



V. M. Balanyuk¹, V. S. Myroshkin¹,

Y. O. Kopystynskyi¹, O. I. Hirskyi¹, O. I. Garasimiuk²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

²Головне управління ДСНС України в м. Києві, м Київ, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0853-4229> – В. М. Баланюк

<https://orcid.org/0000-0003-3907-6945> – В. С. Мирошкін

<https://orcid.org/0000-0002-4182-7106> – Ю. О. Копистинський

<https://orcid.org/0000-0001-6225-0601> – О. І. Гірський

<https://orcid.org/0000-0001-9708-9862> – О. І. Гарасим'юк



balr33@ukr.net

ПОРІВНЯННЯ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ ТА ГОРЮЧИХ РІДИН

Постановка проблеми: ефективне та швидке гасіння горючих рідин є однією з найбільш, не вирішених проблем пожежогасіння. Дуже складними та небезпечними є пожежі, які виникають у резервуарних парках з наявністю великої кількості резервуарів великого об'єму, заповнених бензином, сировою нафтою, мазутом, спиртом тощо. Гасіння таких пожеж супроводжується підвищеним ризиком для особового складу та складністю управління силами і засобами. Способи гасіння цих пожеж, потребують їх удосконалення та створення нових більш ефективних способів.

Мета: аналіз і порівняння вогнегасних речовин для гасіння пожеж легкозайmistих та горючих рідин і визначення найоптимальнішої та недорогої вогнегасної речовини на основі вогнегасної ефективності та експлуатаційних характеристик.

Методи: у роботі використано метод аналізу, порівняння і узагальнення науково-технічних досягнень з питань застосування різних вогнегасних речовин та способів гасіння пожеж легкозайmistих та горючих рідин.

Результати дослідження: на основі аналізу вогнегасних речовин визначено, що вогнегасні аерозолі є універсальними у своєму застосуванні та мають високі показники вогнегасної ефективності для гасіння пожеж класу «В», а за деякими параметрами мають переваги над іншими вогнегасними речовинами.

Висновки: враховуючи постійно зростаючі вимоги споживачів до вогнегасних засобів, а саме: поєднання в одній вогнегасній речовині високих показників вогнегасної ефективності та експлуатаційних переваг, зручності подавання в осередок пожежі, тривалого часу захисту, можливості флегматизування горючої системи при незначних концентраціях, тривалого періоду зберігання та інш., можна зробити висновок, що вогнегасний аерозоль відповідає зазначеним критеріям оптимальної та недорогої вогнегасної речовини, що підтверджується найбільшою кількістю умовних балів, отриманих за зазначені критерії.

Ключові слова вогнегасний аерозоль, вогнегасна ефективність, гасіння горючих рідин, порівняльні характеристики, вогнегасні засоби.

V. M. Balanyuk¹, V. S. Myroshkin¹,

Y. O. Kopystynskyi¹, O. I. Hirskyi¹, O. I. Garasimiuk²

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

²The main department of the State Emergency Service of Ukraine in Kyiv, Kyiv, Ukraine

COMPARISON OF FIRE EXTINGUISHING SUBSTANCES FOR EXTINGUISHING FIRES OF FLAMMABLE LIQUIDS

Problem statement: effective and rapid extinguishing of flammable liquids is one of the biggest, unsolved problems in firefighting. Fires that occur in tank parks with the presence of a large number of large-volume tanks filled with gasoline, crude oil, fuel oil, alcohol, etc., are very difficult and dangerous. Extinguishing such fires is accompanied by an increased risk for personnel and the difficulty of managing forces and means. The imperfection of methods of extinguishing these fires requires their improvement and the creation of new, more effective methods.

Purpose: analysis and comparison of fire extinguishing agents for extinguishing fires of flammable and combustible liquids and determination of the most optimal and inexpensive fire extinguishing agent based on fire extinguishing efficiency and operational characteristics.

Methods: the work uses the method of analysis, comparison and generalisation of scientific and technical achievements on the use of various fire-extinguishing substances and methods of extinguishing fires involving flammable and combustible liquids.

Research results: Based on the analysis of fire-extinguishing substances, it was determined that fire-extinguishing aerosols are universal in their application and have high fire-extinguishing efficiency indicators for extinguishing class "B" fires, and in some parameters have significant advantages over other fire-extinguishing substances.

