

**FOR THE GIS DATA BASIS AUTOMOTIVE ROADS (ROAD CLOTHES).** The problem of influence of natural-climatic factors on the conditions of ex-operation of non-rigid road clothing is considered. There is a need for correction and clarification of the design and operational characteristics of the layers of road clothing, taking into account the change in the temperature of ambient air. An analysis of the coverage of three strength criteria was performed

for the connection of two main climatic factors: the temperature regime of the design and the humidity of the working zone of the earth's cloth. Based on the analysis, climatic factors have been identified which need to be taken into account to ensure the reliability of non-rigid roadway calculations.

**Keywords:** natural and climatic factors, strength, non-rigid road clothing, temperature, humidity, climate.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-238-249

УДК 614.844.6:621.642.88

**Дадашов І.Ф., Трегубов Д.Г., Сенчихін Ю.М., Кіреєв О.О.**

*Національний університет цивільного захисту України*

*(вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна; e-mail: [ilgardadashov@mail.ru](mailto:ilgardadashov@mail.ru),*

*[cxxtregubov1970@nuczu.edu.ua](mailto:cxxtregubov1970@nuczu.edu.ua), [syn\\_112@ukr.net](mailto:syn_112@ukr.net), [53kireev@gmail.com](mailto:53kireev@gmail.com);*

*[orcid.org/0000-0001-9933-8498](https://orcid.org/0000-0001-9933-8498), [orcid.org/0000-0003-1821-822X](https://orcid.org/0000-0003-1821-822X), [orcid.org/0000-0002-5983-2747](https://orcid.org/0000-0002-5983-2747),*

*[orcid.org/0000-0002-8819-3999](https://orcid.org/0000-0002-8819-3999))*

### НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НАФТОПРОДУКТІВ

Проаналізовано можливості існуючих вогнегасних систем для гасіння пожеж нафтопродуктів. Показано, що усі сучасні засоби для пожежогасіння рідких вуглеводнів не відповідають вимогам або за екологічними показниками, або за ефективністю використання. В роботі поставлено за мету розробку нового ефективного та екологічного засобу пожежогасіння. Для цього запропоновано використовувати бінарну систему з легкого носія та гелевого ізолюючого шару. Показана можливість використання у якості легкого носія піноскла, як не токсичної речовини. Рекомендовано для утворення гелю застосовувати систему з рідкого скла та не токсичних солей. Акцентовано увагу, що вказані речовини нерозчинні у нафтопродуктах та екологічно безпечні. Проведені експерименти з пожежогасіння вказаною бінарною системою індивідуальних алканів та технічних сумішей нафтопродуктів на модельному осередку. Рекомендовані необхідні шари зернистого піноскла та значення інтенсивності наступної подачі компонентів гелеутворюючої системи, за яких досягається припинення горіння різних нафтопродуктів. Встановлено значення максимального шар піноскла – 14 см, якого достатньо для утримання необхідної кількості гелю при гасінні найбільш легкозаймистих нафтопродуктів, а саме – бензинів. Встановлено необхідну витрату подачі гелю, яка для легкозаймистих рідин складала 0,5-0,8 г/см<sup>2</sup>, для горючих рідин – 0,2 г/см<sup>2</sup>. Результати даної роботи показують, що можливе ефективне гасіння резервуарів або аварійних розливів усіх нафтопродуктів за допомогою бінарної системи з піноскла та неорганічного гелю з дотриманням екологічних вимог.

**Ключові слова:** резервуар, аварійний розлив, вогнегасна система, ізоляція, піноскло, гель, шар, інтенсивність подачі.

**Вступ.** Однією з невирішених проблем видобування, виробництва, транспортування та зберігання нафтопродуктів є відсутність надійних засобів пожежогасіння для рідин взагалі (пожежі класу «В»). Серед пожеж класу В питання боротьби з пожежами нафтопродуктів можна виділити окремо (пожежі класу «В1» – водонерозчинні рідини), оскільки такі пожежі часто

характеризуються великою тривалістю, необхідністю залучення великої кількості сил і засобів пожежогасіння, великим матеріальним та екологічним збитком і, можливо, людськими жертвами. Такий стан означеної проблеми є характерним і для України, що пояснюється, не в останню чергу, великим обсягом нафти, що обертається у транспортних системах, зберігається у нафтос-

ховищах та знаходиться на нафтопереробних заводах у технологічному процесі [1]. Водночас в Україні використовується і багато продуктів нафтопереробки. Основний обсяг нафтопродуктів можна віднести до класу легкозаймистих рідин, які мають температуру спалаху меншу за 61 °С, тобто до таких, які можуть за звичайних умов зберігання у випадку високої температури атмосферного повітря та дії сонячного теплового випромінювання нагрітись до температури спалаху та самостійно утворити пару здатну до запалювання. Відповідно, рідини з температурою спалаху більше за 61 °С відносяться до класу горючих, тобто таких, що здатні до утворення пожежовибухонебезпечних концентрацій пари та до горіння за умови їх штучного попереднього нагріву [2-4]. Відомо, що незначна домішка легкозаймистих рідин у суміші з горючими, значно зменшує їх температуру спалаху. Таким чином, пожежна небезпека нафти, як і інших нафтопродуктів, визначається вмістом легких фракцій.

