



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,
АНГЛІЙСЬКОЮ ТА ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

ЛДУ БЖД

№ 39, 2021

заснований у 2002 році

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Паснак І.В., *головний редактор*, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Лавренюк О.І.**, *заступник головного редактора*, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Яковчук Р.С.**, *заступник головного редактора*, д.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Пазен О.Ю.**, *відповідальний секретар*, к.т.н., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Баланюк В.М.**, д.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Башинський О.І.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Гашук П.М.**, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Гонтар З.Г.**, к.держ.упр., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Демчина Б.Г.**, д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна; **Домінік А.М.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Ємельяненко С.О.**, к.т.н., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Кирилів В.І.**, к.т.н., с.н.с., Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, Україна; **Коваленко В.В.**, к.т.н., с.н.с., Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна; **Ковалишин В.В.**, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Коваль М.С.**, д.пед.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Козяр М.М.**, д.пед.н., проф., Член-кореспондент НАПН України, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Костенко В.К.**, д.т.н., проф., Донецький національний технічний університет МОН України, Україна; **Кузик А.Д.**, д.с-г.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Лозинський Р.Я.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Лоїк В.Б.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Михалічко Б.М.**, д.х.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Придатко О.В.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Птак Сімон**, PhD, Головна школа пожежної служби, Польща; **Ратушний Р.Т.**, д.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Саміло А.В.**, к.ю.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Тацій Р.М.**, д.ф.-м.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Тригуба А.М.**, д.т.н., проф., Львівський національний аграрний університет, Україна; **Шукіс Рітолдас**, PhD, доц., Вільнюський технічний університет ім. Гедиміна, Литва; **Ярош Войцех**, PhD, Головна школа пожежної служби, Варшава, Польща.

ISSN 2078-6662 (print)
ISSN 2708-1087 (online)

DOI: 10.32447/20786662.39.2021.00

ЗАСНОВНИКИ

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД);
Український науково-дослідний інститут
цивільного захисту (УкрНДІЦЗ).

ВИДАВЕЦЬ

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД).

ЗАРЕЄСТРОВАНО

Державною реєстраційною службою України
14.07.2014 р. Серія КВ №20916-10716 ПР

**ВНЕСЕНО ДО ПЕРЕЛІКУ НАУКОВИХ ФАХОВИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ
ЯК ДРУКОВАНЕ ПЕРІОДИЧНЕ ВИДАННЯ КАТЕГОРІЇ «Б»**

(Наказ МОН України від 02.07. 2020 року № 886)

ВНЕСЕНО ДО БІБЛОГРАФІЧНИХ БАЗ ДАНИХ:

«НАУКОВА ПЕРІОДИКА УКРАЇНИ» В НАЦІОНАЛЬНІЙ БІБЛІОТЕЦІ УКРАЇНИ
ІМ. В.І. ВЕРНАДСЬКОГО, «ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY»,
«GOOGLE SCHOLAR»

**Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД
(Протокол № 5 від 22.12.2021 р.)**

Літературний редактор Падик Г.М.

Технічний редактор Сорочич М.П.

Комп'ютерна верстка Фльорко М.Я.

Друк на різнографі Петролюк Н.І.

Відповідальний за друк Фльорко М.Я.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007

Контактні телефони: (032) 233-24-79, тел/факс 233-00-88

E-mail: pb_zbirnyk@ldubgd.edu.ua

Збірник наукових праць «Пожежна безпека» видається з 2002 року.
Запланована періодичність: 2 рази на рік. Тематична спрямованість: оригінальні
та оглядові праці в галузі технічних наук з напрямку «пожежна безпека» за
спеціальністю 261 – пожежна безпека.

Здано в набір 23.12.2021. Підписано до друку 27.12.2021.

Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 8,90.

Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.

Наклад: 100.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ СТАТТІ / SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL ARTICLES

Т. Г. Бережанський, М. І. Пашечко
РОЗРОБКА ПОКРИТТІВ ДЛЯ
РЕГЕНЕРАЦІЇ ВУЗЛІВ ПОЖЕЖНОЇ
ТЕХНІКИ ТА ПРОТИПОЖЕЖНОГО
ОБЛАДНАННЯ

5

T. G. Berezhanskyi, M. I. Pashechko
DEVELOPMENT OF COATINGS FOR
REGENERATION OF FIRE TOOLS
AND EQUIPMENT

**А. Ф. Гаврилюк, М. О. Гайдук,
Д. І. Дуленко**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
ВЗАЄМОЗАМІНИ ВОГНЕЗАХИСНОГО
ЗАСОБУ НА ЗНИЖЕННЯ
ПОКАЗНИКІВ ВОГНЕЗАХИСНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕРЕВ'ЯНИХ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

12

**A. F. Havryliuk, M. O. Haiduk,
D. I. Dulenko**
STUDY OF THE INFLUENCE OF CHANGE
OF FIRE PROTECTIVE AGENT ON
REDUCTION OF FIRE PROTECTION
EFFICIENCY OF WOODEN BUILDING
STRUCTURES

Л. П. Гащук, П. М. Гащук
ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ
СИНТЕЗУ ЗАКОНІВ ПЕРЕМІКАННЯ
ПЕРЕДАЧ В ТРАНСМІСІЯХ
АВТОМОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНО-
РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

21

L. P. Hashchuk, P. M. Hashchuk
INFORMATION PRINCIPLES OF THE
THEORY OF SYNTHESIS OF GEAR
SHIFTING LAWS IN TRANSMISSIONS OF
AUTOMOBILE FIRE-RESCUE
TECHNIQUE

Б. Л. Копчак, А. П. Кушнір
РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ БЛОКУ
НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ
МАКСИМАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО
ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА З
ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТИ ARDUINO

32

B. L. Kopchak, A. P. Kushnir
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION
OF THE INDISTINCT LOGIC BLOCK OF
THE MAXIMUM THERMAL FIRE
DETECTOR USING THE ARDUINO
BOARD

**А. Д. Кузик, К. Л. Драч,
В. І. Товарянський**
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ГАСІННЯ ТРАВ'ЯНИХ ПОЖЕЖ
ПОТОКАМИ ПОВІТРЯ ТА
ПОВІТРЯНО-ВОДЯНОЇ СУМІШІ

43

**A. D. Kuzyk, K. L. Drach,
V. I. Tovaryanskyi**
EXPERIMENTAL STUDIES
OF EXTINGUISHING GRASS FIRES
BY AIR FLOWS AND AIR-WATER
COMPOSITION