Conclusions: Taking into account the ever-increasing demands of consumers for fire extinguishing agents, namely the combination of one fire extinguishing substance, high fire extinguishing efficiency and operational advantages, - ease of delivery to the centre of the fire, long protection time, the possibility of phlegmatization of the combustible system at low concentrations, a long storage period, etc., it can be concluded that the fire-extinguishing aerosol meets the specified criteria of an optimal and inexpensive fire-extinguishing substance, which is confirmed by the largest number of conditional points obtained for the specified criteria.

Keywords fire-extinguishing aerosol, fire-extinguishing efficiency, extinguishing flammable liquids, comparative characteristics, fire-extinguishing agents.

Постановка проблеми: Ефективне та швидке гасіння горючих рідин є однією з найбільших не вирішених проблем пожежогасіння. Дуже складними та небезпечними є пожежі які виникають у результаті горіння горючих та легкозаймистих рідин бензинів, сирої нафти, мазутів, спиртів тощо. [1] Як свідчить практика, такі пожежі часто можуть бути розвинутими та затяжними, а їх гасіння потребує залучення великої кількості сил і засобів пожежогасіння та характеризується великими матеріальними збитками і високим рівнем ризику для життя та здоров'я людей. Усе це потребує удосконалення уже відомих способів гасіння та створення нових, більш ефективних.

Пожежі в резервуарах зазвичай починаються з вибуху пароповітряної суміші в газовому просторі резервуара зі зривом даху або зі спалаху "багатої" суміші без зриву даху, але з порушенням цілісності його окремих місць. Сила вибуху, як правило, значна в тих резервуарах, де наявний великий газовий простір, заповнений сумішшю парів нафтопродукту з повітрям (низький рівень рідини). Залежно від сили вибуху у вертикальному металевому резервуарі може спостерігатися така ситуація: дах зривається цілком, його відкидає убік на відстань 20 - 30 м, рідина горить на всій площі резервуара; дах трохи піднімається, відривається повністю або частково, потім затримується в напівзануреному стані в палаючій рідині; дах деформується й утворює невеликі щілини в місцях кріплення до стінки резервуара. У зруйнованих зварних швах самого даху в цьому випадку горять пари ЛЗР над утвореними щілинами [2]. При пожежі в залізобетонних (підземних) резервуарах від вибуху відбувається руйнування покрівлі, у якій утворюється отвір великих розмірів, потім у процесі пожежі може обвалитися покриття по всій площі резервуара через високу температуру і неможливість охолодження їх несучих

конструкцій. У циліндричних горизонтальних, сферичних резервуарах від вибуху найчастіше руйнується днище, у результаті чого рідина розливається на значну площу, створюється загроза займання сусідніх резервуарів і споруд.

Зрозуміло, що такі умови можуть постійно змінювати характер горіння, створювати небезпеку скипання горючої рідини та різкого збільшення площі горіння, хаотичного перекидання вогню в різних напрямках, розливу горючої рідини по прилеглий території. Ці фактори додатково посилюють складність гасіння у важкодоступних місцях, «кишенях», під землею, в обвалуванні, в об'ємі резервуара або (у групі резервуарів) та потребують перегрупування сил і засобів, зміни плану гасіння та використання різних способів, засобів гасіння та основне - ефективних вогнегасних речовин.

Виходячи з вище сказаного та враховуючи усі специфічні особливості горіння і гасіння горючих рідин, необхідно порівняти та проаналізувати характеристики відомих засобів гасіння та визначити найбільш ефективні з них, з метою їх подальшого вдосконалення та використання їх на практиці.