На будь-якому етапі обертання нафтопродуктів (видобуток, переробка, транспортування, зберігання та використання) можливо виникнення пожежі. Для гасіння таких пожеж використовуються та досліджені різні види вогнегасних речовин: розпорошена вода, водні розчини, хладони, порошкові й аерозольні засоби, газоподібна, рідка й тверда вуглекислота [5]. У випадку застосування води основним механізмом припинення горіння є охолодження. Водні розчини водночас з охолоджуючим ефектом можуть проявляти й інгібруючі властивості, залежно від добавок. Для порошкових засобів загального призначення та хладонів основний внесок у гасіння рідин вносить ефект інгібування. Вуглекислота реалізує охолоджуючо-розбавляючий механізм припинення горіння. Розглянуті вище вогнегасні речовини здатні забезпечити позитивний результат у випадку невеликих площ горіння нафтопродуктів, коли гарантовано можливо створити вогнегасні умови, наприклад, концентрацію вогнегасної речовини над всією поверхнею рідини, що горить. Якщо над частиною пове-

рхні горючої рідини не створюється вогнегасна концентрація порошку, аерозолі, хладону, розпорошеної води або негорючого газу, то над цією ділянкою горіння триває і після припинення гасіння горіння відновлюється з майже тією самою інтенсивністю, що і до гасіння. Для одночасного досягнення значення необхідної вогнегасної концентрації над всією поверхнею рідини, що горить, потрібно забезпечити високу інтенсивність подачі даної вогнегасної речовини. Більш того, цю концентрацію необхідно підтримувати певний час, який визначається часом спрацювання вогнегасного механізму та часом на охолодження поверхні рідини й огорожуючи конструкцій. Час охолодження поверхні рідини, нагрітою пожежею, під час гасіння визначається перевищенням її температури над температурою спалаху. Час охолодження металевих конструкцій, нагрітих пожежею, під час гасіння визначається перевищенням їх температури над температурою самоспалахування. Дану умову реалізувати на практиці важко, особливо для низькокиплячих нафтопродуктів (наприклад бензин). Таким чином, перераховані типи вогнегасних речовин, головним чином, можуть забезпечити позитивний результат гасіння лише для висококиплячих нафтопродуктів на початкових етапах розвитку пожежі. Крім ефективності гасіння до вогнегасних речовин надаються жорсткі екологічні вимоги. На даний момент не існує вогнегасного засобу для гасіння пожеж нафтопродуктів, які б відповідали водночас двом основним вимогам – ефективність та екологічність.

Виходячи з проведеного аналізу випливає, що актуальними для галузі видобутку та переробки нафти й нафтопродуктів є вдосконалення сучасних або розробка нових методів гасіння пожеж рідких вуглеводнів.

Універсальним засобом для гасіння пожеж класу «В1» є повітряно-механічні піни [5]. Вони дозволяють забезпечити ізоляцію поверхні нафтопродукту від газової фази, у якій відбувається (або може відбутися) процес горіння. Для гасіння горючих рідин піни використовуються більше сторіччя. Основою одержання вогнегасних піни є утворення

водяних розчинів поверхнево-активних речовин, що мають технічну назву «піноутворювачі». Спочатку використовували піноутворювачі на основі поверхнево-активних речовин рослинного походження; поступово їх замінили речовини тваринного походження (білкові). Надалі у практику пожежогасіння нафтопродуктів були введені піноутворювачі, основу складу яких становлять синтетичні поверхнево-активні речовини [5-7]. Однак усі піноутворювачі розроблені у межах описаних напрямків часто не забезпечували позитивного результату гасіння навіть за умови дотримання нормативних вимог [7, 8].

Найбільш поширеним способом гасіння пожеж нафтопродуктів пінами є застосування пінної атаки за умови подачі «зверху» за допомогою пінних стволів та піногенераторів [9, 10]. При цьому виникають труднощі подачі піни на великі відстані, спостерігається віднесення піни конвекційними потоками продуктів горіння, руйнування в полум'ї та на поверхні нафтопродукту, яка має температуру близьку до температури кипіння. Для більш зручної доставки піни на поверхню дзеркала рідини у резервуарі використовують телескопічні підйомники [11] з пінозливною камерою у вигляді генератора піни. Загальним недоліком такої системи та інших технічних рішень, які застосовуються у межах зони вибуху або дифузійного полум'я є можливість їх пошкодження за умов пожежі, що не забезпечує достатньої надійності гасіння. Рішенням такої проблеми стало здійснення подачі піни через шар горючої рідини за допомогою підшарових рукавних ліній [12]. За досвідом використання таких систем відомо, що, як і у попередньому варіанті є можливість ушкодження такого обладнання в процесі розвитку аварійної ситуації, а також під час багатьох циклів «наповнення-спуск» резервуару можливе заламування рукавної лінії. Можна також відзначити значні металоємність та габарити установки в зборі.

Сучасний рівень розробок техніки гасіння пожеж нафтопродуктів поцілений у бік утримання на їх поверхні пін без руйнування внаслідок теплової дії полум'я, хімічних або фізичних впливів середовища.

Подальше вдосконалення складу та хімічної будови піноутворювачів привело до створення плівкоутворюючих систем з вмістом перфторованих сполук, які у більшості випадків дозволяють забезпечити позитивний результат гасіння пожеж нафтопродуктів за умови виконання нормативних вимог [6]. При гасінні пожеж нафтопродуктів, які відносяться до класу особливо небезпечних легкозаймистих рідин з температурою спалаху нижче 28 °С, альтернативи застосуванню перфторованих піноутворювачів на даний момент немає. Такі піноутворювачі мають дуже низький поверхневий натяг, тому не змішуються з вуглеводнями при проходженні через шар палива та не змішуються з нафтопродуктом за умови подачі «зверху» стандартними засобами. Наприклад, розроблена високомолекулярна сполука з вмістом фторалкільної водорозчинної групи, що забезпечує високу вогнегасну здатність піни за умови подачі «зверху» за рахунок утворення ізолюючого легкого водяного розчину на поверхні нафтопродукту [13]. Тим не менш, слід зазначити, що у полум'ї відбувається руйнування і такого класу пін та випаровування розчину протягом подачі, що перешкоджає ефективному гасінню розвиненого горіння нафтопродуктів на великій площі.