О. В. Лазаренко, В. І. Посполітак
СПОСОБИ ВИПРОБУВАННЯ
ЛІТІЙ-ІОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ЖИВЛЕННЯ НА ПРЕДМЕТ
ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

49

O. V. Lazarenko, V. I. Pospolitak
METHODS OF TESTING
LITHIUM-ION BATTERIES
FOR FIRE HAZARD

ОГЛЯДОВІ СТАТТІ / REVIEW ARTICLES

**В. М. Баланюк, О. І. Гарасим'юк,
Ю. О. Копистинський, А. В. Гриньова**
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ
ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ НА
ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ СОЛЕЙ
КАЛІЮ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ
ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
НА ПОЖЕЖАХ

56

**V. M. Balanyuk, O. I. Garasimyyuk,
Y. O. Kopystynsky, A. V. Grynova**
PROSPECTS FOR THE USE OF FIRE-
EXTINGUISHING AEROSOL BASED ON
INORGANIC POTASSIUM SALTS FOR
SCREENING OF THERMAL RADIATION IN
FIRE

Р. Б. Веселівський, Д. В. Смоляк
СПОСОБИ ВОГНЕЗАХИСТУ
МЕТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ

63

R. B. Veselivskyy, D. V. Smolyak
METHODS OF FIRE PROTECTION OF
METAL BUILDING STRUCTURES

**С. Я. Вовк, О. Ю. Пазен,
Н. О. Ференц, А. С. Лин**
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ
ТОВЩИНИ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ
ПЕРЕДІЛКИ НАВКОЛО ПЕЧЕЙ ТА
ДИМОХОДІВ В БУДІВЛЯХ З
ГОРЮЧИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ
КОНСТРУКЦІЯМИ

77

**S. Ya. Vovk, O. Y. Pazen,
N. O. Ferents, A. S. Lyn**
DETERMINATION OF THE OPTIMAL
THICKNESS OF FIRE-RESISTANCE
PARTICULAR AROUND FURNACES
AND CHIMNEYS IN BUILDINGS
WITH COMBUSTIBLE BUILDING
STRUCTURES

**Р. В. Климаць, В. В. Ніжник,
Ю. Л. Фещук, І. Г. Стилик,
В. С. Некора, Л. П. Несенюк**
ЩОДО ОБМЕЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ
ПОЖЕЖ ПІД ЧАС АВАРІЙ НА
ТРАНСФОРМАТОРНОМУ
ОБЛАДНАННІ

85

**R. V. Klymas, V. V. Nizhnyk,
Yu. L. Feshchuk, I. G. Stylyk,
V. S. Nekora, L. P. Nesenuk**
RESTRICTING THE SPREAD
OF FIRE DURING ACCIDENTS
ON TRANSFORMER EQUIPMENT

**В. В. Ковалишин, Н. Р. Великий,
Вол. В. Ковалишин, Т. М. Войтович,
М. П. Сорочич**
ЗАСОБИ ОТРИМАННЯ ТА
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ
КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

94

**V. V. Kovalyshyn, N. R. Velykyi,
Vol. V. Kovalyshyn, T. M. Voitovich,
M. P. Sorochych**
MEANS OF OBTAINING AND
PROSPECTS OF USING
COMPRESSION FOAM

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

105

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

В. В. Ковалишин, Н. Р. Великий, Вол. В. Ковалишин, Т. М. Войтович, М. П. Сорочич
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЗАСОБИ ОТРИМАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

Пожежі класів А та В серед інших класів пожеж завдають значної матеріальної та екологічної шкоди. Найпоширенішою речовиною для гасіння пожеж класу А є вода, оскільки вона має високі показники теплоємності, теплоти пароутворення і низьку теплопровідність. Основний механізм вогнегасної дії води – охолодження зони горіння. При потраплянні в осередок пожежі вода охолоджує горючу речовину нижче за температуру займання. Також при поглинанні водою тепла утворюється пара, яка зменшує концентрацію кисню та продуктів горіння в зоні горіння.

У Німеччині, Австрії, США та інших країнах все більшої популярності набуває використання компресійної піни. Принцип дії системи для отримання такої піни – примусове введення повітря в розчин піноутворювача за допомогою компресора. Такі системи називаються “Compressed air foam system” (CAFS), які останнім часом набули широкого застосування в світі. Компресійній піні притаманна вогнегасна властивість води, хороша ізолювальна здатність горючих парів від зони реакції.

Вперше технологія для генерування компресійної піни була застосована у 1932 році у Данії. Вона використовувалася для гасіння пожеж на судах. Властивості цієї піни отримали позитивну оцінку та у 1944 році її почали використовувати у ВМС США. Зараз компресійна піна використовується для гасіння пожеж класу А і В та на об'єктах, де є небажаним затоплення водою і потрібна піна з хорошими адгезивними властивостями.

Мета. Метою статті є аналіз використання CAFS та розширення галузі застосування компресійної піни для гасіння нафтопродуктів підшаровим способом та при подаванні на поверхню.

Висновки. Згідно з проведеним аналізом можна зробити висновок, що системи з використання компресійної піни набирають стрімкого поширення, такі технології не передбачають використання великої кількості води і доволі широко застосовуються у багатьох країнах світу, зокрема, в Німеччині, Австрії, США, Великій Британії тощо. Основні переваги компресійної піни: менші затрати часу на гасіння пожежі, менші витрати води та піноутворювача води (2-5 рази) і піни (5-15 разів), можливість подавання піни на велику відстань, а також гасіння електрообладнання. Також слід зазначити, що компресійна піна значно легша, а тому це підвищує маневреність ствольщика, та дає змогу швидше змінити позицію. Також, при використанні цієї піни, завдяки низькому вмісту рідинної фази, зменшуються побічні матеріальні збитки при гасінні пожеж житлових будинків.

Є гіпотеза, що цей вид піни може використовуватись для подавання на поверхню горючої рідини, а також використовуватись для «підшарового» гасіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами. Використання компресійної піни «підшаровим» способом, як і подачею на поверхню не вивчене в Україні та за її межами, відсутні відповідні нормативні документи. У нашій гіпотезі передбачаємо, що компресійна піна буде швидко покривати поверхню і триматись довгий час на поверхні не руйнуючись, таким чином не давати горючим парам потрапляти в зону горіння, бути екраном між полум'ям та дзеркалом ЛЗР та ГР, охолоджувати нагріті поверхні. Компресійна піна має більшу стійкість ніж звичайна, повітряно-механічна піна (ПМП). Для підтвердження або спростування цієї гіпотези у майбутньому будуть проведені дослідження з гасіння пожеж у резервуарах з ЛЗР та ГР та визначення оптимальних концентрацій вітчизняних піноутворювачів (ПУ) для отримання компресійної піни.