Аналіз останніх досліджень та публікацій: Проблемою гасіння горючих рідин займалася велика кількість авторів [1-4], які пропонували різні варіанти її вирішення. Найбільш поширеним способом гасіння таких пожеж, стало гасіння повітряно-механічною піною [3] Цей спосіб забезпечує досить тривалу ізоляцію поверхні горючої рідини від газової фази, в якій відбувається процес горіння. Також піни володіють досить значною охолоджуючою дією. Завдяки здатності пін розтікатися вони можуть проникати у важкодоступні місця, що полегшує гасіння так званих «кишень». Однак вогнегасні піни мають ряд недоліків: мала стійкість пін за умови дії інтенсивних теплових потоків від полум'я палаючої рідини і від контакту піни з

полярними горючими рідинами; складнощі з подаванням пін на великі відстані; знесення пін конвективними потоками, їх руйнування в ході підльоту до резервуара та зіткнення з поверхнею рідини; висока вартість ряду піноутворювачів і технічних засобів подачі пін, особливо в разі використання підшарового способу подачі; більшість пін забруднюють горючі рідини, що призводить до неможливості їх подальшого використання за прямим призначенням або ускладнює їх подальшу переробку; до складу пін входять потенційно екологічно небезпечні речовини – піноутворювачі, а також цей спосіб потребує досить багато часу на підготовку до гасіння.

Постійно тривають експериментальні наукові дослідження із вдосконалення цього способу гасіння. [3]. Зокрема дослідники працюють над збільшенням дальності подавання піни, [4] розробкою екологічних піноутворювачів [5], використанням плівкоутворюючих ПУ [6], які утворюють більш стійку по відношенню до полярних ГР піну, розробкою вогнегасних пін, що тверднуть. Впровадження цих заходів вдосконалення, скоріш за все допоможе вирішити багато проблемних питань, притаманних цьому способу гасіння, проте не вирішить питання великих затрат часу, зусиль та ресурсів, необхідних для подачі піни в осередок пожежі, та високої вартості обладнання для подавання піни – насосів, трубопроводів, корозійностійких емностей для зберігання піноутворювача.

Альтернативними варіантами є використання для гасіння горючих рідин вогнегасних порошоків, газів, дисперсної води, вогнегасних емульсій та поєднання цих способів, але жоден з цих варіантів не володіє одночасно значною кількістю характеристик, які б дозволяли ефективно, дешево, надійно та швидко гасити горіння рідин.

Деякі автори [1,7] пропонують використовувати для гасіння рідин тверду гранульовану вуглекислоту, гранули піноскла, тверді пористі матеріали та гелеутворюючі системи, проте ці способи на даний момент перебувають на стадії наукових розробок тому інформації про їхнє використання практично у літературі немає.

Кожен з основних способів гасіння рідин має свої переваги та недоліки. Так наприклад вогнегасні порошки дають суттєвий вогнегасний ефект мають інгібуючу, флегматизуючу, розбавляючу, охолоджуючу дію [8, 9] проте, вони мають високу вартість, дуже малий час зависання в захищуваному об'ємі, мають схильність до злежування, а процес подачі їх на гасіння пожежі є недостатньо зручний та займає багато часу. Також вони мають недостатній охолоджуючий та

ізолюючий ефект та не можуть в повному обсязі запобігти повторному загорянню рідини, після їх подавання [10].

Гасіння дисперсною водою відбувається шляхом [1] охолодження верхніх шарів киплячої рідини до температури нижчої за температуру спалаху, тобто основним механізмом припинення горіння є охолодження. Також присутній ефект розбавлення горючого середовища парою, що утворюється під час випаровування краплин [9] проте майже відсутня інгібуюча та ізолювальна дія. Також для успішного гасіння [1] дисперсною водою великих за площею поверхонь ГР необхідно створити умови згасання полум'я над всією поверхнею рідини. Ці умови повинні бути створені на час, протягом якого нагріті стінки резервуара будуть охолоджені до температури, нижчою за температуру самоспалахування ГР або поверхневий шар рідини має бути охолоджений до температури, нижчої за її температуру спалаху.

Стационарно встановлені у верхній частині резервуара розпилювачі в більшості випадків не в змозі вирішити таке завдання, оскільки вони часто виходять з ладу за відсутності постійного обслуговування або під час вибуху пароповітряної суміші, з якої, як правило, починається пожежа. Пересувні установки пожежогасіння дисперсною водою в наш час, не пристосовані для таких цілей.

Газове гасіння реалізує механізм розбавлення горючого середовища та флегматизування частинок що беруть участь у горінні, що призводить до охолодження та переривання ланцюгових реакцій горіння. [11,12,13] Також окремі газоподібні вогнегасні речовини (двоокис вуглецю) мають додаткову охолоджувальну дію, однак газові речовини як і вода не мають ізолюючої та екранувальної дії, що є необхідною умовою гасіння пожеж класу «В» [1]. Також не завжди вдається забезпечити в зоні горіння необхідної концентрації ГВР протягом тривалого часу для запобігання повторного займання [13]. Крім цього використання газових речовин є дорого вартісним, потребує спеціальних трубопроводів, емностей для зберігання газу, іншого обладнання яке важко забезпечити в умовах реальної пожежі, що робить його застосування на практиці малоефективним.

