



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,
АНГЛІЙСЬКОЮ ТА ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

ЛДУ БЖД

№ 43, 2023

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; **Вовк С.Я.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Гащук П.М.**, д.т.н., проф., 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; **Попович В.В.**, д.т.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., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Ренкас А.А.**, к.т.н., 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: 10.32447/20786662.43.2023.00

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 № 4 від .19.12.2023 р.)**

Літературний редактор Падик Г.М.

Технічний редактор Сорочич М.П.

Комп'ютерна верстка Беген Д.А.

Друк Петролюк Н.І.

Відповідальний за друк Войтович Т.М.

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 26.12.2023. Підписано до друку 27.12.2023.
Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 15,58.
Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.

Наклад: 100.

Друк: ЛДУ БЖД
вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

***І. І. Адольф, В. І. Товарианський,
В. Л. Петровський***

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ НА
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ШВЕЙНО-
ВИРОБНИЧІ ДІЛЯНКИ, ЕКРАНОВАНІ
ЗАХИСНИМИ ПАНЕЛЯМИ

6

***I. I. Adolf, V. I. Tovarianskyi
V. L. Petrovskyi***

STUDY OF THE EFFECT OF FIRE ON
EXPERIMENTAL SEWING AND
PRODUCTION AREAS SCREENED
WITH PROTECTIVE PANELS

***В. М. Баланюк, В. С. Мирошкін,
Н. І. Гузар, О. І. Гарасим'юк,
Ю. О. Копистинський***

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ВІДКРИТИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЯХ
ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ
ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ

13

***V. M. Balanyuk, V. S. Myroshkin,
N. I. Huzar, O. I. Garasim'yuk,
Yu. O. Kopistinsky***

INCREASING THE EFFICIENCY OF
FIRE EXTINGUISHING AT OPEN
ELECTRICAL SUBSTATIONS BY
USING FIRE EXTINGUISHING
AEROSOLS

***Т. Г. Бережанський, О. Ю. Пазен,
В. В. Придатко***

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДУМОВ
СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО
ПРИСТРОЮ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ
РЯТУВАЛЬНИКА

21

***T. H. Berezhanskyi, O. Yu. Pazen,
V. V. Prydatko***

RESEARCH OF THE PRECONDITIONS
FOR THE CREATION OF AN AUTOMATIC
ELECTRICAL SAFETY DEVICE FOR THE
RESCUER

Т. Г. Бережанський, М. І. Пашечко
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВТОРИННИХ ПОКРИТТІВ НА
ЕЛЕМЕНТАХ МЕХАНІЗОВАНОГО
ПЕРЕНОСНОГО ПОЖЕЖНОГО
ІНСТРУМЕНТУ

28

T. H. Berezhanskyi, M. I. Pashechko
RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF
SECONDARY COATINGS ON FIRE
EQUIPMENT AND COMPONENTS OF
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

***Н. Р. Великий, В. В. Ковалишин,
Т. М. Войтович, П. В. Пастухов***
ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА
КРАТНОСТІ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

34

***N. R. Velykyi, V. V. Kovalyshyn,
T. M. Voitovych, P. V. Pastukhov***
RESEARCH OF STABILITY AND
EXPANSION OF COMPRESSION FOAM

***Т. М. Войтович, В. В. Ковалишин,
О. П. Войтович***
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
КАРБОЗОЛІНУ ТА
ОКСИЕТИЛДЕНДИФОСФОНОВОЇ
КИСЛОТИ НА КОРОЗІЙНУ
АКТИВНІСТЬ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ

41

***T. M. Voitovych, V. V. Kovalyshyn,
O. P. Voitovych***
RESEARCH ON THE INFLUENCE OF
CARBOZOLINE AND ETIDRONIC ACID
ON THE CORROSION ACTIVITY OF
FOAM CONCENTRATE SOLUTIONS

**А. Ф. Гаврилюк, Р. С. Яковчук,
М. В. Лемішко**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОЇ БАТАРЕЇ TESLA
MODEL S НА ПРЕДМЕТ ПОЖЕЖНОЇ
НЕБЕЗПЕКИ

50

**A. F. Gavryliuk, R. S. Yakovchuk,
M. V. Lemishko**

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE
ELEMENTS OF THE TESLA MODEL S
POWER BATTERY ON THE SUBJECT OF
FIRE HAZARD

О. І. Казітін, Р. Б. Веселівський
ОБґРУНТУВАННЯ ПРОЦЕДУРИ
ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ЗБІРНИХ
СИСТЕМ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ
НА ПОШИРЕННЯ ВОГНЮ