Ключові слова: компресійна піна, газонаповнена піна, Compressed air foam system, ONE SEVEN, резервуари з нафтою.

V. V. Kovalyshyn, N. R. Velykyi, Vol. V. Kovalyshyn, T. M. Voitovych, M. P. Sorochych
Lviv State University of Life Safety

MEANS OF OBTAINING AND PROSPECTS OF USING COMPRESSION FOAM

Fires of classes A and B among other classes of fires cause significant material and environmental damage. The most common substance for extinguishing the fires of class "A" is water since it has high values of heat capacity, the heat of vaporization, and low thermal conductivity. The main mechanism of extinguishing water - cooling the combustion zone. When falling into the fire cell, water cools the combustible substance below the temperature of ignition. Also, in absorbing water, steam is formed, which reduces the concentration of oxygen and combustion products in the combustion zone.

In Germany, Austria, the United States and other countries, more popular is the use of compression foam. The principle of the action of the system to get such a foam is compulsory entering air into the foaming agent solution by the compression. Such a system is called "Compressed air foam systems" (CAFS), which have recently become widespread in the world. Compression foam has external water effects, good insulating capacity of combustible vapours from the reaction zone.

For the first time, the technology for generating compression foam was used in 1932 in Denmark. It was used to extinguish fires on ships. The properties of this foam received a positive assessment, and in 1944 it began to use it in the US Navy. Now compression foam is used to extinguish the fires of class A and B and on objects where there is undesirable water flooding however foam with good adhesive properties is required.

Purpose. The purpose of the article is to analyse the use of CAFS and expansion of the field of compression foam for extinguishing petroleum products in a substrate method and when submitted to the surface.

Conclusions. According to the analysis, it can be concluded that systems for the use of compression foam are gaining rapid spread, such technologies do not provide for the use of a large amount of water and are quite widely used in many countries of the world, in particular in Germany, Austria, the United States, United Kingdom, etc. The main advantages of compression foam: smaller costs of fire extinguishing, less water consumption and water foaming (2-5 times) and foams (5-15 times), the possibility of foaming for a high distance, as well as extinguishing electrical equipment. It should also be noted that compression foam is much easier, and therefore, it increases the manoeuvrability of the Creation and allows you to change the position faster. Also, with the use of a given foam, due to the low content of the liquid phase, side material damage is reduced at extinguishing fires of residential buildings.

There is a hypothesis that this type of foam can be used to feed on the surface of the combustible fluid as well as used for the "sublayer" extinguishing of oil and petroleum product reservoirs. The use of compression foam with a "substrate" way, as well as the supply to the surface is not studied in Ukraine and abroad, there are no relevant normative documents. In our hypothesis, we anticipate that compression foam will quickly cover the surface and hold a long time on the surface without collapsing, thus not giving combustible couples to fall into the combustion zone. To be a screen between flame and mirror LZR and GR, cool the heated surfaces. Compression foam has more excellent stability than the usual air-mechanical foam (PMP). To confirm or refute this hypothesis, research will be conducted, extinguishing fires in LZR and GR reservoirs and determination of optimal concentrations of domestic foaming agents (PU) to obtain compression foam.

Keywords: compression foam, gas-filled foam, compressed Air Foam System, One Seven, Oil Reservoirs.

Вступ. Кожного року в Україні набуває актуальності проблема запобігання та ліквідації пожеж. Збільшується виробництво і використання нафти та нафтопродуктів, для яких необхідно забезпечити пожежну безпеку під час транспортування, зберігання та використання.

Провівши аналіз літературних джерел, можна встановити, що приблизно 90 % пожеж припадає на вертикальні резервуари сталеві. На горіння нафти припадає від третини до чверті, а на горіння бензину – близько половини випадків. В 60% випадків на початковому етапі спостерігається вихід з ладу автоматичних систем пожежогасіння.

Проаналізовано деякі дані з резервуарних пожеж в інших країнах. Щороку матеріальні збитки та кількість жертв від пожеж і вибухів стрімко зростають і досягають таких величин, що їх гасіння набуває важливого державного значення. Лише в США щорічні збитки від пожеж і вибухів сягають 5 млрд доларів. За кордоном для гасіння пожеж твердих речовин і матеріалів використовують спеціальні піноутворювачі (class A foam, піноутворювачі класу А), робоча концентрація яких становить 0,3-0,4%, що в 15-20 разів нижче від концентрації звичайних піноутворювачів, використовуваних для гасіння пожеж горючих і легкозаймистих рідин. Альтернативним способом отримання піни є примусове введення повітря в розчин піноутворювача за допомогою компресора. За кордоном такі системи називаються compressed air foam system (CAFS – піногенеруюча система зі стисненим повітрям, скорочено ПССП) або

технологія ONE SEVEN, які останнім часом набули значного поширення [1].

Аналіз досвіду застосування компресійної піни в США, Німеччині та Росії доводять, що піногенеруючі системи мають ряд переваг порівняно з традиційними технологіями пожежогасіння, а саме:

- ефективність (зменшення часу гасіння);
- менша витрата води (2-5 рази) і піноутворювача (6-10 разів);
- швидке зниження температури в зоні горіння;
- незначні пошкодження майна через вплив води;
- невеликий опір в трубопроводах;
- збільшення дальності подачі піни;
- висока стійкість та адгезія піни;
- невелика концентрація ПУ (до 0,3-0,4%) в розчині для отримання піни.

За останні роки в Україні майже вдвічі збільшилась тривалість ліквідації пожеж з 28-30 хв. до 53-55 хв. Вагомою причиною є значне зниження пропускної здатності вулиць спричинене значним збільшенням кількості автомобілів у населення, особливо у пікові години. Перевагу в цій ситуації мають більш маневрені малогабаритні автомобілі, але на жаль вони не мають можливості доставляти вогнегасні речовини у великих об'ємах. При застосуванні компресійної піни витрати води можна зменшити у 5-15 разів і завдяки її ефективності скоротити час гасіння пожежі у 5-7 разів. [2].

Метою статті є аналіз використання CAFS та розширення галузі застосування компресійної піни для гасіння нафтопродуктів підшаровим способом та при подаванні на поверхню.