Природа фторованих піноутворювачів може відрізнитися як по складу вуглеводневих компонентів, так і за хімічною природою даної поверхнево-активної речовини. Остільки сучасні палива на основі нафтопродуктів містять спирти, то для можливості їх гасіння у склад піноутворювачів додають високомолекулярні з'єднання (наприклад, полісахариди), які забезпечують стійкість піни до руйнування при контакті з полярними рідинами. Для гасіння нафтопродуктів із вмістом полярних компонентів пропонують застосовувати поліперфторалкілзаміщені композиції у складі піноутворювачів вогнегасного призначення, які після подачі піни на поверхню рідини «зверху» осаджуються на полярному розчиннику та утворюють плівку, не розчинну в ньому, що захищає піну від руйнування [14]. При цьому з такої піни теж виділя-

ється шар "легкої води", яка не тоне в більшості технічних рідин й блокує процес випаровування краще, ніж сама піна. Способом подолання бар'єру у вигляді полум'я за умови подачі піни «зверху» впроваджені способи підшарової подачі на основі перфторованих піноутворювачів. При цьому, піна підіймається крізь шар нафтопродукту за рахунок малої густини та розтікається по поверхні рідини, що горить [15]. У роботі [16] досліджена ефективність використання різних піноутворювачів, придатних до підшарової подачі, для гасіння пожеж легких нафтопродуктів на прикладі н-гептану: Light Water FC-201, Shtamex AFFF, Chemgard AFFF C-133, Ultraguard AR-AFFF, Шторм Ф, Підшаровий. Найбільш ефективним, за даними цього дослідження, виявився піноутворювач Light Water FC-201, який має поверхневий натяг 17 – 30 мН/м, що забезпечує ефективне розтікання, найменші оптимальну інтенсивність подачі 0,035 кг/(м<sup>2</sup>с) та витрату на гасіння 0,9 кг/м<sup>2</sup>. Недоліком при цьому можна назвати емульгування потоку піноутворювача, що гальмує його підйом крізь шар рідини на поверхню; при цьому збільшується час гасіння. Підшарова подача потребує застосування значних тисків до 1 МПа, що вимагає використання та розташування додаткового складного обладнання.

Спосіб та тактика гасіння нафтопродуктів залежать від типу піноутворювача. Піни для гасіння пожеж нафтопродуктів використовують різної кратності (кратність перевищення об'єму піни над об'ємом розчину піноутворювача з якого вона утворилась). Це залежить від типу піноутворювача, способу подачі піни, стадії гасіння пожежі. Так, оскільки низькократну піну легше подавати на велику відстань, то, за умови використання не плівкоутворюючих систем, таку піну подають на початку гасіння, а вже потім – піну середньої кратності, яка краще ізолює. Для плівкоутворюючих систем використання пін середньої кратності не потрібно, оскільки у даному випадку ізолює не піна, а шар плівки «легкої води», яка не тоне у нафтопродукті. В такому випадку використовують підша-

рову подачу без додаткових засобів (рукава, сухотруби [17], негорючий газ та ін.). Тому низькократна піна є лише засобом доставки «легкої води» на поверхню дзеркала рідини. Гасіння пожеж нафтопродуктів у резервуарах, обладнаних плаваючим дахом, та об'ємом більше за 20 тис. м<sup>3</sup> рекомендують здійснювати шляхом комбінованої подачі піни: водночас як на поверхню плаваючого даху, так і у шар рідини [16].

Для різних способів пінного пожежогасіння нафтопродуктів існує ряд загальних недоліків [18], а саме: деструкція пін від прямого впливу полум'я і контакту з нагрітими елементами конструкції, а також інтенсивного теплового випромінювання; руйнування пін за умови контакту з горючими рідинами, особливо полярними; низька охолоджуюча дія, що вимагає застосування додаткового охолодження стінок резервуара струменями води; токсичність і екологічна небезпека більшості поверхнево-активних речовин у складі піноутворювачів; забруднення горючих рідин компонентами піноутворювача, що викликає неможливість їх подальшого використання або ускладнює переробку. Але найбільшим недоліком багатьох ефективних піноутворювачів є їх стійкість до біорозкладання та накопичення у біологічних організмах.

Останній недолік, токсичність й екологічна небезпека, є беззаперечним для плівкоутворюючих перфторовмісних піноутворювачів, що контролюється вимогами до класу безпеки [19] й здатності до біорозкладання під дією природних мікроорганізмів. У якості піноутворювачів дозволяється використовувати біологічно "м'які" речовини 3-4 класу безпеки. Останні дослідження в області екологічної безпеки плівкоутворюючих систем експериментально довели, що перфторовані піноутворювачі виявилися в 150 разів більш токсичними за широко розповсюджений у недавньому минулому "біологічно жорсткий" ПО-6К [20]. У даній роботі також показано, що такі піноутворювачі у 2500 разів стабільніші до біодеградації за звичайних умов навколишнього середовища. Підтвердженням екологічної безпеки таких піноутворювачів стало рішення агентства з охорони

навколишнього середовища США розпочати програму добровільного припинення використання таких речовин. Експериментальні дослідження сучасних піноутворювачів показали, що раніше задекларовані характеристики їхньої токсичності сильно занижені. У роботі [21] стверджується, що токсичність плівкоутворюючих складів більша навіть у порівнянні з фторвмісними піноутворювачами.

Застосовують способи зниження негативних наслідків дії перфторалкільних піноутворювачів на природу та людину шляхом зменшення концентрації перфторвмісних компонентів у піноутворювачі або утворення перфторалкільних компонентів, більш здатних до біорозкладання [22]. Дані способи зниження небезпеки вказаних типів піноутворювачів тим не менш можуть призводити до виникнення певної біологічної небезпеки за великих обсягів витрачання піноутворювача та, водночас, характеризуються дещо зниженою ефективністю пожежогасіння нафтопродуктів.

З урахуванням вище наведених фактів можна стверджувати, що існуючий спектр піноутворювачів, які зараз доступні для використання не задовольняє комплексу вимог, який застосовують до них за вогнегасною ефективністю та екологічними показниками. Розробка нових піноутворювачів з високими екологічними характеристиками, наприклад на основі екстракту хмелю [23], не вирішує весь комплекс вимог за вогнегасними, екологічними або економічними показниками. Таким чином, рішення проблеми гарантованого та безпечного пожежогасіння нафтопродуктів за допомогою використання піноутворювачів на основі перфторованих з'єднань досягнуто лише частково [1], оскільки за наявності ефективності пожежогасіння не вирішені проблеми екологічної безпеки. Саме висока токсичність таких піноутворювачів та стійкість до біорозкладання обумовили обмеження їх використання [20]. Спроби створення нових екологічних й ефективних піноутворювачів поки не дали істотних результатів [23], і питання гасіння пожеж класу «В» залишається невирішеним. Мо-

жна зробити резюмувати, що на сьогоднішній час для повітряно-пінних засобів пожежогасіння нафтопродуктів виникло протиріччя між їх екологічними й вогнегасними характеристиками, яке досі не має ефективного вирішення.