63

O. I. Kahitin, R. B. Veselivskyi
SUBSTANTIATION OF THE PROCEDURE
FOR TESTING COMBINED FACADE
THERMAL INSULATION SYSTEMS FOR
FIRE SPREAD

**О. І. Лавренюк, Р. І. Гушчак,
Б. М. Михалічко**
ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ КУПРУМ(ІІ)
ФЛУОРИДУ НА ГОРЮЧИСТЬ
МЕТАЛКООРДИНОВАНИХ
ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ

76

**O. I. Lavrenyuk, R. I. Hushchak,
B. M. Mykhalichko**
FEATURES OF THE INFLUENCE OF
COPPER (II) FLUORIDE ON THE
COMBUSTIBILITY OF METAL-
COORDINATED EPOXY-AMINE
COMPOSITES

**О. В. Лазаренко, В.-П. О. Пархоменко,
А. В. Бесєда**
ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ОБЛАШТУВАННЯ ПАРКУВАЛЬНОГО
МІСЦЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ДЛЯ
ЗАПОБІГАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЮ
ГОРІННЯ НА ЗАКРИТОМУ ПАРКІНГУ

82

**O. V. Lazarenko, V.-P. O. Parkhomenko,
A. V. Beseda**
JUSTIFICATION OF ELECTRIC CAR
PARKING SPACE PARAMETERS FOR
PREVENTING THE SPREAD OF
COMBUSTION IN A CLOSED
PARKING LOT

В. І. Лушч, Ю. І. Панчишин
ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА
ГАЗОДИМОЗАХИСНИКА ПІД ЧАС
ПРОВЕДЕННЯ ЗМАГАННЯ НА КРАЩУ
ЛАНКУ ГАЗОДИМОЗАХИСНОЇ
СЛУЖБИ

88

V. I. Lushch, Yu. I. Panchyshyn
STUDY OF THE EFFECT OF FIRE ON
EXPERIMENTAL SEWING AND
PRODUCTION AREAS SCREENED
WITH PROTECTIVE PANELS

**І. А. Оношко, А. П. Кушнір,
С. Я. Вовк, В. А. Кобко**
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ
ПІДВИЩЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО
ЗАХИСТУ АВІАЦІЙНИХ АНГАРІВ
ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ
ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ
ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ

99

**I. A. Onoshko, A. P. Kushnir,
S. Ya. Vovk, V. A. Kobko**
ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES
OF INCREASING AIRCRAFT
HANGAR'S FIRE SAFETY BY
MEANS OF IMPROVING HIGH-
TECHNOLOGICAL FIRE DETECTION
SYSTEMS

Ю. Е. Павлюк, В. В. Шарий, Б. В. Снігур
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
В ТОРГОВО-РОЗВАЖАЛЬНИХ
ЗАКЛАДАХ

113

Yu. E. Pavluk, V. V. Sharyy, B. V. Snihur
STUDY OF THE EFFECT OF FIRE ON
EXPERIMENTAL SEWING AND
PRODUCTION AREAS SCREENED
WITH PROTECTIVE PANELS

***В. В. Придатко, Д. О. Чалий,
О. В. Придатко, В. А. Кобко***
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА
ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗОН
ОБСЛУГОВУВАННЯ РЯТУВАЛЬНИХ
ПІДРОЗДІЛІВ

А. А. Ренкас
МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ
ПОЖЕЖНИХ АВТОЦИСТЕРН НА
ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ
НЕСПРАВНОСТЕЙ

***Н. Ю. Соляник, О. Б. Назаровець,
Ю. І. Рудик***
ВИПРОБУВАННЯ З'ЄДНУВАЧІВ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗА
ТЕРМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

***Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен,
В. Л. Петровський***
ВПЛИВ ТОВЩИНИ OSB/3 ПЛИТИ НА
ПОКАЗНИКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Marek Chmiel
WPŁYW NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH
I AUTOMATYKI STOSOWANYCH W
DRZWIACH PRZECIWPOŻAROWYCH
NA BEZPIECZEŃSTWO EWAKUACJI
OSÓB Z BUDYNKU PODCZAS POŻARU

Roman Kaźmierczak, Marek Chmiel
SZKLANE PRZEGRODY W OCHRONIE
PRZECIWPOŻAROWEJ W
BUDOWNICTWIE

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

123 ***V. V. Prydatko, D. O. Chalyy,
O. V. Prydatko, V. A. Kobko***
ANALYTICAL REVIEW OF THE
METHODS AND PARAMETERS OF
OPTIMIZING THE SERVICE ZONES
OF RESCUE UNITS

137 ***A. A. Renkas***
THE METHOD OF INCREASING THE
OPERATIONAL RELIABILITY OF
FIRE TRUCKS BASED ON THE
ANALYSIS OF THEIR
MALFUNCTIONS