Одна з наймасштабніших пожеж в Україні виникла 8 червня 2015 року на нафтобазі «БРСМ-нафта». До ліквідації пожежі було задіяно 939 чоловік та 117 одиниць техніки. Завдяки діям рятувальників у перші 12 годин вдалося запобігти розповсюдженню вогню за межі території нафтобазы, зокрема на поруч розташовану нафтобазу «КЛЮ», військову базу, де зберігалися боєприпаси.

Пожежа виникла у денний час доби. Через відсутність обвалування і щільне розташуванням резервуарів створилися умови для їх швидкого прогрівання, пошкодження, займання та виливу ЛЗР. На території нафтобазы були бензин, дизельне пальне, суміш некондиційних фракцій нафтопродуктів, газоподібний пропан.

На початковому етапі пожежі для проведення пінної атаки було недостатньо сил та засобів, а також недостатньо запасу ПУ. Лише через 3 години від повідомлення про пожежу вдалось забезпечити подавання розчину ПУ на місце розливу, а через 4 години проведено першу пінну атаку.

Перші пінні атаки позитивного результативними не було через постійне витікання ЛЗР з арматури та пошкоджених резервуарів, швидке розповсюдження пожежі та високу температуру.

КГП оголосив про повну ліквідацію пожежі лише 20 червня 2015 року.

Якщо підприємство було б забезпечене стаціонарною системою “підшарового” гасіння або мало б достатню кількість плівкоутворювального ПУ для проведення пінних атак на початкових стадіях пожежі, таких важкихнаслідків можна було б уникнути [1].

Компресійна піна генерується у спеціальних системах – CAFS (з англійської – compressed air foam system). Основними складовими елементами системи CAFS є пожежний насос, компресор (або балони з повітрям) і система регулювання подавання піноутворювача. Для отримання компресійної піни використовуються ті ж три складові (вода, піноутворювач і повітря), що й для генерування повітряно-механічної піни. Основною відмінністю системи CAFS є принцип змішування водного розчину піноутворювача, який у випадку створення компресійної піни відбувається не пасивно (ежекцією повітря струменем водного розчину піноутворювача), а активно – нагнітанням повітря у змішувальну камеру. На рис 1 наведено схему генерування компресійної піни [3].

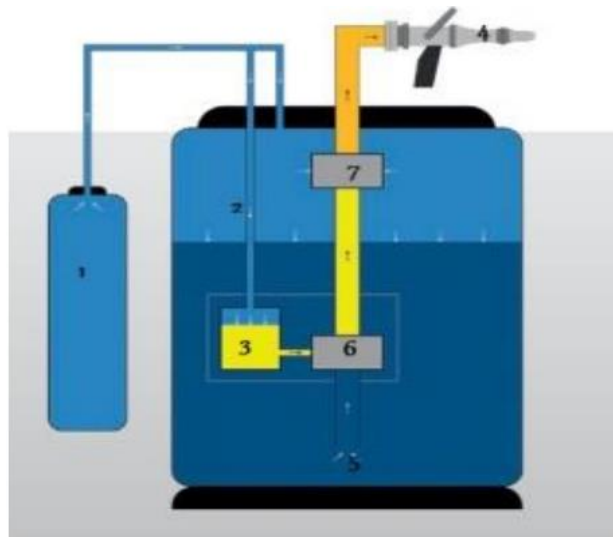


Рисунок 1 – Схема утворення компресійної піни:

- 1 – балон зі стисненим повітрям; 2 – ємність із водою; 3 – картридж із піноутворювачем;
- 4 – пожежний ствол; 5 – сифонна трубка;
- 6 – камера змішувача; 7 – камера з піногенеруючими вставками

Аналіз світових виробників засобів протипожежного призначення системи газонаповненої піни, наведення передового світового досвіду у даних розробках, порівняння досягнень у цій галузі.

Одним з найбільш відомих виробників систем газонаповненої піни є німецька фірма «ONE SEVEN» [4], яка володіє патентом на цю технологію та виготовляє стаціонарні та мобільні установки пожежогасіння.

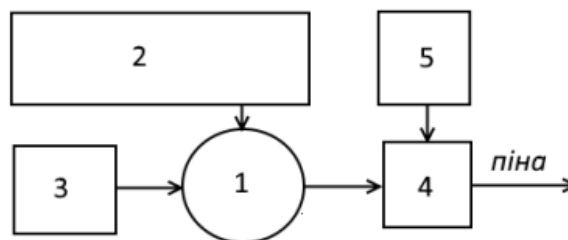


Рисунок 2 – Схема отримання газонаповненої піни:

- 1 – насос; 2 – цистерна для води; 3 – ємність з піноутворювачем; 4 – пінозмішувач; 5 – компресор (балони зі стисненим повітрям)

Системи «ONE SEVEN» генерують газонаповнену піну з вмістом піноутворювача в розчині у діапазоні від 0,3 до 1 %. При цьому співвідношення об'єму розчину піноутворювача до об'єму повітря у готовій піні становить 1:7, що й набуло відображено у назві технології. На рис. 3 зображено стаціонарну установку пожежогасіння «ONE SEVEN» [5].



Рисунок 3 – Стационарна установка пожежогасіння «ONE SEVEN»

На рис. 4 наведено принцип роботи цієї системи. Водяний насос подає водний розчин піноутворювача до піногенератора, до якого в свою чергу компресор нагнітає повітря. Живлення

елементів системи здійснює електричний блок, а блок керування відповідає за співвідношення води, піноутворювача та повітря. Від піногенератора вже готова піна рухається до споживачів.