Означені проблеми гасіння нафтопродуктів викликали розробку різноманітних напрямків пошуку альтернативних способів та засобів пожежогасіння. Наприклад, пропонують використовувати сітки як вогнеперешкоджувачі та сітки оброблені складом, який спучується внаслідок теплової дії випромінювання полум'я [5], але за умов застосування такого засобу існує велика імовірність руйнування сітки внаслідок виникнення теплових деформацій стінок резервуара за умов пожежі.

Існує серія розробок, присвячених використанню для пожежогасіння ємностей, сухотрубів, спеціальних рукавів, порожнистих тіл, які розгерметизовуються під дією полум'я і подають на поверхню рідини певний вогнегасний агент, наприклад [17]. Основною технічною проблемою реалізації даних способів є відсутність гарантованого одночасного та цільового прогоряння системи, з якої буде подаватись засіб пожежогасіння.

Різновидом описаних систем можна назвати пожежогасіння гранулами вогнетривкого пористого матеріалу діаметром 10-50 мм, покритими вогнегасним складом на основі солей карбонатної та силікатної кислот товщиною 1-5 мм [24]. Можна відмітити складність виготовлення даного вогнегасного засобу; неможливість повторного використання та ймовірність руйнування покриття на стадіях транспортування та подачі гранул.

Розроблені альтернативні способи гасіння резервуарів з нафтопродуктами шляхом подачі порошків, негорючого газу, твердої гранульованої вуглекислоти або твердої вуглекислоти окремо та у комбінаціях між собою та піною, наприклад: за умови підшарової автоматичної подачі розчину піноутворювача він транспортується на поверхню та спінюється подачею охолодженого негорючого газу [25]. Даний спо-

сіб передбачає багато додаткового обладнання в середині й назовні резервуару, та не гарантує автоматичного спрацювання системи за аварійних режимів.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що більшість існуючих на поточний час засобів припинення пожеж нафтопродуктів, особливо у напрямку рішення проблеми гасіння легкозаймистих рідин на великих площах, не відповідають сучасним вимогам і не можуть передбачатись для пожежогасіння у майбутньому.

**Мета та завдання статті.** Метою даної роботи є розробка вискоелективного екологічно безпечного засобу гасіння нафтопродуктів на основі використання бінарної вогнегасної плавучої системи, що складається з легкого негорючого носія та щільного покриття.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних задач:

- встановити вплив шару піноскла на інтенсивність вигорання нафтопродуктів;
- встановити значення шару піноскла, який припиняє горіння нафтопродуктів;
- встановити масову швидкість вигорання нафтопродуктів, за якої досягається гарантоване припинення горіння вогнегасним гелем з мінімальною інтенсивністю подачі.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження можливості та ефективності гасіння пожеж нафтопродуктів проводилось дослідним шляхом на модельних осередках з контролем наступних параметрів: інтенсивність подачі вогнегасного засобу, витрата вогнегасного засобу, товщина шару вогнегасного засобу, масова швидкість вигорання нафтопродукту.

Вихідною умовою даних пошукових досліджень є те, що при гасінні горючих рідин необхідно як домогтися припинення горіння, так й створити умови тривалого

недопущення повторного запалювання пари, що може статися, наприклад, за умови руйнування піни і наступного контакту пари з конструкціями, які не охолонули нижче температури самоспалахування даного нафтопродукту. Найбільш раціональним способом реалізувати такі умови є створення щільного ізолюючого прошарку між поверхнею горючої рідини й газовою фазою.

Вибір речовин для дослідження проведений за результатами попередніх робіт [26-33], за якими у якості легкого негорючого носія було обране піноскло, а у якості щільного ізолюючого шару – гелеподібна речовина, яка утворюється в процесі подачі певних розчинів.

Для дослідження нами були обрані: ряд нафтопродуктів (бензин АІ-92, гас тракторний, зимове дизельне паливо, машинне масло І-20 та нафта Юліївського нафтогазоконденсатного родовища) та відповідний ряд алканів (пентан, гептан, октан, декан, додекан), які мають близькі температури спалаху до певних нафтопродуктів з вказаних. Параметри пожежної небезпеки й випаровування обраних рідин наведені в таблиці 1 (температура кипіння  $t_{\text{кип}}$ , температура спалаху  $t_{\text{сп}}$ , температура займання  $t_{\text{займ}}$ , температура самоспалахування  $t_{\text{сс}}$ , масова швидкість вигорання з вільної поверхні в умовах пожежі, група горючості). Всі розглянуті вуглеводневі суміші, крім додекану й машинного масла відносяться до класу легкозаймистих рідин (ЛЗР:  $t_{\text{сп}} < 61^\circ\text{C}$ ). Додекан та машинне масло відносяться до класу горючих рідин (ГР:  $t_{\text{сп}} > 61^\circ\text{C}$ ). Всі наведені рідини, крім машинного масла І-20, є складовими моторних палив або є безпосередньо паливом або сировиною (нафта). Масло І-20 є нафтовим маслом та відноситься до типу індустріального (для роботи в стаціонарних умовах). Гептан й октан містяться у великих кількостях у бензині, декан присутній у гасі.