144 ***N. Yu. Solyanyk, O. B. Nazarovets,
Yu. I. Rudyk***
PHOTOVOLTAIC SYSTEM
CONNECTORS TESTING DYE
THERMAL INDICATORS OF FIRE
SAFETY

153 ***Y. O. Terletskyi, O. Y. Pazen,
V. L. Petrovskyi***
INFLUENCE OF OSB/3 BOARD
THICKNESS ON FIRE DANGER
INDICATORS

158 ***Marek Chmiel***
THE IMPACT OF ELECTRIC DRIVES
AND AUTOMATION USED IN FIRE-
PROOF DOORS ON THE SAFETY OF
EVACUATION OF PEOPLE FROM
THE BUILDING DURING A FIRE

170 ***Roman Kaźmierczak, Marek Chmiel***
GLASS PARTITIONS FOR FIRE
PROTECTION IN CONSTRUCTION

183 **INFORMATION ABOUT
THE AUTHORS**



Н. Р. Великий, В. В. Ковалишин, Т. М. Войтович, П. В. Пастухов
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7967-4491> – Н. Р. Великий
<https://orcid.org/0000-0002-5463-0230> – В. В. Ковалишин
<https://orcid.org/0000-0002-6375-6548> – Т. М. Войтович
<https://orcid.org/0000-0002-3140-1101> – П. В. Пастухов
 nvelukuy6@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА КРАТНОСТІ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

Проблема. Підвищення ефективності гасіння різного роду пожеж є актуальною проблемою для пожежників-рятувальників України та всього світу. Кожного дня пожежні-рятувальники застосовують різноманітні засоби для гасіння пожеж, порятунку людей, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Однак, сучасні реалії потребують вдосконалення цих засобів. Війна в Україні змінила погляди на низку стратегій з ліквідації пожеж та рятування людей. Саме тому пожежні підрозділи в Україні потребують модернізації техніки, пожежно-технічного оснащення, а також засобів пожежогасіння. Особливу увагу слід приділити нафтовій промисловості. По нафтових резервуарах бувають влучання ракет, внаслідок чого відбувається руйнування резервуарів, вилив нафтопродуктів у великій кількості та може розпочатись масштабна пожежа. Пожежі у резервуарах з нафтою і нафтопродуктами є одними з найскладніших для гасіння. Вони характеризуються величезними матеріальними і екологічними збитками, небезпекою для життя та здоров'я людей [1]. Наслідки такої ситуації ми спостерігали 26 березня 2022 року на нафтобазі у Львові по вулиці Пластовій, на якій розташовано 30 резервуарів різних розмірів та об'ємів. В цей день по зазначеній нафтобазі було задано ракетного удару зі сторони країни-агресорки, внаслідок чого було знищено декілька з них та відбувся витік нафтопродуктів із подальшим загоранням. Загальна площа пожежі становила понад 3000 м². Пожежу вдалось загасити лише через 14 годин. Із засобів пожежогасіння було використано воду та повітряно-механічну піну у великих кількостях. Цей випадок показав, що потрібно впроваджувати нові засоби пожежогасіння або придивитись до тих, які вже певний час активно використовуються закордонними пожежниками. Одним із таких засобів є системи для генерування та подачі компресійної піни, які вже здобули популярність в країнах Європи та США. В Україні такі системи підрозділами ДСНС України не використовуються. Тому розробка систем пожежогасіння компресійною піною та технології їх застосування відповідає інноваційним напрямкам розвитку ДСНС України [2]. Піногенеруюча система із стисненням повітрям (CAFS) – це система, яка використовується в пожежогасінні для подачі вогнетривкої піни для гасіння пожеж або захисту ділянок, що не горять [3,4]. Тому ми провели дослідження з визначення властивостей піноутворювача та подаванням компресійної піни під шар дизельного палива.

Мета. Метою роботи є визначення впливу рідини (вода, бензин, дизель) на руйнування піни при «підшаровому» подаванні та при подаванні на поверхню.

Методи дослідження. У роботі використовувалися методи аналітичних досліджень використання піни для гасіння пожеж. Методи з визначення показників якості піни, кратності та стійкості.

Основні результати досліджень. В цих дослідженнях компресійна піна показала високу стійкість при взаємодії з дизельним паливом та бензином. Під стійкістю піни розуміють її здатність до збереження своєї структури протягом певного проміжку часу.