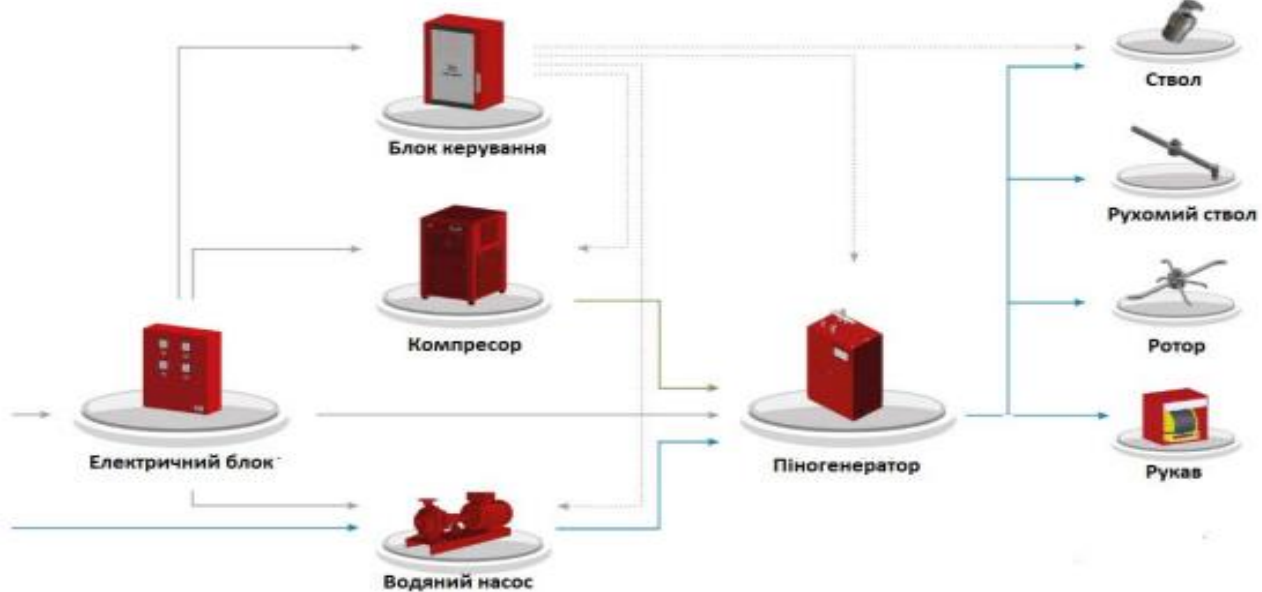


Рисунок 4 – Принцип роботи установки «ONE SEVEN»

Окрім наведеного, компанія «ONE SEVEN» виготовляє такі установки пожежогасіння [5]:

- Stored-Energy-Systeme – замкнена система з запасом води, піноутворювача та повітря дає можливість працювати до 10 хвилин при гасінні пожежі;
- Maxi-Xtinguisher – мала стаціонарна система із заздалегідь підготовленим водним розчином піноутворювача, що перебуває під тиском, характеризується швидким приведенням у дію;
- Wandhydranten WXS – стаціонарна настінна система пожежогасіння, що може бути

використана як альтернатива звичайним пожежним кранам, має рукав довжиною до 60 м та дальність подачі струменя піни до 15 м протягом 20 хвилин.

Технологія ONE SEVEN являє собою високоєфективний засіб пожежогасіння для використання якого потрібна лише незначна кількість води. «ONE SEVEN» широко використовується в багатьох країнах світу, зокрема, в Німеччині, Австрії, Франції, США, Великій Британії, Росії.

Австрійська компанія Rosenbauer має запатентовану технологію газонаповненої піни CAFS. Завдяки потужній технології гасіння, простоті

використання та безпеці застосування системи пінного гасіння стисненим повітрям CAFS є системою для універсального пожежогасіння. Завдяки різнобічному асортименту продукції для всіх можливих вимог знайдеться відповідне рішення та можна оснастити як невеликі муніципальні пожежні автомобілі, так і великі промислові пожежні автомобілі [6].

Компанія Rosenbauer – один з найбільших виробників систем CAFS. В майбутньому для отримання компресійної піни ми можемо орієнтуватись на різноманітні системи цієї фірми.

- **CAFSMOBILE** – можна використовувати на існуючій пожежних автомобілях із вбудованим насосом та системою дозування піни. Це оптимальна система для отримання компресійної піни для пожежного автомобіля [6].



Рисунок 5 – Система CAFS MOBILE

Система CAFS MOBILE легко модернізується завдяки тому, що працює незалежно від зовнішніх джерел енергії (двигун або силовий агрегат) та технічних систем (вбудований насос, система дозування піни або компресор), а також завдяки малій площі, яку вона займає. Ця система підходить для безпосереднього гасіння пожеж класу А та В, а також для превентивного захисту об'єктів, схильних до ризику займання, шляхом нанесення піни CAF.

- **RFC CAFS Cube** – це незалежна система спінювання стисненого повітря, виконана у вигляді мотопомпового блока. Крім вологої та сухої піни на стисненому повітрі (DLS 400/1200), можна застосовувати чисту воду, а також змочувальний агент або суміш води та спіню вального агента. Встановлені в стаціонарному положенні або змонтовані на рулонному контейнері, пожежні

автомобілі без водяного насоса можуть бути легко оснащені системою піноутворення на стисненому повітрі [6].

- **CONTI CAFS 400-2400** – якщо потрібна універсальна система пожежогасіння, яка здатна впоратися з різними сценаріями розгортання, то гнучка система CONTI CAFS 400-2400 з потужною технологією пожежогасіння CAFS є оптимальною системою для пожежного автомобіля [6].

За фізичними параметрами (кратністю) компресійна піна буває трьох видів [2,3]: «мокра (wet)» $K = 1 - 5$, яка застосовується найчастіше для гасіння пожеж зовні приміщень; «рідка (fluid)» $K = 5 - 10$, яка застосовується для гасіння пожеж у приміщеннях, і «суха, або жорстка (dry or stiff)» $K = 10 - 20$, яку можна застосовувати для захисту поверхонь від теплового випромінювання (рис. 6).