Таблиця 1 - Параметри пожежної небезпеки й випаровування нафтопродуктів [3, 4, 10]

Алкан	Температура, °С				Масова швидкість вигорання, г/(с·м <sup>2</sup> )	Група горючості
	t <sub>кип</sub>	t <sub>сп.</sub>	t <sub>займ</sub>	t <sub>св</sub>		
Пентан	36	-44	-34	286	90	ЛЗР
Гептан	98	-5	-4	223	85	ЛЗР
Октан	126	14	19	215	79	ЛЗР
Декан	174	47	66	230	57	ЛЗР
Додекан	216	77	103	202	40	ГР
Бензин АІ-92	>33	-36	-30	375	48-62	ЛЗР
Нафта (Юліївська)	суттєво змінюється	-22	-10	325	20-28	ЛЗР
Гас тракторний	>170	28	36	240	38-48	ЛЗР
Диз. паливо(зимове)	>180	64	72	220	35-42	ГР
Машинне масло І-20	>240	175	180	270	32-39	ГР

Експеримент проводили за методикою, наведеною нижче. Залили 250 мл нафтопродукту в циліндричну металеву ємність діаметром 11,2 см ( $S_{\text{вип}}=98,5 \text{ см}^2$ ) з утворенням шару товщиною  $\sim 2,5$  см. Після підпалювання внесенням відкритого полум'я на "дзеркалі" рідини встановлювалося дифузійне горіння. Для запалювання висококиплячих рідин, які мають температуру спалаху, більшу за температуру навколишнього середовища, та утворення стійкого горіння їх поверхню необхідно догріти до температури займання, див. таблицю 1. Для швидшого утворення гомотермічного шару висококиплячих рідин застосовували штучний попередній нагрів усього нафтопродукту. Втрату маси рідини під час вигорання визначали гравіметричним методом. Піноскло наносили на поверхню рідини після 2<sup>x</sup> хвилин вільного горіння. Витрату маси починали фіксувати після двох хвилин від моменту засипання піноскла. Вимірювання маси проводили протягом трьох хвилин. Потім засипали нову порцію піноскла для утворення наступного значення вимірюваного шару, і процедуру повторювали до шару товщиною 14 см. Шар піноскла вимірювали заздалегідь засипанням у порожню ємність, ідентичну до досліджуваної. Визначали масову швидкість вигорання рідини, та шар піноскла, за якого припиняється полум'яне горіння. Кількісно, масову швидкість вигорання рідини ( $V_m$ ) за результатами експерименту визначали як зміну маси рідини в ході її горіння, за визначений час горіння із площі поверхні вільного «дзеркала» рідини. Якщо

за певного шару піноскла полум'яне горіння припинялося, фіксували це значення. Для дослідів з припиненням горіння визначали можливість повторного запалювання через 1 хв. внесенням відкритого полум'я.

Дослід повторювали з визначенням можливості припинення горіння шляхом подачі гелеутворюючої системи на менших шарах піноскла. Задачею дослідів було оптимізувати масові витрати піноскла та гелю, за яких припиняється горіння без можливості його відновлення. Тобто визначали комплексну умову створення бінарного вогнегасного шару з піноскла та гелю, який гальмує випаровування достатньо для припинення горіння і навіть після встановлення стаціонарного режиму випаровування концентрація пари не перевищує нижню концентраційну межу поширення полум'я. Водночас визначали – за якого максимального шару піноскла існує найменша витрата подачі гелеутворюючої системи, за якої горіння припиняється та не може відновитися.

У відповідності з результатами проведених експериментальних досліджень для утворення плавучого негорючого шару в даній роботі використане зернисте піноскло [30]. Піноскло являє собою негорючий, нелетучий, екологічно безпечний матеріал, який допущений до використання в житловому будівництві. Проведені досліді підтвердили можливість утворення на поверхні нафтопродуктів бінарного шару піноскло-гель із високими ізолюючими властивостями.

Також розроблено спосіб створення ізолюючого прошарку за допомогою гелеутворюючих вогнегасних систем [26]. Ці вогнегасні системи нами були раніше випробувані для гасіння твердих горючих матеріалів. Відомо, що за одночасної подачі двох реагентів, у результаті реакції яких утворюється осад, в деяких випадках формується стійкий не текучий гелеподібний шар. Таким чином, гелеутворюючі системи являють собою систему, що утворюється з двох розчинів, які зберігають роздільно та подають роздільно-одночасно або роздільно-попередньо для утворення гелю, відповідно, на поверхні матеріалу або в шарі дисперсної системи [27]. Склади підібрані так, щоб за умови їх змішування на межі фаз між компонентами відбувалася реакція, що приводить до утворення не текучого шару з високими теплоізоляційними властивостями [28].

Для забезпечення високої ефективності процесу пожежогасіння нафтопродуктів необхідно надати вогнегасній системі максимально високі ізолюючі властивості. Найкращі ізолюючі характеристики показали гелеутворюючі склади з рідким склом ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{Si}_2$ ) у якості гелеутворюючого компоненту. Як каталізатор гелеутворення в таких системах був використаний певний ряд солей. На підставі досліджень ізолюючих властивостей гелеутворюючих систем, отриманих за умови використання різних каталізаторів гелеутворення [29] було показано, що всі гелеподібні шари виявляють достатню здатність до гальмування випаровування рідин. Але безпосередньо використати гелеутворюючі системи для гасіння пожеж класу «В» неможливо, оскільки гелю має густину більшу, ніж рідини, та занурюється вглиб. Проведені досліди підтвердили можливість утримання на поверхні рідин шару деяких пористих матеріалів та часткове зменшення за рахунок цього інтенсивність випаровування та інтенсивність прогріву поверхні рідини випромінюванням полум'я.

За результатами попередніх досліджень нами запропонований альтернативний спосіб гасіння пожеж класу «В» без застосування пінного пожежогасіння шляхом

подачі гелеутворюючих складів [31]. Для забезпечення плавучості гелю запропоновано використати у якості легкого негорючого носія – зернисте піноскло з уявною щільністю набагато менше, ніж у рідких нафтопродуктів, а саме  $100\text{--}200 \text{ кг/м}^3$  [32]. Найменшу густину з досліджених рідин має пентан –  $621 \text{ кг/м}^3$  [4], на його поверхні піноскло фракції 1-1,5 см виявило достатню плавучість.

Для реалізації запропонованого способу припинення горіння нафтопродукту необхідно застосовувати два послідовних етапи подачі компонентів вогнегасної системи: спочатку подають піноскло, а потім на його поверхню гелеутворюючий склад у роздільно-одночасному режимі. При цьому формується бінарний шар, що дозволяє зменшувати концентрацію пари рідини над його поверхнею. За умови досягнення певної товщини такого шару концентрація пари нафтопродукту над його поверхнею стає менше нижньої концентраційної межі поширення полум'я, і горіння припиняється [3].