Висновки. За результатами досліджень можна зробити висновок, що компресійна піна, згенерована на основі піноутворювача «Барс S-2», має хорошу стійкість та кратність. При взаємодії компресійної піни з дизельним паливом ми побачили, що піна повністю тримається на поверхні пального та не руйнується тривалий час (14285 с при подаванні на шар дизельного пального та 2621 с при подаванні під шар). При взаємодії з бензином компресійна піна має дещо слабшу дію (приблизно у 30 разів меншу стійкість при подаванні на шар бензину та у 6 разів меншу стійкість при подаванні під шар), ніж при взаємодії з дизельним паливом. Ці результати показали можливість використання компресійної піни для «підшарового» гасіння. Станом на сьогодні в пожежно-рятувальних підрозділах України відсутнє відповідне вітчизняне обладнання для подавання компресійної піни, відсутні методичні рекомендації з її використання. «Підшаровий» спосіб гасіння не вивчений в Україні та за її межами, відсутні відповідні нормативні документи. З метою визначення ефективності гасіння компресійною піною в умовах пожежі необхідно провести дослідження з гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами «підшаровим» методом та визначити основні вогнегасні властивості піни.

Ключові слова. Компресійна піна, CAFS, резервуари нафти, дизельне паливо, бензин, нафтопродукти.

RESEARCH OF STABILITY AND EXPANSION OF COMPRESSION FOAM

Introduction. Increasing the efficiency of extinguishing various types of fires is an urgent problem for firefighters-rescuers of Ukraine and the whole world. Every day, firefighters and rescuers use a variety of means to extinguish fires, save people, and eliminate the consequences of emergencies. However, modern realities require the improvement of these means. The war in Ukraine changed views on some firefighting and rescue strategies. That is why fire departments in Ukraine need modernisation of equipment, fire-technical equipment, as well as fire-extinguishing means. Special attention should be paid to the oil industry. Rockets hit oil tanks, as a result of which tanks are destroyed, oil products spill out in large quantities, and a large-scale fire can start. Fires in tanks with oil and oil products are among the most difficult to extinguish. They are characterised by huge material and environmental damage and are dangerous to human life and health [1]. We observed the consequences of such a situation on March 26, 2022, at the oil depot in Lviv on Plastova Street, where 30 tanks of various sizes and volumes are located. On this day, a missile attack was launched on the specified oil depot by the aggressor country, as a result of which several tanks were destroyed and oil products leaked with subsequent fire. The total area of the fire was more than 3000 m². The fire was extinguished after only 14 hours. Water and air-mechanical foam were used in large quantities as fire extinguishing agents. This case showed that it is necessary to introduce new fire extinguishing means or to look closely at those that have been actively used by foreign firefighters for some time. One of these means is systems for generating and supplying compression foam, which has already gained popularity in Europe and the USA. In Ukraine, such systems are not used by units of the State Emergency Service of Ukraine. Therefore, the development of fire extinguishing systems with compression foam and the technology of their application corresponds to the innovative directions of the development of the State Emergency Service of Ukraine [2]. A Compressed Air Foaming System (CAFS) is a system used in firefighting to deliver fire-resistant foam to extinguish fires or protect non-burning areas [3, 4]. Therefore, we conducted a study to determine the properties of the foaming agent and apply compression foam under the diesel fuel layer.

Purpose. The purpose of the work is to determine the effect of a liquid (water, gasoline, and diesel) on the destruction of foam during "sublayer" feeding and when feeding on the surface.

Methods. The work used the methods of analytical studies of the use of foam for extinguishing fires. Methods for determining indicators of foam quality, multiplicity and stability.

Results. In these studies, the compression foam showed high stability when interacting with diesel fuel and gasoline. Foam stability refers to its ability to maintain its structure over a certain period.

Conclusions. According to the research results, it can be concluded that the compression foam generated based on the Bars S-2 foaming agent showed good stability and multiplicity. During the interaction of compression foam with diesel fuel, we saw that the foam applied to the surface of the fuel remains on its surface without collapsing for a long time (14285 s when applied to a layer of diesel fuel and 2621 s when applied under the layer). When interacting with gasoline, the compression foam has a somewhat weaker effect (approximately 30 times less resistance when feeding on a layer of gasoline and 6 times less resistance when feeding under a layer) than when interacting with diesel fuel. These results show the possibility of using compression foam for "sub-layer" extinguishing. As of today, the fire and rescue units of Ukraine do not have appropriate domestic equipment for supplying compression foam, there are no methodological recommendations for the use of compression foam. The "underlayer" extinguishing method has not been studied in Ukraine and abroad, there are no relevant regulatory documents. To determine the efficiency of extinguishing with compression foam in fire conditions, it is necessary to conduct a study on extinguishing fires in tanks with petroleum products by the "underlayer" method and to determine the main fire-extinguishing properties of the foam.

