

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

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

**Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності**

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

**збірник
наукових праць**



№43, 2024



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**



I. I. Адольф, В. І. Товарянський, В. Л. Петровський

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9132-673X> – I. I. Адольф

<https://orcid.org/0000-0002-4484-8164> – В. І. Товарянський

<https://orcid.org/0000-0002-5323-7824> – В. Л. Петровський



adolfivan@ukr.net

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

Постановка проблеми. Підприємства швейної промисловості охоплюють процеси підготовки сировини, зберігання, технологічної обробки та складування продукції. Пожежі, що виникають на таких підприємствах, швидко поширюються на великих площах, і спричиняють значні матеріальні збитки. Крім розроблення заходів, спрямованих на швидке виявлення та ліквідацію таких пожеж, уваги заслуговує також розроблення і застосування ефективних протипожежних перешкод в середовищі виробничих приміщень швейних цехів.

Мета роботи – дослідити поведінку експериментальних швейно-виробничих ділянок, екранованих захисними панелями в умовах пожежі.

Методи дослідження. Для проведення досліджень застосовували такі методи: аналітичні, натурного експерименту та регресійного аналізу.

Основні результати дослідження. За пожежної навантаги макетного вогнища величиною 1200 МДж температура самозаймання бавовни 400°C була зафіксована на 345-й с від початку горіння в точці розміщення термопар №3. Щодо ділянки з розміщенням тканин з поліестеру, температура самозаймання 500°C виникла на 348-й с від початку горіння. При горінні макетного вогнища з пожежною навантагою 600 МДж встановлено, що час виникнення температури самозаймання 400°C для ділянки з тканинами з бавовни становив 870 с в точці розміщення термопар №3, а температура самозаймання ділянки з поліестером набула значення 500°C на 890-й с в точці розміщення термопар №7.

Висновки. Встановлено, що за пожежної навантаги макетного вогнища величиною 600 МДж горіння на захищеній екрануючою панеллю сусідній ділянці з тканинами відбувалось на 870-й с від початку випробувань, що в 3,1 раза перевищує час до займання на незахищеній ділянці. Під час горіння макетного вогнища з навантагою величиною 1200 МДж займання захищеної ділянки з тканинами відбулось на 345-й с від початку випробувань, що в 1,44 раза перевищує час до займання на незахищеній ділянці. При однаковій висоті екрануючих панелей зниження пожежної навантаги макетного вогнища від 1200 МДж до 600 МДж призводить до збільшення часу до займання експериментальної ділянки в 2,52 раза.

Ключові слова: швейні підприємства, екрануюча захисна панель, пожежна безпека, робоче місце, тканина, температура самозаймання.

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

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

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

Formulation of the problem. Garment industry enterprises cover the processes of preparation of raw materials, storage, technological processing and warehousing of products. Fires that occur at such enterprises quickly spread over large areas and cause significant material damage. In addition to the development of measures aimed at quickly identifying and eliminating such fires, the development and use of effective fire barriers in the environment of industrial premises of sewing shops deserves attention.

The purpose of the work is to study the behaviour of experimental sewing production areas shielded with protective panels in fire conditions.

Research methods. The following methods were used to conduct the research: analytical, full-scale experiment and regression analysis.

The main results of the study. When the fire load of the mock-up fire was 1200 MJ, the spontaneous combustion temperature of cotton was 400°C, which was recorded at 345 s from the start of combustion at the point where thermocouple №3 was placed. Regarding the area with polyester fabrics, the spontaneous combustion temperature of 500°C occurred at 348 s from the start of combustion. When burning a mock-up fire with a fire load of 600 MJ, it was found that the time of occurrence of the spontaneous combustion temperature of 400°C for the section with cotton fabrics was 870 s at the point where thermocouple №3 was placed, and the spontaneous combustion temperature of the section with polyester acquired a value of 500°C at 89 s at the point placement of thermocouples №7.

Conclusions. It was established that with a fire load of a mock-up fire of 600 MJ, combustion in the adjacent area with fabrics protected by a shielding panel occurred 870 s from the beginning of the tests, which is 3,1 times longer than the time before the fire in the unprotected area. During the combustion of a prototype fireplace with a load of 1200 MJ, the ignition of the protected area with tissues occurred 345 s from the beginning of the tests, which is 1,44 times longer than the time before the ignition in the unprotected area. With the same height of shielding panels, reducing the fire load of the mock fireplace from 1200 MJ to 600 MJ leads to an increase in the time before the fire of the experimental section by 2,52 times.

Keywords: garment enterprises, shielding protective panel, fire safety, workplace, fabric, spontaneous combustion temperature.

Постановка проблеми. Швейні підприємства належать до виробництв із високим ризиком виникнення пожеж. Пожежі, що виникають на таких підприємствах, мають тенденцію до швидкого поширення значними площами, і становлять загрозу для життя та здоров'я працюючого персоналу, знищення сировини, готової продукції, а також технологічного обладнання.