**Результати дослідження.** У даній роботі проведено експериментальне визначення масової швидкості вигорання та можливість гасіння рідких алканів (індивідуального складу й технічних сумішей) за наявності плавучого бінарного шару гранульованого піноскла з гелевим покриттям. У ході експериментів на лабораторному модельному осередку визначали найменшу товщину плавучого шару піноскла, за якої досягається гасіння гелем, а також – неможливість повторного запалювання. Результати проведеного експерименту узагальнено на рис. 1.

**Обговорення результатів.** Як видно, зі збільшенням висоти шару піноскла масова швидкість вигорання досліджених рідин знижується, що говорить про охолоджуючу, ізолюючу та екрануючу роль легкого носія в процесі гасіння. Для деяких рідин відмічається спочатку слабкий вплив шару піноскла за малих значень його товщини на інтенсивність вигорання (для гептану вона навіть дещо збільшується), але після накопичення шару піноскла більше ніж 2-4 см має місце інтенсивний характер



зниження цього параметру. Це можна пояснити змочуванням піноскла рідиною, що горить, та відповідним збільшенням поверхні випаровування. На характер вигорання сумішей впливає також частка низькокиплячого компонента, що може впливати на профіль залежності масової швидкості вигорання від товщини шару піноскла. Необхідно відмітити менші значення визначеної масової швидкості вигорання досліджених рідин нафтопродуктів з вільної поверхні (рис. 1 – «0 см» піноскла) у порівнянні з довідковими даними (таблиця 1), що можна пояснити малим розміром лабораторного «резервуара» та, відповідно, більшою інтенсивністю тепловтрат. Іншою причиною таких даних є залежність швидкості вигорання від висоти вільного борту, яка впливає на інтенсивність прогріву стінкою рідини, на відстань від високотемпературної зони полум'я до поверхні нафтопродукту і визначається співвідношенням висоти вільного борту, рівнем наливання рідини та діаметру резервуару.

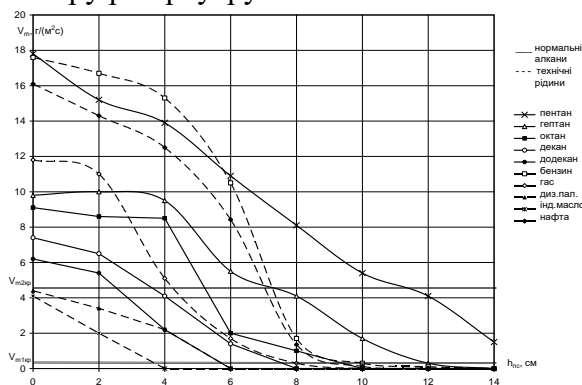


Рис. 1. Залежність зниження масової швидкості вигорання рідких вуглеводнів від товщини шару піноскла для нормальних алканів й технічних рідин та ефект припинення горіння піносклом

За умови нарощування шару піноскла, згідно даним експерименту, для припинення горіння декану, додекану та дизельного палива необхідно досягти товщини шару 8 см, а за умови горіння октану та гасу – 10 см, нафти Юліївського родовища – 12 см; горіння пентану, гептану та бензину не припиняється за товщини шару піноскла 12 см. Для найбільш висококиплячих речовин для припинення горіння доста-

тньо 6 см шару піноскла. Для пентану, гептану та бензину шар піноскла 12 см дозволяє знизити інтенсивність горіння до рівня, за якого його можна ліквідувати подачею гелеутворюючої системи, розпорошеної води або повітря (зрив полум'я). Остаточні явища горіння спостерігаються по кордону піноскло-стінка резервуару за рахунок менш щільної упаковки зернистого матеріалу та самоспалахування пари від температури перегрітого борту (дані для значень температури самоспалахування нафтопродуктів наведені у таблиці 1). Для бензину встановлено, що його повільне загасання відбувається починаючи з товщини шару піноскла 14 см. Однак, припинення горіння піносклом без подачі гелеутворюючої системи характеризується можливістю повторного запалювання. Орієнтовна критична масова швидкість вигорання крізь піноскло, за якої припиняється полум'яне горіння різних рідин, складає приблизно  $0,25 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , що усереднено показано на рис. 1, як  $V_{m1 \text{ кр.}}$ . Орієнтовна критична масова швидкість вигорання крізь піноскло, за якої можна припинити горіння за умови подачі гелеутворюючої системи з мінімальною витратою  $0,2 \text{ г}/\text{см}^2$ , для різних речовин становить приблизно  $4,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , що усереднено показано на рис. 1, як  $V_{m2 \text{ кр.}}$ . Мінімальний шар піноскла, який може утримати гель у кількості  $0,2 \text{ г}/\text{см}^2$  – 4 см. Мінімальний шар піноскла який може утримати гель у кількості  $0,8 \text{ г}/\text{см}^2$  – 8 см.

Досягти відсутності повторного займання при внесенні відкритого полум'я в область пароповітряної хмари над поверхнею піноскла намагалися за умови нанесення суцільного шару гелю. Такий шар гелю утворюється за його поверхневої витрати  $0,5\text{-}0,8 \text{ г}/\text{см}^2$  та оптимальної фракції піноскла 1-1,5 см (менші фракції піноскла внаслідок відкривання більшої частки пор по об'єму мають меншу плавучість, більші фракції піноскла мають меншу насипну щільність та, відповідно, ізолюючу здатність). На малих шарах піноскла не вдається накопичити суцільний вогнегасний шар гелю, оскільки бінарний шар, що утворюється, занурюється у рідину, що горить,

і вона просочується на поверхню даної вогнегасної системи, що відновлює процес горіння. Тому гасіння за допомогою гелеутворюючої системи у разі малих шарів піноскла можна застосовувати за малої витрати  $0,2 \text{ г/см}^2$ , що в залежності від типу горючої рідини дозволяє або погасити полум'я та запобігти повторному виникненню горіння, або загасити полум'я з безпекою повторного запалювання. З цього випливає, що гасіння рідин необхідно проводити піносклом, а запобігання можливості повторного спалаху необхідно здійснювати за допомогою подачі гелеутворюючої системи: для легкозаймистих рідин ( $t_{\text{сп}} < 61^\circ\text{C}$ ), які потребують більших шарів піноскла, необхідна витрата подачі  $0,5-0,8 \text{ г/см}^2$ , для горючих рідин ( $t_{\text{сп}} > 61^\circ\text{C}$ ), які потребують менших шарів піноскла, –  $0,2 \text{ г/см}^2$ .