Keywords. Compression foam, CAFS, oil tanks, diesel fuel, gasoline, petroleum products.

Вступ. Технологія застосування компресійної піни в практиці пожежогасіння почала впроваджуватися більш 3-х десятиліть тому [5]. Компресійна піна добре гасить пожежі класів А та В та є універсальною у своєму застосуванні [6]. Одна з ключових відмінних рис систем CAFS (compressed air foam system) від повітряно-механічних систем полягає в тому, що компресійна піна формується в спеціальних пристроях – пінозмішувачах. Цей процес дає змогу подавати готову компресійну піну на значні відстані за допомогою підпору повітря від компресора або балона. Така можливість особливо цінна при гасінні високих будівель або будівель підвищеної поверховості. При використанні цієї піни, завдяки низькому вмісту рідинної фази, зменшуються

побічні матеріальні збитки від гасіння пожеж житлових будинків [7]. Порівняно із звичайною повітряно-механічною піною, компресійна піна має більший відсоток дрібних бульбашок в однаковому об'ємі піни [8]. Також, цей вид піни можливий до застосування при гасінні нафти та нафтопродуктів «підшаровим» способом.

Основні переваги компресійної піни [9]:

– утворення піни відбувається безпосередньо біля насосної установки, що дає змогу зменшити енергетичні затрати на її доставку до місця пожежі;

– газонаповнену піну можна подавати на значні відстані, навіть по вертикалі (до 400 м);

– газонаповнена піна є високоструктурованою, компактною та складається з великої кількості однорідних одиночних пухирців. Відношення маси

до поверхні є сприятливим для інтенсивної теплопередачі, що призводить до значного ефекту охолодження нагрітої поверхні;

– оскільки газонаповнена піна утворюється за допомогою повітря під тиском, то додатково отримує від нього енергію, потрібну для доставки її безпосередньо в осередок пожежі. При цьому, на відміну від води, не відбувається випаровування малих крапель на етапі доставки струменя в осередок пожежі, що значно підвищує коефіцієнт використання вогнегасної речовини;

– пожежні рукави, заповнені газонаповненою піною, значно легші, а отже, підвищується маневреність ствольника;

– газонаповнена піна може мати як підвищений склад рідкої фази, що підсилює ефект охолодження, так і понижений склад рідкої фази, що веде до підсилення адгезії та дає змогу використовувати її для вогнезахисту вертикальних поверхонь та гасіння електрообладнання під напругою;

– понижений склад рідкої фази зменшує прямі збитки під час гасіння пожеж у поверхових будівлях та на горищах через уникнення затоплення нижчих поверхів.

Метою роботи є визначення впливу рідини (вода, бензин, дизель) на руйнування піни при «підшаровому» подаванні та при подаванні на поверхню.

Виклад основного матеріалу.

Для генерування компресійної піни

було використано піноутворювач загального призначення «Барс S-2» та проведено випробування з генеруванням компресійної піни підвищеної стійкості.

Випробування проводилось за таких показників навколишнього середовища, за яких сумарна похибка методики визначення перебуває на рівні заданої:

- температура повітря від +10 до +25°C;
- атмосферний тиск від 84 до 106,6 кПа;
- відносна вологість повітря від 40% до 90%.

Під час проведення дослідів умови були такими: температура повітря від +14°C, атмосферний тиск від 98,92 кПа, відносна вологість повітря від 63%, що задовільняє вимоги до проведення випробувань європейських норм [10].

Також для випробування було використано:

- ваги з межею зважування 10 кг з ціною поділки 0,005 кг;
- манометр згідно з ГОСТ 2405 з верхньою межею вимірювання 1 МПа і ціною поділки 0,01 МПа;
- термометр згідно з ГОСТ 28498 з діапазоном вимірювання від 0 до 100°C і ціною поділки 1°C;
- циліндр 1-500 згідно з ГОСТ 1770 з ціною поділки 10 см³;
- секундомір з межею вимірювання 3600 с і ціною поділки 0,2 с;
- вода питна згідно з ГОСТ 2874;
- посудина мірна об'ємом 12 дм³.