З позиції екологічних аспектів існують значні обмеження на використання газових вогнегасних речовин [14,15], і зважаючи на постійне погіршення екологічної ситуації, обмеження на їх використання будуть лише посилюватися.

Механічні способи (відкачування горючої рідини, накриття дзеркала горючої рідини негорючим матеріалом, перемішування, покриття

вогнегасною піною, плівкоутворювачем) можуть дати ефект гасіння пожежі, але їх можна застосувати лише за певних умов які дозволять реалізувати ці способи (цілісність обладнання, можливість наближення до зони горіння, тощо).

Мета: аналіз і порівняння вогнегасних речовин для гасіння пожеж легкозаймистих та горючих рідин та визначення оптимальної танедорогої вогнегасної речовини на основі

вогнегасної ефективності та експлуатаційних характеристик.

Виклад основного матеріалу: Для порівняння характеристик вогнегасних речовин було обрано вогнегасні речовини які мають схожі механізми припинення горіння. За результатами дослідження складено таблицю 1, в котрій наведено орієнтовні дані щодо характеристик вогнегасних речовин для гасіння горючих та легкозаймистих рідин.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики вогнезахисних речовин для гасіння пожеж класу «В»

Параметри	Аерозольне гасіння	Газове гасіння	Порошкове гасіння
Тривалість часу необхідного для гасіння	5	4	2
Зручність подачі вогнегасної речовини	5	1 (ПГ) 3 (ССП)	3
Тривалість часу збереження вогнегасної здатності, після подавання ВР	5	5	2
Вартість захисту умовного об'єму	5	2	4
Інгібуюча здатність	5	3	4
Флегматизуюча здатність	5	4	4
Охолоджуюча здатність	2	3	3
Екранувальна здатність	4	1	3
Ізолювальна здатність	1	1	3
Вогнегасна ефективність	5	3	4
Всього:	42	30	32

Градація показників таблиці базується на шкалі, де мінімальна перевага дорівнює «1» максимальна перевага дорівнює «5» що є узагальненим показником таких понять: Тривалість часу, необхідного для гасіння час, необхідний для повного припинення горіння при стандартному вогневому випробуванні. Зручність подачі вогнегасних речовин – сумарна кількість операційних дій, які необхідно здійснити в процесі підготовки до початку та в процесі подачі вогнегасної речовини. Тривалість збереження вогнегасної здатності, після подавання ВР – загальний час збереження вогнегасної дії в умовному об'ємі після подавання ВР. Вартість – загальна вартість вогнегасних речовин та витрати на підготовку та подачу вогнегасних речовин в осередок пожежі в умовному об'ємі. Вогнегасна ефективність – наявність в способі гасіння вогнегасних властивостей та характеристик, необхідних для гасіння пожеж класу «В». «ПГ» показник за умов використання пересувною пожежною технікою. «ССП» показник за умов використання в складі стаціонарної системи пожежогасіння в умовно герметичному об'ємі.

Як бачимо з таблиці, незначну загальну перевагу має аерозольне гасіння. В порівнянні з іншими вогнегасними засобами, які можна

використовувати для гасіння ЛЗР та ГР, вогнегасні аерозолі мають певні переваги за окремими критеріями, а саме:

Вогнегасний аерозоль у разі гасіння ним пожеж класу В діє комплексно, чим забезпечується його висока вогнегасна ефективність [16, 17]. Внаслідок утворення дрібнодисперсної конденсованої фази, нейтральних газів та продуктів згорання АУС аерозоль при потрапленні в зону горіння суттєво сповільнює усі ланцюгові фізико-хімічні процеси, необхідні для горіння рідини, має хорошу охолоджуючу, флегматизуючу, інгібуючу та екрануючу дію. Це зумовлюється процесами розбавлення горючого середовища газоподібними негорючими продуктами реакції горіння АУС, продуктами розкладу твердих частинок аерозолу і вигоранням кисню в атмосфері захищеного середовища [18,19]; інгібуванням хімічних реакцій в полум'ї свіжоутвореними дрібнодисперсними твердими частинками аерозолу (K_2CO_3 , $KHCO_3$, KON , KCl , та ін.) і продуктами їх розпаду (K_2O , KO та ін.) [16]; захист дзеркала горючої рідини від теплової радіації полум'я, завдяки поглинанню і розсіюванню аерозольними частинками променів, що йдуть від зони горіння; зниження температури зони горіння завдяки поглинанню тепла при нагріванні,