Після зливання нафтопродуктів, які пройшли в досліді стадії вільного горіння та гасіння за описаною методикою, було проаналізовано ймовірне їх забруднення вогнегасними речовинами. За результатами аналізу у складі нафтопродуктів слідів використаних вогнегасних речовин не знайдено.

#### Висновки.

1. Бінарна вогнегасна плавуча системи, що складається з піноскла у якості легкого негорючого носія та негорючого гелю у якості щільного покриття, є високоефективним та екологічно безпечним засобом гасіння нафтопродуктів.
2. Подача піноскла на поверхню нафтопродукту поступово гальмує процес горіння та зменшує масову швидкість вигорання за рахунок зменшення концентрації пари над поверхнею, що пояснюється охолоджуючою, ізолюючою та екрануючою дією шару піноскла.
3. Збільшення шару піноскла до 14 см дозволяє припинити горіння всіх досліджених нафтопродуктів на лабораторному модельному осередку, в тому числі бензину та пентану. Для речовин з відносно більшою температурою кипіння (наприклад: машинне масло, дизельне паливо, додекан) для припинення горіння достатньо 6 см піноскла.

4. Подача гелю на поверхню піноскла ефективно гальмує процес горіння нафтопродукту та зменшує масову швидкість вигорання до критичного рівня, за якого горіння припиняється.

За витрати подачі гелю  $0,2 \text{ г/см}^2$  припиняються залишкові прояви горіння над поверхнею піноскла; за витрати подачі гелю  $0,5-0,8 \text{ г/см}^2$  та шару піноскла 8 см припиняється горіння всіх досліджених нафтопродуктів без можливості повторного займання з утворенням плавучого «даху» ізолюючої дії.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бабенко Ю.В. Протипожежний захист складів нафти і нафтопродуктів / Ю.В. Бабенко, В.Г. Дудченко, А.М. Басаєв. – К.: УкрНДІПБ, 2002. – 142 с.
2. Сапронов Ю.А. Аналіз ринку нафти в Україні / Ю.А. Сапронов, Д.М. Костенко // Проблеми економіки. – 2012. – № 4. – С. 56 – 67.
3. Тарахно О.В. Теорія розвитку та припинення горіння / О.В. Тарахно, Д.Г. Трегубов, К.В. Жернокльов. – Харків: НУЦЗУ, 2010. – 822 с.
4. Корольченко А.Я. Пожаровзвивоопасность веществ и материалов и средства их тушения / Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. – М.: Пожнаука, 2004. – 1448 с.
5. Баланюк В.М. Гасіння аерозолем пожеж горючих рідин в резервуарах підшаровим методом / В.М. Баланюк, Б.М. Михалічко, Ю.О. Моргун // Пожежна безпека. – 2012. – № 21. – С. 19 – 22.
6. Шараварников А.Ф. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шараварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шараварников. – М.: Калан, 2002. – 448 с.
7. Ковалишин В.В. Пінне гасіння / В.В. Ковалишин, О.Е. Васильєва, Н.М. Козяр. – Львів: Сполом, 2007. – 168 с.
8. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – №11(26). – С. 28 – 29.
9. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби. - К.: МНС України, 2012. – 42 с.
10. Довідник керівника гасіння пожежі / [Ю.С. Сенчихін, В.В. Сировий, О.В. Тарахно та ін.] - К.: ДСНС, 2017. – 358 с.

11. Пат. № 2359723 RU, МПК А62С 31/12, А62С 3/06. Система пожаротушения в вертикальных резервуарах / Ю.Г. Баранец, В.Л. Говердовский, О.В. Добровольсков, О.Н. Ведьманов. – заявл. 23.04.2007; опубл. 27.06.2009.
12. Пат. № 61764 UA, МПК А62С 3/06, А62С 5/00, А62С 31/12, А62С 35/00, А62С 35/62. Установка подачи пени через шар горючої рідини / В.П. Греков, О.В. Кузнецов, А.О. Овсієвський, А.А. П'янков. - заявл. 25.01.2011; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 14, 2011 р.
13. Khil E.I. Extinguishing the flame of oil products by foam of foaming agents of various nature / E.I. Khil, A.F. Sharovarnikov // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 1 (65). С. 1 – 6.
14. Pat. 4303534 US, IPC 62D 1/04. Foam fire-extinguishing composition and preparation and use thereof / I. Hisamoto, Ch. Maeda, T. Esaka, M. Nishiwaki. – Original Assignee: Daikin Industries Ltd. - US06084541, 14.10.1978, International Publication Date: 12.01.1981.
15. 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.
16. Пат. 37638 RU, МПК А62С3/06. Генератор низкократной пены для подслоного пожаротушения в резервуаре / В.К. Никульчиков.; заяв. та патентообл.: Транснефть. – RU2003 137153U, 12.26.2003, опубл. 10.05.2004.
17. Пат. 2425702 RU, МПК А62С3/06. Способ противопожарной защиты резервуаров для хранения жидких горючих веществ и устройство для его осуществления / С.В. Галайда и др.; заяв. та патентообл. ЗАО "НПО Гидротехника", - RU2010 119853A, 05.19.2010, опубл. 08.10.2011.
18. Кокорин В.В. Проблемы эффективного тушения пожаров вертикальных стальных резервуаров в слой горючего / В.В. Кокорин, И.Н. Романова, Ф.Ш. Хафизов // Нефтегазовое дело. – 2012. – №3. – С. 255 – 260.
19. Беспалов А.В. Екологічні проблеми забезпечення пожежної безпеки у Збройних Силах України / А.В. Беспалов, М.С. Мошковський // Системи обробки інформації. – 2005. – № 7(47). – С. 28 – 33.
20. Бочаров В.В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях. Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей Земли / В.В. Бочаров, М.В. Раевская // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22, № 10. – С. 75 – 82.
21. Безродный И.Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова / И.Ф. Безродный // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22, № 6. – С. 85 – 90.
22. Тайсумов Х.А. Пенообразующий состав термостойкой пены на основе хмеля / Х.А. Тайсумов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т.21, №12. – С. 69 – 70.
23. Amankeldi F. Composite Foaming Agents on the Basis of High-Molecular Natural Surfactants / F. Amankeldi, Z. Ospanova // Colloids Interfaces. – 2018. – v.2. – P. 2–8.
24. Пат. № 2263525 RU, МПК А62D 1/00. Огнетушащее средство для тушения нефти и нефтепродуктов / В.А. Лотов, А.П.Смирнов. – заявл. 15.06.2004; опубл. 10.11.2005, Бюл. № 31.
25. Корольов Р.А. Аналіз способів гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами комбінованим способом / Р.А. Корольов, В.В. Ковалишин // ScienceRise. – 2017. – №6(35). – С. 41-50.
26. Пат. 2264242 RU, МПК7 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 АПБУ. – №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. №32.
27. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв // "Науковий вісник будівництва" – 2006. – Вып.37. – С. 188-192.
28. Чернуха А.А. Исследование эксплуатационных и теплоизоляционных свойств огнезащитного покрытия СК-1 / А.А.Чернуха, И.Э Казимагомедов И.Э., А.А. Киреев, Т.А. Костюк. "Науковий вісник будівництва" – 2009. – Вып.54, – С. 357-361.
29. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам органических токсичных жидкостей / И.Ф. Дадашов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2017. – Вып. 25. – С. 22-27.
30. 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.