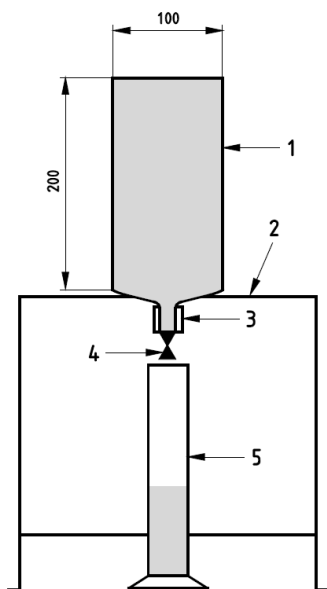
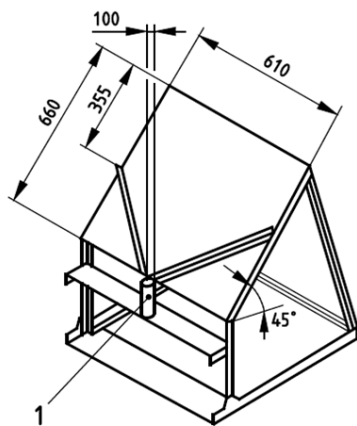


Рисунок 1 – Схема пристрою для визначення кратності і стійкості піни:

- 1 – бак для збирання піни місткістю 1,7 дм³; 2 – підставка; 3 – поліетиленова трубка;
4 – кран; 5 – циліндр

Для визначення стійкості і кратності піни використовувались методи з ДСТУ EN 1568-3 для піни низької кратності [10]. Також для цього дослідів був виготовлений піноприймач (рис. 2) для

визначення кратності і стійкості піни низької кратності згідно з [10]. Як матеріал для виготовлення піноприймача використали лист з алюмінієвого сплаву.



а)



б)

Рисунок 2 – Пінوپриймач для визначення кратності та стійкості піни:

1 – зливний пристрій

У мірній посудині приготували 12 дм³ робочого розчину (6%). Температура робочого розчину піноутворювача становила 19 °С, що відповідає нормам (17,5+/-2,5°С). Після чого залили

робочий розчин у лабораторну установку типу вогнегасника ВВ-12 (рис. 3), зважили бак, підставку та циліндр і визначили їх загальну масу в кілограмах (m_1).



Рисунок 3 – Лабораторна установка типу вогнегасника для генерування компресійної піни:

1 – корпус вогнегасника (посудина для змішування води та ПУ); 2 – з'єднувальні шланги;

3 – запірні вентилі; 4 – балон із стиснутим повітрям; 5 – редуктор із манометром

Після приєднання до лабораторної установки балона із повітрям встановлюємо тиск повітря над розчином у межах від 0,6 до 0,65 МПа. Оскільки для генерування та подачі компресійної піни не потрібен ствол-генератор, ми здійснили подачу піни з штуцера резинового трубопроводу, внутрішній діаметр якого становить 10 мм. Тиск у корпусі випробувального приладу – 0,6 МПа. Після встановлення тиску на редукторі, струмінь піни ми спрямували в центр пінوپриймача, поверхню якого попередньо змочили робочим розчином піноутворювача, і

через 30 с встановили під пінوپриймач бак із закритим краном. Після того, як бак заповнився піною, ми припинили подачу піни, бак забрали з-під пінوپриймача, лінійкою зняли надлишок піни на рівні країв бака і увімкнули секундомір. Заповнений піною бак встановили на підставку, а під кран бака – циліндр і визначили масу бака з піною разом з підставкою і циліндром (m_2). Маса піни в баку (m_3) дорівнює різниці між m_2 і m_1 ($m_2 - m_1 = m_3$).

Після проведених дій ми відкрили кран і виміряли тривалість стікання в циліндр розчину

піноутворювача масою 25% і 50% від початкової маси піни в баку. Кран відрегульовано таким чином, щоб в циліндр стівав розчин, а не піна. Цього було досягнуто візуальним контролем рівня рідини в пластмасовій трубці на виході перед краном. Визначена тривалість стікання є мірою стійкості піни. Кратність піни обчислюємо за формулою:

$$K = \frac{V_p \cdot \rho_p}{m_2 - m_1} \quad (1)$$

де V_p – об'єм піни, що дорівнює внутрішньому

об'єму «пінозбирача», дм^3 ;

ρ_p – густина робочого розчину. Згідно з рекомендаціями EN 1568-3, густина робочого розчину приймається рівною 1 кг/дм^3 ;

m_1 – сумарна маса підставки, циліндра і бака, кг ;

m_2 – сумарна маса підставки, циліндра і бака з піною, кг .

Цю серію дослідів було проведено 3 рази. Кожного разу ми готували 12 дм^3 нового робочого розчину заданої концентрації (6%) та температурою 19°C .