плавленні, випаровуванні і розкладанні твердих частинок аерозолі; припинення горіння шляхом перемішування горючої рідини (при підшаровому гасінні) [18], тривалим часом захисної дії завислих частинок вогнегасного аерозолі в умовно герметичному об'ємі близько 25хв, що цілком достатньо для унеможливлення подальшого продовження горіння через охолодження нагрітих огорожувальних конструкцій.

Вогнегасний аерозоль має низькі значення кількості вогнегасної речовини необхідної для створення в об'ємі вогнегасної та флегматизуючої

концентрації. Ми порівняли показники для різних газових речовин, які використовуються в Україні, (табл. 2) і, як бачимо значення показника аерозолі є значно меншим за інші речовини газового гасіння, з чого можна зробити висновок, що ефективність гасіння аерозолем є більшою, а розхід речовини при цьому – менший. Також аерозолі є екологічними і не підпадають під заборону Монреальського та Кіотського протоколів на відміну від газових ВР [14, 15] характеристики котрих наведено в таблиці 2 .

Таблиця 2

Порівняльні характеристики вогнезахисної ефективності речовин газового гасіння які використовуються в Україні

Вогнегасна речовина	Хімічна назва	Вогнегасна концентрація г\м ³	Флегматизуюча концентрація г\м ³	Національний стандарт
FK-5-1-12	Додекафтор-2-метилпентан-3-	961	1346	ДСТУ 4466-5:2008[20]
HFC 227ea	Гептафторпропан	780	1092	ДСТУ 4466-9:2008[20]
IG-01	Аргон	833	1167	ДСТУ 4466-12:2008[20]
IG-100	Азот	661	926	ДСТУ 4466-13:2008[20]
IG-541	Азот (52%) Аргон (40%) Діоксид вуглецю (8%)	584	818	ДСТУ 4466-15:2008[20]
Діоксид вуглецю	Діоксид вуглецю	451	648	ДСТУ 5092:2008[21]
Вогнегасний аерозоль	Вогнегасний аерозоль	50	79	

Як бачимо з таблиці 2 вогнегасні концентрації газових ВР є на декілька порядків вищі за вогнегасну концентрацію аерозолі. Мінімальна вогнегасна концентрація (МВК) такої речовини як IG-541 є в десять разів вища за вогнегасну концентрацію аерозолі, а для речовини додекафтор-2 це значення майже в 30 разів є вищим за МВК аерозолі. Системам пожежогасіння, які працюють на основі аерозолі-утворювальної суміші (АУС) не потрібні спеціальні ємності для газів чи піноутворювача, агрегати для подачі газів під надлишковим тиском, насосне обладнання, запірні арматури, генератори піни або розпилювачі, труби, розгалужувачі, складні електронні системи управління тощо, що значно спрощує процес подавання вогнегасного аерозолі з відповідним фазовим складом, в осередок пожежі.

Гасіння аерозолями має суттєві економічні переваги: з 10 кг АУС – утворюється до 50000 л вогнегасного аерозолі (для порівняння – утворення аналогічного об'єму вогнегасної піни середньої кратності необхідно використати близько 30 літрів піноутворювача). Але трактувати та порівнювати вогнегасну піну з

аерозолем не є коректно, оскільки вогнегасна піна забезпечує максимальний вогнегасний ефект за рахунок ізолювання горючої поверхні від повітря. Влаштування аерозольної системи пожежогасіння для захисту резервуара з горючою рідиною є значно дешевшим варіантом завдяки невеликій кількості обладнання, необхідного для її монтажу, та низькій вартості обслуговування установки в процесі експлуатації. Генератор вогнегасного аерозолі можна закріплювати як зверху так і внизу резервуара для подачі аерозолі на поверхню палаючої рідини [23], при цьому установка при вибуху резервуара може залишитися неушкодженою завдяки надійному кріпленню до стінок резервуара та відсутності трубопроводів, які йдуть по зовнішній стінці резервуара і можуть деформуватися від вибуху, що, в свою чергу, призведе до виходу з ладу установки.