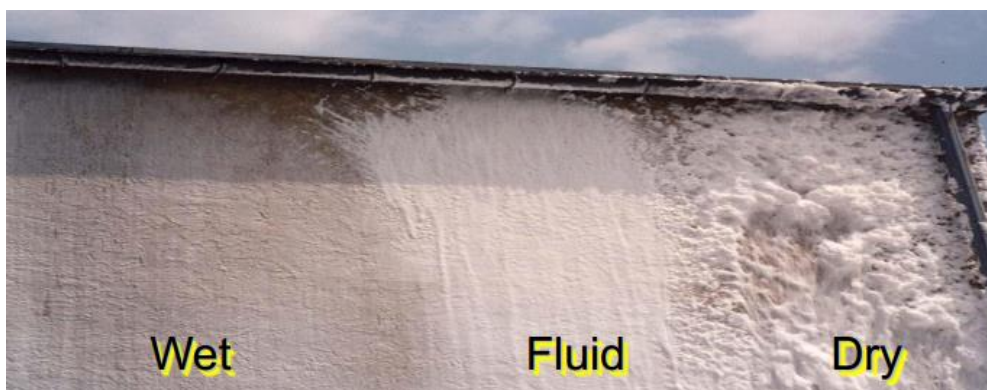


Рисунок 6 – Види компресійної піни

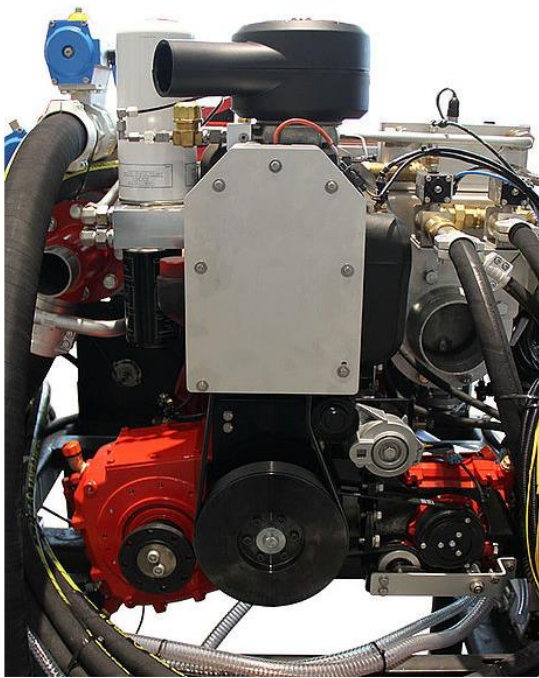


Рисунок 7 – Система CONTI CAFS 400-2400

- **FLASH CAFS 30-400** – якщо за дуже короткий час за допомогою лафета необхідно подати дуже велику кількість піни та подолати велику відстань, то FLASH CAFS 30-400 з

потужною технологією гасіння CAFS, спеціально розробленою для лафетів та призначеною для різних типів лафетів Rosenbauer, є оптимальною системою для пожежного автомобіля [6].



Рисунок 8 – Система FLASH CAFS 30-400

Особливості системи:

- використання будь-якого вбудованого насоса, а також системи попереднього змішування піни або системи дозування тиску піни;
- зручне керування за допомогою LCS (LogicControlSystem), а також легкий і швидкий запуск роботи CAFS;
- підходить для прямого гасіння твердих і рідких пожеж, а також для профілактичного захисту об'єктів, які піддаються ризику загоряння шляхом застосування піни CAF;
- простий процес гасіння, що економить вогнегасну речовину, завдяки піні CAF, яка прилипає до поверхні, що горить та випаровується з поверхонь, які ще гарячі;
- приблизно на 20% більший виліт і висота, ніж у звичайного ПМП;
- вища точність і краща видимість, ніж у звичайного процесу повітряної піни;

- мінімальні пошкодження від пожежі через негайне придушення полум'я, а також незначні пошкодження водою через повне випаровування води, пов'язаної з піною CAF;
- більша ємність вогнегасної речовини при тій же кількості води завдяки активному піноутворенню;
- зручне наповнення балонів зі стисненим повітрям через зовнішнє з'єднання.
- **SKYCAFS** – якщо вогнегасні речовини потрібно транспортувати на кілька сотень метрів вгору у багатоповерховому будинку і при цьому вони збережуть повну ефективність гасіння, тоді SKYCAFS, спеціально розроблений для висотної підйомності, з його потужною технологією гасіння CAFS є оптимальною системою гасіння для пожежної машини. **Може використовуватися для 99% усіх висотних будівель у всьому світі!** [6].

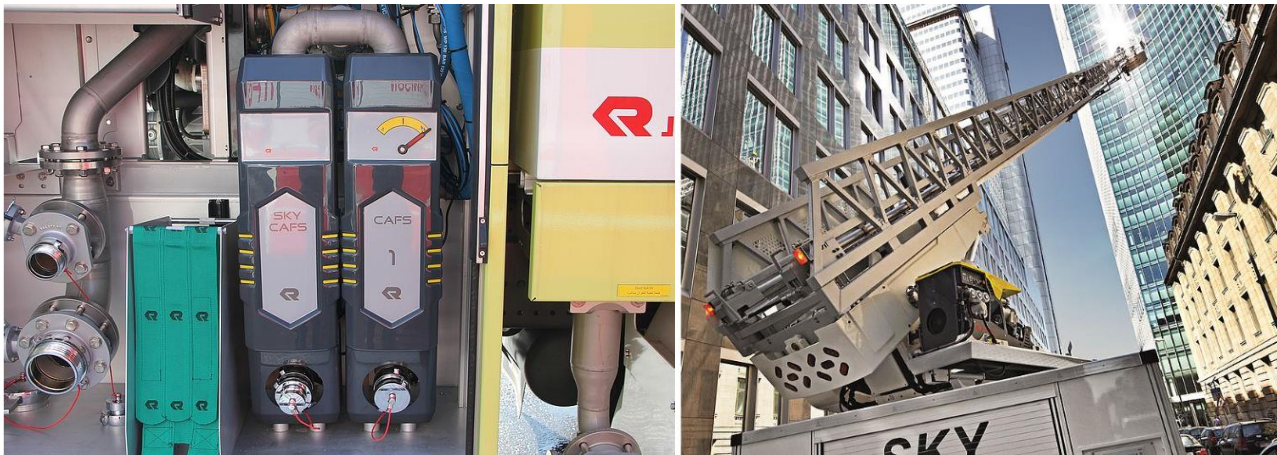


Рисунок 9 – Система SKYCAFS

Особливості системи:

- використання будь-якого вбудованого насоса, а також потужної системи дозування піни DIGIMATIC;
- індивідуальний вибір із широкого асортименту різноманітних систем для генерації стисненого повітря;
- зручне управління за допомогою LCS (Logic Control System), а також легкий і швидкий запуск роботи CAFS шляхом активації трьох кнопок;
- підходить для прямого гасіння твердих і рідких пожеж, а також для профілактичного захисту об'єктів, які піддаються ризику загоряння шляхом застосування піни CAF;
- виняткова довжина та висота транспортування (до 400 метрів) завдяки шлангам, заповненим піною CAF;
- велика безпечна відстань між користувачем і пожежею, а також гасіння пожежі у

важкодоступних місцях завдяки чудовій дальності подавання та висоті викиду піни CAF;

- мінімальні пошкодження від пожежі через негайне придушення полум'я, а також незначні пошкодження водою через повне випаровування води, пов'язаної з піною CAF;
- можливість отримати велику кількість вогнегасної речовини при тій же кількості води завдяки активному піноутворенню.

Систему SKYCAFS можна використати для гасіння резервуарів при подачі піни на поверхню.