Пожежна небезпека швейних підприємств зумовлюється такими чинниками:

- використання у технологічному процесі горючих матеріалів, зокрема різноманітних тканин, ниток, спеціальних розчинників для додаткової обробки, що може сприяти швидкому поширенню пожежі за умови виникнення джерела займання;

- наявність технологічного обладнання, такого як швейні машини та парові праски, які схильні до перегріву під час їхньої експлуатації, а за умов порушення правил пожежної безпеки чи нормальних умов експлуатації можуть слугувати джерелами пожежі;

- перенавантаження у швейних цехах значною кількістю споживачів електромережі;

- наявність великої кількості працюючого персоналу, що створює додаткові ризики виникнення пожежі у випадку недотримання правил пожежної безпеки під час виробничого процесу.

Для запобігання пожежам на швейних підприємствах важливо контролювати дотримання правил пожежної безпеки, здійснювати регулярну перевірку справності виробничого обладнання, систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння, проводити планові навчання з правил пожежної безпеки для працюючого персоналу. Додатковим запропонованим заходом, важливим для зменшення площ потенційних пожеж, що можуть виникати у швейних цехах підприємств, є застосування місцевих протипожежних перешкод – екрануючих панелей, призначених для захисту окремих робочих місць від впливу факторів пожежі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню поведінки різноманітних

протипожежних перешкод, які застосовуються для запобігання поширенню пожеж різними за призначенням приміщеннями, присвячено низку наукових праць як закордонних, так і українських науковців. Автори у представлених роботах досліджували вплив факторів пожежі на несучу здатність, цілісність та теплоізоляційні властивості різноманітних протипожежних перешкод, а також їх вплив на поширення пожеж. Зокрема в [1] автором досліджувались протипожежні властивості металоорганічних решіток на основі цирконію (Zr-MOF), розгалуженого поліетиленіміну (BPEI) та вінілтріетоксисилану (VTES), які були внесені в структуру целюлозних волокон, для дослідження їх бар'єрних властивостей. Автором встановлено, що у порівнянні з необробленим вогнезахисною речовиною зразком бавовни, температура максимальної швидкості втрати маси (T_{max}) C-Zr-MOF/BPEI/VTES збільшилася з 479°C до 523,3°C, а максимальна швидкість втрати маси (R_{max}) при T_{max} знизилася з 37,6 до 17,2 мас.%/хв. При 800°C чиста бавовна згоріла без залишків, тоді як залишковий вміст вугілля у зразку C-Zr-MOF/BPEI/VTES становив 7,26 мас.%. Результати випробувань вертикального горіння показали, що зразок C-Zr-MOF/BPEI/VTES має кращі бар'єрні ефекти завдяки зниженню швидкості розповсюдження полум'я та створенню більшої кількості захисних шарів вугілля. В роботі [2] представлено тестування фасадних систем в реальному розмірі. Дослідження було проведено з метою порівняння поведінки системи ETICS при різних термічних ізоляційних шарах (горюча ізоляція, горюча ізоляція з протипожежним бар'єром із негорючого матеріалу, негорючий утеплювач) в умовах пожежі. Результати випробувань підтвердили, що перешкода з негорючого матеріалу (наприклад, мінеральної вати), навіть на порівняно невеликій висоті 20 см над отвором, може сповільнити поширення пожежі та знизити температури в процесі

нагрівання фасаду. В роботах [3-4] автори досліджували поведінку вогнестійких тканин, які використовують в обшивці меблів. Враховуючи те, що для отримання вогнестійких тканин застосовується низка хімічних речовин – антипіренів, інгібіторів горіння, то виникає питання щодо впливу таких тканин на здоров'я людей. Водночас під час проведення експериментальних досліджень авторами встановлено, що тканини, оброблені антипіренами, запобігають швидкому прогріванню інших тканинних шарів та можуть застосовуватись для сповільнення швидкості поширення горіння. В роботі [5] автори досліджували поведінку систем зовнішньої теплоізоляції під час експериментального горіння. Зокрема представлено результати експериментів вогневих випробувань, які проводилися для вивчення впливу протипожежних бар'єрів на вертикальне поширення пожежі. Протипожежною перешкодою була горизонтальна смуга з мінеральної вати шириною 300 мм. Термопары використовувалися для вимірювання температури ззовні та всередині системи. Встановлено, що значення температур над протипожежним бар'єром були значно нижчими, ніж під ним, що підтверджує ефективність застосування протипожежних бар'єрів у системах зовнішньої теплоізоляції. В роботі [6] проведено дослідження протипожежних перешкод на основі спучених перлітових композитів. Отримані результати досліджень стосуються визначення впливу різноманітних мінеральних в'язучих, які використовуються при виготовленні теплоізоляційних плит зі спученого перліту на вогнестійкість і, як наслідок, на підвищення вогнестійкості в умовах горіння целюлози та вуглеводнів. Найкращі теплоізоляційні та вогнестійкі властивості спостерігалися у перлітових плит, зв'язаних в'язучим із найменшим вмістом лужних речовин, для яких коефіцієнт теплопровідності був найнижчим, а вогнестійкість в умовах пожежі целюлози становила 98 хв. Автори роботи [7] досліджували пожежну небезпеку стелажних складів, які характеризуються значною кількістю пожежної навантаги. Для мінімізації поширення пожежі запропоновано облаштовувати стелажі горизонтальними перешкодами та внутрішньо-стелажними спринклерами. Авторами встановлено, що застосування горизонтальних протипожежних перешкод дозволяє знизити вертикальне розповсюдження вогню по конструкції стелажу приблизно на 30%, зменшивши при цьому час спрацювання спринклера системи пожежогасіння. В роботі [8] авторами досліджено процес поширення пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів, а також розроблено метод