Спираючись на експериментальні дослідження вогнегасних аерозолів [1 – 4, 11, 22] в сфері об'ємного гасіння пожеж класу «В», відомо, що наразі він володіє найвищою вогнегасною ефективністю завдяки високій інгібуючій, флегматизуючій, охолоджувальній здатності та

відповідно низькій вартості гасіння пожеж горючих рідин, як в умовно герметичному об'ємі так і на відкритому просторі.

Таким чином, спираючись на дані, отримані в результаті аналізу можемо зазначити, що аерозолі є майже універсальними вогнегасними речовинами у своєму застосуванні при гасінні дифузійного полум'я. Їх можна використовувати як в замкненому об'ємі так і на відкритому просторі. А змінюючи рецептуру АУС, створюючи нові способи подачі аерозолу в осередок пожежі, а також використовуючи різні види палива, можна впливати на вогнегасну ефективність одержуваних аерозолів, що, в свою чергу дасть змогу змінювати його вогнегасні характеристики та властивості, відповідно до певної потреби використання аерозолу, зокрема для гасіння великих пожеж в тому числі – на відкритому просторі.

Висновки: Враховуючи постійно зростаючі вимоги споживачів до вогнегасних засобів, а саме: поєднання в одній вогнегасній речовині високих показників вогнегасної ефективності та експлуатаційних переваг, – зручності подавання в осередок пожежі, тривалого часу захисту, можливості флегматизування горючої системи при незначних концентраціях, тривалого періоду зберігання та інш, та провівши аналіз і порівняння вогнегасних речовин для гасіння пожеж легкозаймистих та горючих рідин. Згідно зазначених критеріїв, можна зробити висновок, що вогнегасний аерозоль відповідає зазначеним критеріям оптимальної та недорогої вогнегасної речовини, що підтверджується найбільшою кількістю умовних балів, отриманих за зазначені критерії.

Ефективність вогнегасних аерозолів, а також простота технічних засобів та технологій їх використання є відправною точкою, яка може стати причиною обрання саме цих засобів для використання їх у стаціонарних системах та інших засобах пожежогасіння горючих та легкозаймистих рідин, поряд з уже впровадженими. Крім цього впровадження аерозольного пожежогасіння для ліквідації масштабних пожеж класу В є перспективним напрямом та потребує комплексного наукового дослідження, практичних випробувань, написання нормативних документів.

Список літератури:

1. Дадашов І. Ф., Кіреєв О.О., Трегубов Д. Г., Тарахно. О. В. Гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами: монографія. Харків: НУЦЗУ. 2021. 240 с.
2. Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочн. Изд.: М.: Химия, 1987. 269 с.

3. Ковалишин В.В., Васильєва О.Е., Козяр Н.М. Пінне гасіння: Львів. СПОЛОМ. 2007. С. 137.
4. Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Грушовичук О.В., Експериментальні дослідження процесу взаємодії струменів повітряно-механічної піни різної кратності під час їх польоту: *Збірник наукових праць «Пожежна безпека»*. 2018. № 32. 31 с.
5. Боровиков В. О. Одержання та застосування екологічно безпечних піноутворювачів для гасіння пожеж: дис. канд. техн. наук 21.06.02 / Український НДІ пожежної безпеки. Київ. 2002. 237с.
6. Войтович Т. М. Вдосконалення технології «підшарового» пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами: дис. д. ф. Львів. 2020. 216 с.
7. Корольов Р. А. Ковалишин, В. В. Штайн Б. В. «Аналіз способів гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами комбінованим способом» / *Scientific Journal (Sciense Rise)* 2017. №6 (35). с 56.
8. Гарасим'юк О. І. Розвиток наукових аспектів комбінованого застосування вогнегасних аерозолів, газів та порошків: дис. кандидат. техн. наук. / Львів, 2016. 153 с.
9. Боровиков В. О. Вогнегасні речовини: минуле, сучасність і майбутнє частина II: плоди «століття технологій. URL security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=775 *Fire and security*/8 с.
10. НАПБ 05.035–2004 «Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами» затверджено Наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи 16.02.2004 р. № 75.
11. Бондаренко С.Н. Сучасні системи автоматичного пожежогасіння: Харків. НУЦЗУ 2001. С. 176.
12. Козяр Н.М. Підвищення ефективності об'ємного пожежогасіння: *Збірник наукових праць. «Пожежна безпека»*. №25. 2014. 16 с.
13. Скоробагатько Т. М., Копильний М.І., В.О. Боровиков, Ефективність гасіння деякими газовими вогнегасними речовинами біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом: *Науковий вісник Цивільний захист та пожежна безпека* № 1 (3) 2017. Київ, 16с.
14. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар ООН; Протокол, Акт, Резолюція від 16.09.1987. URL <http://parusconsultant.com/?doc=053065D021>.
15. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (укр/рос) ООН; Протокол, Міжнародний документ від 11.12.1997. URL http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801.