Таблиця 1

Результати досліджень із визначення стійкості та кратності компресійної піни

	m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	V_p , л	K	$K_{\text{ср}}$	$\tau_{\text{ст}}$ для 25%, с	$\tau_{\text{ст.сер.}}$ для 25%, с	$\tau_{\text{ст}}$ для 50%, с	$\tau_{\text{ст.сер.}}$ для 50%, с
I серія дослідів	2,7485	2,872	0,124	1,7	13,7	13,7	210	209	379	377
II серія дослідів	2,7485	2,874	0,1255	1,7	13,5		215		386	
III серія дослідів	2,7485	2,87	0,1215	1,7	14		204		367	

З метою визначення ефективності компресійної піни при подачі її на шар дизельного палива та бензину, ми провели декілька дослідів, а саме:

- подача компресійної піни в 5-літрову скляну колбу на шар дизельного пального, бензину А-95;
- подача компресійної піни в 5-літрову скляну пусту колбу із додаванням дизельного пального, бензину А-95.

У цих дослідях ми визначали, який проміжок

часу компресійна піна зможе протриматись на шарі дизельного палива, бензину А-95 до повного її руйнування та порівняли різні види пального.

Дослід 1. В ході виконання першого дослідів в скляну 5-літрову колбу було залито 3 літри дизельного пального, після чого здійснювалась подача компресійної піни поверх пального (рис. 4 а). Об'єм піни, становив 2,8 л. Після закінчення подачі компресійної піни був увімкнений секундомір. Піна повністю зруйнувалась за 14285 с (238 хв).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Визначення стійкості компресійної піни: а) подавання компресійної піни на шар дизельного пального; б) подавання компресійної піни на шар бензину А-95; в) подавання компресійної піни в пусту колбу із додаванням дизельного пального; г) подавання компресійної піни в пусту колбу із додаванням бензину А-95

В ході виконання другої частини досліду, в скляну 5-літрову колбу було залито 2 літри бензину А-95, після чого здійснювалась подача компресійної піни на поверхню пального (рис. 4 б). Об'єм піни, становив 2,04 л. Після закінчення подачі компресійної піни був увімкнений секундомір. Піна повністю зруйнувалась за 470 с (7 хв 50 с). В ході виконання цього досліду, нам вдалось встановити, що компресійна піна при подачі на шар бензину руйнується у 30 разів швидше, ніж при подачі на шар дизельного пального (470 с проти 14285 с).

Дослід 2. В ході виконання другого досліду в скляну 5-літрову колбу було подано компресійну

піну. Об'єм, який заповнила піна, становив 3 літри. Після чого в колбу залили 2 літри дизельного пального і увімкнули секундомір (рис. 4 в). Піна повністю зруйнувалась через 2621 с (43 хв 7 с).

В ході виконання другої частини досліду в скляну 5-літрову колбу було подано компресійну піну. Об'єм, який заповнила піна, становив 2,6 літри. Після чого в колбу залили 1,9 літри бензину А-95 і увімкнули секундомір (рис. 4 г). Піна повністю зруйнувалась через 440 с (7 хв 20 с). В ході цього досліду нам вдалось встановити, що компресійна піна при подачі під шар бензину руйнується у 6 разів швидше, ніж при подачі під шар дизельного пального (440 с проти 2621 с)

Таблиця 2

Результати досліджень із подачею компресійної піни на шар та під шар різних видів пального

Вид подачі піни:	Вид пального	Номер досліду	Об'єм піни, л	Об'єм дизельного пального, л	Об'єм бензину А-95, л	Час руйнування піни, с
на шар пального	дизель	1.1	2,8	3		14285
		1.2	2,04		2	470
під шар пального	бензин А95	2.1	3	2		2621
		2.2	2,6		1,9	440

Висновки.

1. Згідно з проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що компресійна піна, згенерована на основі піноутворювача «Барс S-2», показала хороші показники стійкості та кратності. При взаємодії компресійної піни з дизельним паливом піна повністю тримається на поверхні пального, не руйнуючись тривалий час (14285 с при подаванні на шар дизельного пального та 2621 с при подаванні під шар). При взаємодії з бензином компресійна піна має слабшу дію (приблизно у 30 разів менша стійкість при подаванні на шар бензину та у 6 разів менша стійкість при подаванні під шар), ніж при взаємодії з дизельним паливом. Ці результати показали можливість використання компресійної піни для «підшарового» гасіння.

2. Станом на сьогодні в пожежно-рятувальних підрозділах України відсутнє відповідне вітчизняне обладнання для подавання компресійної піни, відсутні методичні рекомендації з використання компресійної піни. «Підшаровий» спосіб гасіння не вивчений в Україні та за її межами, відсутні відповідні нормативні документи.

3. З метою визначення ефективності гасіння компресійною піною в умовах пожежі необхідно провести дослідження з гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами «підшаровим» методом та визначити основні вогнегасні властивості піни.