Застосування компресійної піни в Україні на даний час мало вивчене і не використовується в повсякденній роботі пожежників. Вивченням питань отримання піни CAFS займалися вчені УкрНДІЦЗ та НУЦЗУ, що описано в їх роботах [3, 5, 7]. Але всі ці системи випробувались на невеликих модельних вогнищах. НДР не закінчилися розробкою нормативних документів з використання систем CAFS, системи промислово не виготовляються.

Розглянемо застосування CAFS на прикладі російської системи NATISK, яка розроблена заводом пожежних автомобілів «Спецавтотехника» у 2011 році.

Чим NATISK відрізняється від систем CAFS:

- у NATISK реалізовані інші, відмінні від західних CAFS-установок, алгоритми роботи;
- NATISK працює з використанням 1-відсоткового піноутворювача.

Стандартний набір компонентів системи:

- відцентровий насос;
- вододжерело;
- бак із піноутворювачем;
- повітряний компресор;

- система безпосереднього впорскування піноутворювача в насос;
- змішувальна камера або пристрій;
- система управління для контролю правильності пропорцій води, повітря та піноутворювача.

Автоцистерна з великою ємністю для води – може багаторазово посилити свою бойову міць завдяки подаванню компресійної піни, а економна витрата води дасть змогу працювати без дозаправки тривалий час.

Був проведений експеримент з гасіння автомобільних шин із застосуванням води та компресійної піни із визначенням часу ліквідації та витрати вогнегасних речовин [8].



Рисунок 10 – Підготовка автомобільних шин для гасіння за допомогою води (ліворуч) та компресійної піни (праворуч)

Одночасно було подано два стволі на гасіння. Через один із стволів подавалась вода, через інший – компресійна піна. Результати щодо

затрат часу на гасіння автомобільних шин можна побачити на рисунку 11 [8].



Рисунок 11 – Час ліквідації пожежі автомобільних шин за допомогою води (ліворуч) та компресійної піни (праворуч)

Результати щодо витрат вогнегасних речовин можна побачити на рисунку 12 [8].



Рисунок 12 – Витрати вогнегасних речовин на гасіння автомобільних шин

Отже, за результатами цього експерименту ми можемо встановити, що пожежник, який подавав компресійну піну на гасіння, справився із поставленим завданням у 5 разів швидше ніж той, який подавав воду. Перший використав всього 50 грам піноутворювача і у 15 разів менше води.

Також був проведений інший експеримент, щоб побачити як компресійна піна справиться із гасінням загоряння дизельного палива. У спеціальну посудину помістили 150 літрів дизельного палива та підпалили (рис. 13) [8].



Рисунок 13 – Експериментальна посудина із дизельним паливом

Через декілька секунд подали ствол із компресійною піною, результат гасіння – на рис. 14.



Рисунок 14 – Результат гасіння посудини із дизельним паливом за допомогою компресійної піни

З цього експерименту ми бачимо, що компресійна піна достатньо швидко справляється із поставленим завданням (23 с), і з мінімальними витратами (5 літрів води та 50 грам однопроцентного піноутворювача загального призначення) [8].

За результатами проведеного аналізу ми визначили, що вказані системи достатньо актуальні і використовуються для гасіння різних пожеж (в житловий сектор, лісові пожежі, промислові об'єкти). Проблемою для нас є недоступність використання цих технологій в Україні, тому в даний час це питання є надзвичайно актуальне, адже системи з використання компресійної піни значно зменшують час гасіння, та в разі зменшують побічні матеріальні збитки, оскільки ця піна має вищий показник адгезії, що дозволяє їй «приклеїтись» до поверхні, на відміну від води, яка розтікається по всій площі та у нижні поверхи. Дослідженням цих систем в Україні займалися А.І. Кодрик, О.М. Тітенко, С.А. Виноградов, С.М. Шахов та ін. [5, 9, 10]. Всі вони вивчали способи отримання піни і її ефективність при гасінні по поверхні модельних вогнищ класу А та В. Але ніхто з дослідників не використовував компресійну піну для підшарового гасіння або гасіння резервуарів по поверхні з використанням систем CAFS. У [7, 11, 12] автори розглядають можливість для гасіння резервуарів різних систем підшарового пожежогасіння з використанням піноутворювачів AFFF та піноутворювачів загального призначення, але в цих роботах компресійна піна не використовувалась. У нашій гіпотезі передбачаємо, що компресійна піна буде швидко покривати поверхню і триматись довший час на поверхні не руйнуючись, бути екраном між полум'ям та дзеркалом ЛЗР та ГР, і таким чином не давати горючим парам потрапляти в зону горіння. Компресійна піна має більшу стійкість ніж звичайна повітряно-механічна піна.

Висновки

1. Згідно з проведенням аналізом можна зробити висновок, що системи з використання компресійної піни набирають стрімкого поширення, такі технології не передбачають використання великої кількості води і доволі широко застосовуються у багатьох країнах світу, зокрема, в Німеччині, Австрії, США, Великій Британії тощо.

2. Основні переваги компресійної піни: менші затрати часу на гасіння пожежі, менші витрати води та піноутворювача води (2-5 рази) і піни (5-15 разів), можливість подавання піни на велику відстань, а також гасіння електрообладнання. Також слід зазначити, що компресійна піна значно легша, тому це підвищує маневреність ствольщика, та дає змогу швидше змінювати позицію. Також, при використанні цієї піни, завдяки низькому вмісту рідинної фази, зменшуються побічні матеріальні збитки під час гасіння пожеж житлових будинків.

3. На сьогодні, Україна не має відповідного вітчизняного чи імпортного обладнання на оснащенні пожежно-рятувальних підрозділів, немає також відповідних методичних рекомендацій з використання компресійної піни.

4. Є гіпотеза, що цей вид піни може використовуватись для подавання на поверхню горючої рідини, а також використовуватись для «підшарового» гасіння резервуарів нафти та нафтопродуктів. Використання компресійної піни «підшаровим» способом, як і подаванням на поверхню, не вивчене в Україні та за її межами, відсутні відповідні нормативні документи. Для підтвердження або спростування цієї гіпотези у майбутньому будуть проведені дослідження з гасіння пожеж у резервуарах з ЛЗР та ГР та визначено оптимальні концентрації вітчизняних ПУ для отримання компресійної піни.

Список літератури:

1. Войтович Т.М. Вдосконалення технології «підшарового» пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами: дис.... докт. філос. (PhD). Львів, 2020. Режим доступу: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/svr/razovi/disertaciya_voytovich_t.m.pdf.

