов, Е. Н. Иванов. – М. : Химия, 1979. – 368 с.
4. Ковалишин В. В. Пінне гасіння / В. В. Ковалишин, О. Е. Васильєва, Н. М. Козяр. – Львів : СПОЛОМ, 2007. – С. 137-138.
5. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – № 11 (26). – С. 28-29.
6. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби. Київ, МНС України. – 2012. – 42 с.
7. Довідник керівника гасіння пожеж. Київ: ДСНС, – 2015. – 358 с.
8. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ТУГПС. – ВНИИПО-МИПБ, 1999. – 46 с.
9. Волков Р. С. Особенности тушения жидких топлив и органических жидкостей распыленной водой / Р. С. Волков, И. С. Войтков, О. И. Высокоморная // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – т.25. – №4. – С.68 -75.
10. Анисимов И. В. Перевод систем пожаротушения резервуарных парков с нефтью с подачей пены сверху на на подслоное пожаротушение на существующих объектах / И. В. Анисимов // Тез. докл. 3-ей региональной конференции молодых специалистов. Томск, 2011. – С.329-334.
11. Бочаров В. В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наилучшим сценарием развития для обитателей земли / В. В. Бочаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22. – №10. – С. 75-82.
12. Дадашов И. Ф. Пути повышения экологических характеристик средств тушения горючих жидкостей / И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев, В. М. Лобойченко // Техногенно-екологічна безпека. – 2017. – №1. – С.39-43.
13. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 62 С 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П. Ф., Росоха В. Е., Абрамов Ю. А., Киреев А. А., Бабенко А. В.; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32. – 4 с.
14. Купка В. Ю. Пути повышения эффективности тушения пожаров класса «В» / В. Ю. Купка, А. А. Киреев, К. В. Жерноклѐв // Проблемы пожарной безопасности. – 2012. – Вып. 31. – С. 105 – 108.

15. Дадашов И. Ф. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении / И. Ф. Дадашов, Л. А. Михеенко, А. А. Киреев // *Керамика: наука и жизнь*. – 2016. – №2 (31). – С.44-51.

16. Дадашов И. Ф. Моделирование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей / И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев, А. Я. Шаршанов, А. А. Чернуха // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2016. – Вып. 40. – С. 78 – 83.

17. Дадашов И. Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразных слоёв по отношению к парам органических токсичных жидкостей / И. Ф. Дадашов // *Проблемы гражданского захисту*. – 2017. – Вып.25. – С. 22-27.

18. Дадашов И. Ф. Экспериментальное исследование влияния характеристик гелеобразного слоя на его изолирующие свойства по отношению к парам токсичных и горючих жидкостей / И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев, А. Я. Шаршанов, А. В. Савченко, А. А. Ковалёв // *Проблемы гражданского захисту*. – 2017. – Вып.26. – С. 43-48.

19. Бобков С.А. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / С. А. Бобков, А. В. Бабурин, П. В. Комраков. – М.: Академия ГПС России, 2014. – 210 с.

#### References:

1. Antonov, A. V., Borovykov, V. O., Orel, V. P., Zhartovskyi, V. M. (2004). *Vohnehasni rehovyny [Extinguishing agents]*. Pozhinformtekhnika, Kyiv, Ukraine.

2. Sharavarnikov, A.S., Molchanov, V.P., Voevoda, S.S. and SHaravarnikov, S.A. (2002). *Tushenie pozharov nefti i nefteproduktov [Extinguishing fires of oil and oil products]*. Kalan, Moscow, Russia.

3. Baratov, A.N. and Ivanov, A.N. (1979). *Pozharotushenie na predpriyatiyah himicheskoy i neftepererabatyvayushchej promyshlennosti [Fire extinguishing in the chemical and oil refining industry]*. Himiya, Moscow, Russia.

4. Kovalyshyn, V.V. Vasylieva, O.E. and Koziar, N.M. (2007) *Pinne hasinnia [Foam fire extinguishing]*. SPOLOM, Lviv, Ukraine.

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

6. Statute of actions in emergencies of the authorities and units of the Rescue Service. Kyiv, Ministry of Emergencies of Ukraine. - 2012. - 42 p.

7. Directory of the firefighting director. Kyiv: DSNS. – 2015.– 358 p.

8. Guidelines for extinguishing oil and oil products in tanks and tank farms. Moscow, TUGPS. – VNIPO-MIPB. 1999.– 46 p.

9. Volkov, R.S., Vojtkov, I.S. and Vysokomornaya, O.I. (2016). “Features of fire extinguishing of liquid fuels and organic liquids by sprayed water”. *Pozharovzryvobezopasnost'*. vol. 25, no. 4, pp. 68 -75.

10. Anisimov, I.V. (2011). “Transfer of firefighting systems of tank farms with oil with foam supply from above to sub-layer fire extinguishing at existing facilities”. *Tez. Dokl. 3-ey regional'noj konferencii molodyh specialistov*. [The theses of the report of 3rd regional conference of young specialists]. *3-ya regional'na konferencija molodyh specialistov*. [3-rd regional conference of young specialists]. Tomsk. March. 12-13. pp. 329-334.

11. Bocharov, V.V. (2013). “The use of perfluorinated surfactants in blowing agents is the "second coming". Halogenorganika with the worst development scenario for the inhabitants of the earth”. *Pozharovzryvobezopasnost'*. vol. 22, no. 10, pp. 75-82.

12. Dadashov, I.F., Kireev, A.A. and Loboichenko, V.M. (2017). “Ways to improve the environmental characteristics of extinguishing agents for flammable liquids”. *Tekhnohennoklohychna bezpeka. iss.1*, pp.39-43.

13. Borisov, P.F, Rosokha, V.E, Abramov, Yu.A., Kireev, A.A. and Babenko, A.V. (2005). Patent Russia N. 2003237256. "Fire extinguishing method and composition for its implementation" Bulletin. no. 32. 20.11.2005. p. 4.

14. Kupka, V.YU., Kireev, A.A. and ZHernoklyov, K.V. (2012). "Ways to increase the effectiveness of extinguishing fires class B". *Problemy pozharnoj bezopasnosti*. iss.31, pp.105-108.

15. Dadashov, I.F. Miheenko, L.A. and Kireev, A.A. (2016). "Selection of a light silicate carrier for the gel extinguishing layer during fire extinguishing". *Keramika: nauka i zhizn'*. no. 2 (31), pp. 44-51.

16. Dadashov, I.F., Kireev, A.A., SHarshanov, A.YA. and CHernuha, A.A. (2016). "Modeling the insulating properties of the gel-like layer with respect to the vapor of combustible liquids". *Problemy pozharnoj bezopasnost*. iss. 40, pp.78-83.

17. Dadashov, I.F. (2017). "Experimental study of the insulating properties of gel-like layers with respect to vapors of organic toxic liquids" *Problemi civil'nogo zahistu*. iss.25, pp.22-27.

18. Dadashov, I.F., Kireev, A.A, SHarshanov, A.YA., Savchenko, A.V., Kovalyov, A.A. (2017). "Experimental study of the influence of the characteristics of the gel-like layer on its insulating properties with respect to the vapor of toxic and combustible liquids" *Problemi civil'nogo zahistu*. iss. 26, pp. 43-48.

19. Bobkov, S.A., Baburin, A.V. and Komrakov, P.V. (2014). *Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov*. [Physico-chemical basis for the development and extinguishing of fires]. Akademiya GPS Rossii. Moscow. Russia.