Список літератури:

1. Войтович Т.М. Вдосконалення технології «підшарового» пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами : дис. ... д-ра філософії : 261. Львів, 2020. 216 с.;
2. Kodryk, A., Nikulin, O., Titienko, O., Kurtov, A., & Shakhov, S. Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2019. 27 черв. (№1(7)). С. 54–63;
3. Fu X., Bao Z., Chen T., Xia J., Zhang X., Zhang J., and Hu Y. Application of Compressed Air Foam System in Extinguishing Oil Tank Fire and Middle Layer Effect // International Symposium on Safety Science and Technology. Procedia Engineering, 2012. Vol. 45, P. 669-673;
4. Ковалишин, В. В., Васильєва, О. Е., Козяр, Н. М. Пінне гасіння: навч. посіб. Львів: Сполом, 2007. 168 с.;
5. Вілінський Р. В. Гаврилюк А. Ф. Аналіз використання компресійної піни. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. Праць XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів, 2020. С.16-17;
6. Ковалишин, В. В., Лозинський Р. Я., Войтович Т. М., Великий Н. Р. Розширення галузі застосування компресійної піни. Актуальні

проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: зб. наук. праць Всеукраїнської наук.-практ. конф. з міжнародною участю. Львів, 2022. С.372-374;

7. Kovalyshyn, V., Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovych, T., Sorochych, M. (2021). Засоби отримання та перспективи застосування компресійної піни. Пожежна безпека. 2021. 29 груд. (№ 39). С.94-104;

8. Thomitzek A., Ondruch J., Chudova D., Kucera P. Effects of compressed air foam application on heat conditions in fire within a closed space. Transactions of the VŠB. 2015. (Vol. X, № 2). P. 20-25;

9. Титаренко А. В. Газонаповнена піна – ефективний засіб пожежогасіння лісових пожеж. Науковий вісник НЛТУ України. 2015. № 25.9. С. 246-250;

10. ДСТУ EN 1568-3:2018. Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 3. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню (EN 1568-3:2018, IDT) [На заміну ДСТУ EN 1568-3:2014; чинний від 2019-01-01].

References:

1. Voitovych T.M. (2020). «Improvement of the Subsurface Extinguishing Technology in Tanks with Petroleum Products». Qualifying scientific work on the rights of the manuscript, Lviv;

2. Kodryk, A., Nikulin, O., Titienko, O., Kurtov, A., & Shakhov, S. (2019). «Dependence of compression foam properties from working parameters of foam generation process». Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety, № 1(7), pp. 54–63;

3. Fu X., Bao Z., Chen T., Xia J., Zhang X., Zhang J., and Hu Y. (2012). «Application of Compressed Air

Foam System in Extinguishing Oil Tank Fire and Middle Layer Effect». Int. Symp. on Safety Science and Technology. Procedia Engineering. Vol. 45, pp. 669-673;

4. Kovalyshyn V. V., Vasileva O. E., Koziar N. M. Pinne gasinia (2007). [Foam quenching]. ISBN 978-966-665-473-4. Spolom. Lviv. Ukraine;

5. Vilinskyi R. V., Havrylyuk A. F. (2020). «Analysis of the use of compression foam». Problems and Prospects of Life Safety System Development: Proceedings of the XV International Research and Practical Conference of Young Scientists, Cadets and Students. Lviv, pp.16-17;

6. Kovalyshyn, V. V., Lozynskiy R. Y., Voitovych, T. M., and Velykyi, N. R. (2022). «Expansion of the field of application of compression foam». Actual problems of fire safety and emergency prevention in today's conditions: Collection of sci. papers All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation. Lviv, pp.372-374;

7. Kovalyshyn, V., Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovych, T., and Sorochych, M. (2021). «Means of obtaining and prospects of using compression foam». Fire Safety. Vol. 39. pp.94-104;

8. Thomitzek A., Ondruch J., Chudova D., and Kucera P. (2015). «Effects of compressed air foam application on heat conditions in fire within a closed space». Transactions of the VŠB. Vol. X, № 2. pp. 20-25;

9. Tytarenko A. V. «Gas-filled foam is an effective means of extinguishing forest fires». (2015). The Scientific Bulletin of UNFU. Vol. 25.9. pp.246-250;

10. DSTU EN 1568-3:2018. Fire extinguishing media — Foam concentrates — Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids (EN 1568-3:2018, IDT) [For replacement DSTU EN 1568-3:2014; valid from 2019-01-01].

© Н. Р. Великий, В. В. Ковалишин,
Т. М. Войтович, П. В. Пастухов, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 25.10.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.