31. Пат. 123563 UA, МПК А62С3/06, А62D1/00. Спосіб гасіння резервуарів з горючими та легкозаймистими рідинами / І.Ф. Дадашов, О.О. Кіреєв, Д.В. Тарадуда; заяв. та патентовл.: НУЦЗУ. – u 2017 10836, 06.11.2017; опубл. 26.02.2018, Бюл. №4.
32. Дадашов І.Ф. Экспериментальное исследование испарения бензина через слой гранулированного пеностекла / И.Ф. Дадашов // Проблемы пожарной безопасности. – 2017. – № 42. – С. 27 – 31.

**Дадашов І.Ф., Трегубов Д.Г., Сенчихін Ю.Н., Кіреєв А.А. НАПРАВЛЕННЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ.** Проанализированы возможности существующих огнетушащих систем для тушения пожаров нефтепродуктов. Показано, что все современные средства пожаротушения жидких углеводородов не отвечают требованиям по экологическим показателям или по эффективности использования. В работе поставлена цель разработки нового эффективного и экологического средства пожаротушения. Для этого предложено использовать бинарную систему из легкого носителя и гелевого изолирующего слоя. Показана возможность использования в качестве легкого носителя пеностекла, как не токсичного вещества. Рекомендовано для образования геля применять систему из жидкого стекла и не токсичных солей. Акцентировано внимание, что указанные вещества нерастворимы в нефтепродуктах и экологически безопасны. Проведены эксперименты по пожаротушению указанной бинарной системой индивидуальных алканов и технических смесей нефтепродуктов на модельном очаге. Рекомендованы необходимые слои зернистого пеностекла и значения интенсивности последующей подачи компонентов гелеобразующей системы, обеспечивающие прекращение горения разных нефтепродуктов. Установлен максимальный слой пеностекла – 14 см, достаточного для удержания необходимого количества геля при тушении наиболее легковоспламеняющихся нефтепродуктов, а именно – бензинов. Установлен необходимый расход подачи геля, который для легковоспламеняющихся жидкостей составил 0,5-0,8 г/см<sup>2</sup>, для горючих жидкостей – 0,2 г/см<sup>2</sup>. Результаты

данной работы показывают, что возможно эффективное тушение резервуаров или аварийных разливов всех нефтепродуктов с помощью бинарной системы из пеностекла и неорганического геля с соблюдением экологических требований.

**Ключевые слова:** резервуар, аварийный разлив, огнетушащая система, изоляция, пеностекло, гель, слой, интенсивность подачи.

**Dadashov I.F., Tregubov D.G., Senchihin Yu.N., Kireev A.A. IMPROVEMENTS OF EXTINGUISHING OF OIL PRODUCTS.** The article analyzes the capabilities of existing fire extinguishing systems for extinguishing fires of petroleum products. It is shown that all modern means of fire extinguishing liquid hydrocarbons do not meet the requirements for environmental performance or use efficiency. The aim of the work is to develop a new efficient and ecological fire extinguishing agent. It is proposed to use a binary floating system, which consists of a light carrier and an inorganic gel layer. The possibility of using granulated foam glass as a non-toxic lightweight carrier is shown. It is recommended to use a system of liquid glass and non-toxic salts for the formation of a gel. It is emphasized that these substances are insoluble in petroleum products and are environmentally friendly. An experiment on the extinguishing of individual alkanes and technical mixtures of petroleum products using a binary system was executed. The necessary layers of granular foam glass and the intensity values of the subsequent supply of components of the gel-forming system, which ensure the combustion cessation of various petroleum products, are recommended. The maximum layer of foam glass (14 cm) to hold the required amount of gel while extinguishing the most flammable petroleum products (gasolines) is installed. The necessary flow rate of the gel was established: for flammable liquids it was 0.5-0.8 g/cm<sup>2</sup>, for combustible liquids it was 0.2 g/cm<sup>2</sup>. The results of this work show that it is possible to effectively extinguish tanks or accidental spills of all petroleum products using a binary floating system of foam glass and an inorganic gel in compliance with environmental requirements.

**Keywords:** tank, emergency spill, fire extinguishing system, insulation, foam glass, gel layer, flow rate.