16. Копистинський Ю.О., Баланюк В. М., Кошеленко В.В. Особливості механізму гасіння дифузійного полум'я аерозолями на основі хлоридів та карбонатів калію: Матеріали ІХ Міжнарод. наук.-практ. конф. м. Львів. Львів, 2009. 56с.

17. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів: *Вісник НУ "Львівська політехніка". Технічні науки.* №497. 2004. 17с.

18. Каримов Ф.Ф. О гомогенно-гетерогенном механизме протекания каталитических реакций в аерозолях. Науч. произв. корпорация "Киев. ин-т автоматика. Киев. 1996. 44 с.

19. Баланюк В.М., Лавренюк О.І., Гарасим'юк О.І., Голоцько О.Я. Особливості гасіння твердих та рідких горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей калію: *Збірник наукових праць Пожежна безпека.* № 12. 2008. С. 60-64.

20. ДСТУ EN 15004-1:2014 Стационарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Частина 1. Проектування, монтажування та технічне обслуговування (EN 15004-1:2008, IDT) [Чинний від 2016-01- 01] Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України. 2014. 102 с.

21. ДСТУ 5092:2008 Пожежна безпека. Вогнегасні речовини. Діоксид вуглецю (EN 25923:1993 (ISO 5923:1989), MOD) [Чинний від 2010-10- 01] Вид. офіц. Київ: Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки (УкрНДІПБ) МНС України, 2008. 10 с.

22. Бондаренко С. М. Розробка генераторів вогнегасячого аерозолю із покращеними характеристиками: дис. кандидат. техн. наук. Харків, 2004. 184 с.

23. Кравченко А. В. Підшарове гасіння спиртів вогнегасним аерозолем: дис. доктор філософії. Львів. 2021. 189 с.

References:

1. Extinguishing flammable liquids with solid porous materials and gel-forming systems: monograph. Dadashov I. F., Kireev, O. O. Tregubov D. G., Tarakhno O. V. monograph/ Kh. NUTsZU, 2021. 240 s.

2. Baratov A.N., Ivanov E.N., Korolchenko A.Ya. Pozharnaia bezopasnost. Vzrrovbezopasnost [Fire safety. Explosion protection]. reference Ed. / M.: Khimiya, 1987. 269 s.

3. Kovalishyn V.V., Vasyliieva O.E., Kozyar N.M. Pinne hasinnia [Foam extinguishing]. Lviv: SPOLOM, 2007. s 137.

4. Kovalishyn V.V., Kyryliv Y.B., Hrushovinchuk O.V., Experimental studies of the process of interaction of jets of air-mechanical foam of different multiplicity during their flight / *Zbirnyk naukovykh prats «Pozhezhna bezpeka».* № 32. 2018. Lviv, 31 s.

5. V.O. Borovykov. Production and use of environmentally safe foaming agents for fire

extinguishing: dissertation. Ph.D. technical Sciences: 21.06.02 / Ukrainskyi NDI pozhezhnoi bezpeky. K., 2002. 237s.

6. Voytovych T. M. Improvement of the technology of "underlayer" fire extinguishing in tanks with petroleum products: diss. d. f. 2020. Lviv,. 216 s.