2. ДСНС, Звіти за результатами науково дослідних робіт за напрямом реагування на надзвичайні ситуації «Звіт про дослідно-конструкторську роботу розроблення технічного засобу пожежогасіння компресійною піною та дослідження його характеристик. Розділ 6. Ч.1». Режим доступу: https://www.dsns.gov.ua/files/2021/7/9/%D0%9F%D1%96%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%96%D0%B1_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%96%D0%BB_6.pdf.

3. Шахов С.М. Підвищення ефективності використання компресійної піни для гасіння пожеж класу А»: дис.... докт. філос. (PhD). Харків, 2020. С. 38-40. Режим доступу:

https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/spetsializovani-vcheni-rady/261/003/shahov_an.pdf;

4. One seven [Електронний ресурс]. Oneseven. Режим доступу: <http://www.oneseven.com/>

5. Виноградов С.А., Шахов С.М., Присяжнюк В.В. Розробка системи пожежогасіння газонаповненою піною». Сборник научных трудов. Вып. 42, 2017. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/12266/1/%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%A0%D0%9E%D0%91%D0%9A%D0%90%20%D0%A1%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%95%D0%9C%D0%98%20%D0%9F%D0%9E%D0%96%D0%95%D0%96%D0%9E%D0%93%D0%90%D0%A1%D0%86%D0%9D%D0%9D%D0%AF%20%D0%93%D0%90%D0%97%D0%9E%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%95%D0%9D%D0%9E%D0%AE%20%D0%9F%D0%86%D0%9D%D0%9E%D0%AE.pdf>.

6. Leistungsstark. Einfach. Sicher [Електронний ресурс] // Rosenbauer. - Режим доступу: <https://www.rosenbauer.com/de/int/world/produkte/loeschsysteme/cafs-systeme>.

7. Ковалишин В. В., Васильєва О. Е., Козяр Н. М. Пінне гасіння. Львів: Сполом. 2007.

8. Система пожаротушения компрессионной пеной NATISK [Електронний ресурс] // NATISK. Режим доступу: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sistema-pozharotusheniya-kompressionnoj-penoi-natisk-harakteristiki-i-vozmozhnosti/>.

9. Нікулін О. Ф., Кодрик А.І., Тітенко О.М., Виноградов С.А., Шахов С.М. Функціонально-фізична схема установки для генерації компресійної піни. Харків, (2018). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8260>;

10. Титаренко А. В. Газонаповнена піна – ефективний засіб пожежогасіння лісових пожеж». Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вип. 25.9. С. 246-250. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2015_25.9_41.

11. Войтович Т. М., Ковалишин В. В., Новіцький Я. М., Войтович Д. П., Пастухов П. В., Фірман В. М. Вплив параметрів руху затоплених пінних струменів на «підшарове» гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами». Східно-Європейський журнал передових технологій. Vol. 3. № 10 (105) (2020): Екологія. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206032>.

12. Войтович Т. М., Ковалишин В. В., Чернецький В. В. Особливості проектування і розрахунку системи “підшарового” гасіння. Пожежна безпека: збірник наукових праць. ЛДУБЖД, 2019. Вип. 34. С. 21-27. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2019_34_6.

References:

1. Voitovych T. M. Improvement of the Subsurface Extinguishing Technology in Tanks with Petroleum Products. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript, Lviv. 2020. Accessed mode: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/svr/razovi/disertaciya_voytovich_t.m.pdf.
2. DSNS, Reports on the results of research work in the field of emergency response «Report on research and development work on the development of technical means of fire extinguishing with compression foam and the study of its characteristics Section 6 of Part 1». Accessed mode: https://www.dsns.gov.ua/files/2021/7/9/%D0%9F%D1%96%D0%BD%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%96%D0%B1_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%96%D0%BB_6.pdf
3. Shakhov S. M. Improving the efficiency of use of compressed air foam for extinguishing class A fire». Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Kharkiv, 2020. Accessed mode: https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/spetsializovani-vcheni-rady/261/003/shahov_an.pdf.
4. Oneseven [Electronic recourse]. Oneseven. Accessed mode: <http://www.oneseven.com/>;
5. Vinogradov S. A., Shakhov S. M., Prysyazhniuk V. V. Development of a Compressed Air Foam System. Collection of scientific papers. Is. 42, 2017. Accessed mode: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/12266/1/%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%A0%D0%9E%D0%91%D0%9A%D0%90%20%D0%A1%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%95%D0%9C%D0%98%20%D0%9F%D0%9E%D0%96%D0%95%D0%96%D0%9E%D0%93%D0%90%D0%A1%D0%86%D0%9D%D0%9D%D0%AF%20%D0%93%D0%90%D0%97%D0%9E%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%95%D0%9D%D0%9E%D0%AE%20%D0%9F%D0%86%D0%9D%D0%9E%D0%AE.pdf>;
6. Leistungsstark. Einfach. Sicher [Electronic recourse]. Rosenbauer. Accessed mode: <https://www.rosenbauer.com/de/int/world/produkte/loeschsysteme/cafs-systeme>;
7. Kovalyshyn V. V., Vasileva O. E., Koziar N. M. Pinne gasinia (Foam quenching). Lviv: Spolom. 2007
8. Compression foam fire extinguishing system NATISK [Electronic recourse]. NATISK - Accessed mode: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sistema-pozharotusheniya-kompressionnoj-pennoj-natisk-harakteristiki-i-vozmozhnosti/>;
9. Nikulin O. F., Kodrik A. I., Titenko O. M., Vinogradov S. A., Shakhov S. M. Functional physical scheme of the installation for the generation of compressed air foam. Kharkiv, 2018. [Electronic recourse]. Accessed mode: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8260>;
10. Tytarenko A. V. Compressed Air Foam as an Efficient Method for Wildfire Extinguishing. Scientific bullet in NUFU of Ukraine. 2015. Out. 25.9. P. 246-250. Accessed mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2015_25.9_41;
11. Voitovych T. M., Kovalyshyn V. V., Novitskyi Y. M., Voytovych D. P., Pastukhov P. V., V. M. Firman. Influence of flooded foam jets' motion parameters on subsurface extinguishing of fires in tanks with petroleum products. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020 Vol. 3/10(105): Ecology. Accessed mode: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206032>;
12. Voitovych T. M., Kovalyshyn V. V., Chernetskyi V. V. Design and calculation specifics of the subsurface fire extinguishing system. Fire Safety. 2019. Vol. 34. P. 21-27. Accessed mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2019_34_6.

* Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 02.12.2021 р.