7. Korolev R. A., Kovalishyn V. V., Shtein B. V. Analysis of methods of extinguishing fires in tanks with petroleum products using a combined method / *Scientific Journal (Science Rise)* No. 6 (35) 2017. 56s.

8. Garasimyyuk O. I. Development of scientific aspects of the combined use of fire-extinguishing aerosols, gases and powders: diss. the candidate technical of science. 2016. Lviv. 153 s.

9. Borovykov V. O. Fire-extinguishing substances: past, present and future part II: fruits of the "century of technologies. URL http://security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=775 Fire and security/ 8s.

10. NAPB 05.035–2004 Instructions for extinguishing fires in tanks with oil and petroleum products" approved by the Order of the Ministry of Emergency Situations and Protection of the Population from the Consequences of the Chernobyl Disaster on February 16, 2004 p. No. 75.

11. Bondarenko S.N. Modern systems of automatic fire extinguishing: Kharkiv. NUTZU 2001. P. 176.

12. Kozyar N.M. Increasing the efficiency of volumetric fire extinguishing: *Zbirnyk naukovykh prats «Pozhezhna bezpeka»* №25. 2014. Lviv. 16 s.

13. Skorobagatko T. M., Kopylnyi M.I., Borovykov V.O., Effectiveness of extinguishing some gaseous fire extinguishing substances of biodiesel fuel and its mixtures with diesel fuel: *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka* № 1 (3) 2017. Kyiv, 16s.

14. Montreal Protocol on Substances that Deplete the UN Ozone Layer; Protocol, Act, Resolution dated 16.09.1987. URL <http://parusconsultant.com/?doc=053O65D021>.

15. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Ukrainian/Russian) UN; Protocol, International document dated 11.12.1997. URL https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801.

16. Kopistinsky Yu.O. Balanyuk V. M., Koshelenko V.V. Features of the diffusion flame extinguishing mechanism with aerosols based on potassium chlorides and carbonates. *Pozhezhna bezpeka: zb. tez dop. IKh Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Lviv, 2009 r. Lviv, 2009 56s.

17. Balanyuk V.M., Hrymalyuk B.T., Kit Y.V., Levush S.S. Influence of the gas phase on the effectiveness of fire-extinguishing aerosols: *Visnyk NU "Lvivska politekhnika". Tekhnichni nauky.* Lviv, №497. 2004. 17s.

18. Karimov F.F. O homohenno-heterohennom mekhanyzme protekanyia kataletycheskykh reaktsiyi v aeroliakh; [On the homogeneous-heterogeneous mechanism of catalytic reactions in aerosols] Nauch. proyzv. korporatsyia "Kyev. yn-t avtomatyky". Kyiv, 1996. 44 s.

19. Balanyuk V.M., Lavrenyuk O.I., Harasymyuk O.I., Golonko O.Ya. Peculiarities of extinguishing solid and liquid combustible substances with a fire-extinguishing aerosol based on potassium salts: *Zbirnyk naukovykh prats «Pozhezhna bezpeka»*. No. 12. 2008- ss. 60-64.

20. DSTU EN 15004-1:2014 Stationary fire extinguishing systems. Gas fire extinguishing systems. Part 1. Design, installation and maintenance (EN 15004-1:2008, IDT) [Valid from 2016-01-01]

Ed. officer Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2014. 102 p.

22. DSTU 5092:2008 Fire safety. Fire extinguishing substances. Carbon dioxide (EN 25923:1993 (ISO 5923:1989), MOD)[Effective from 2010-10-01] Ed. officer Kyiv: Ukrainian Research Institute of Fire Safety (UkrNDIPB) of the Ministry of Emergencies of Ukraine, 2008. 10 p.

23. Bondarenko S. M. Development of fire-extinguishing aerosol generators with improved characteristics: diss candidate. technical. Science 2004. Kharkiv. 184 s.

24. Kravchenko A.V. Sublayer extinguishing of alcohols with a fire-extinguishing aerosol dissertation: doctor of philosophy 2021. Lviv, 189 s.

© В. М. Баланюк, В. С. Мирошкін,
Ю. О. Копистинський, О. І. Гірський,
О. І. Гарасим'юк, 2022.

Оглядова.

Надійшла до редакції 15.11.2022.

Прийнято до публікації 12.12.2022.