визначення оптимальних розмірів захищених об'єктів. Формування захищених об'єктів досягається застосуванням протипожежних завіс. Авторами встановлено, що застосування протипожежних завіс знижує швидкість пожежі в 1,8 раза. В роботі [9] автори досліджували вплив застосування протипожежних перегородок на поширення пожежі виробничо-складськими об'єктами. За результатами дослідження встановлено, що протипожежні перегородки зменшують імовірність розповсюдження пожежі між ділянками приміщень виробничо-складських об'єктів приблизно в 3 рази. В роботі [10] автором досліджено вплив зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на розповсюдження горіння поверхнею стін, облаштованих фасадною теплоізоляцією. Встановлено, що застосування в якості утеплювача плит з мінеральної вати в конструкціях протипожежного поясу сприяє уповільненню поширення вогню фасадами будинків.

Проте, варто зазначити, що досліджень щодо поведінки поширення пожеж в середині різних за призначенням приміщень швейних виробництв, які враховують використання протипожежних перешкод у вигляді екрануючих захисних панелей, сьогодні проведено недостатньо.

Мета досліджень. Дослідити поведінку експериментальних швейно-виробничих ділянок, екранованих захисними панелями в умовах пожежі.

Наукова новизна роботи. Вперше встановлено, що зниження пожежної навантаги макетного вогнища величиною від 1200 МДж до 600 МДж, облаштованого екрануючими захисними панелями висотою 0,95 м, призводить до збільшення часу до займання експериментальної ділянки в 2,52 раза.

Методи досліджень. Для проведення досліджень в середовищі експериментального полігону застосовували макетне вогнище, обладнане металевими екрануючими панелями; сформовані ділянки з тканинами з бавовни та поліестеру. Дослідження температур нагрівання проводили за допомогою РТ 0102 з ТХА та безконтактного інфрачервоного пірометра марки HoldPeak HP – 1300. Опрацювання результатів досліджень здійснювали, використовуючи методи регресійного аналізу та електронні таблиці MS Excel.

Методика проведення дослідження запропонована авторами та виконана на основі [11], із врахуванням розмірів та пожежної навантаги окремих швейно-виробничих місць, особливостей виникнення та поширення горіння промисловими підприємствами. Сутність методики полягає у визначенні проміжку часу від моменту займання макетного вогнища пожежі, яке розміщене в підготовленому експериментальному

полігоні, до виникнення горіння на ділянках, що межують з ділянкою розміщення макетного вогнища. Перелік обладнання та засобів вимірювальної техніки: макетне вогнище пожежі; екрануючі металеві панелі; засоби вимірювальної техніки; сусідні ділянки.

Експериментальний полігон імітує фрагмент середовища швейного підприємства з розмірами, достатніми для розміщення макетного вогнища із сусідніми ділянками, а також для забезпечення вимірювальних операцій. Полігон виконано розмірами $6 \times 2,5 \times 2,5$ м. З трьох сторін і згори експериментальний полігон облицьовано листами з оцинкованої сталі товщиною 0,00045 м. Одна зі сторін експериментального полігону залишена відкритою для забезпечення достатнього повітрообміну та зручності проведення спостережень за дослідженням.

З метою створення пожежного навантаження швейно-виробничої ділянки застосовували макетне вогнище, горіння якого формує умови температурного режиму, що наближений до умов

горіння реальної ділянки. У випадку даних випробувань питома пожежна навантага змінювалась від 600 МДж до 1200 МДж. Макетне вогнище пожежі формували з брусків деревини хвойних порід. Вологість дерев'яних брусків не перевищувала 15 %. Бруски макетного вогнища укладали у вигляді решітчастої кладки, розміщуючи на бетонних блоках висотою 200 ± 10 мм над рівнем підлоги експериментального полігону. Для підпалювання макетного вогнища застосовували деко, в якому поміщається не менше $3,0 \pm 0,2$ л палива відповідно до [12]. Екрануючі панелі виконали з негорючого матеріалу – металевих листів з оцинкованої сталі, який закріплено на металевий каркас, розмірами: висота – 0,95 м; ширина – 1,1 м; товщина металевих листів панелі – 0,00045 м. Загальний вигляд експериментальної ділянки, яка складається з макетного вогнища, обладнаного екрануючими захисними панелями та двох сусідніх ділянок, представлено на рис. 1.

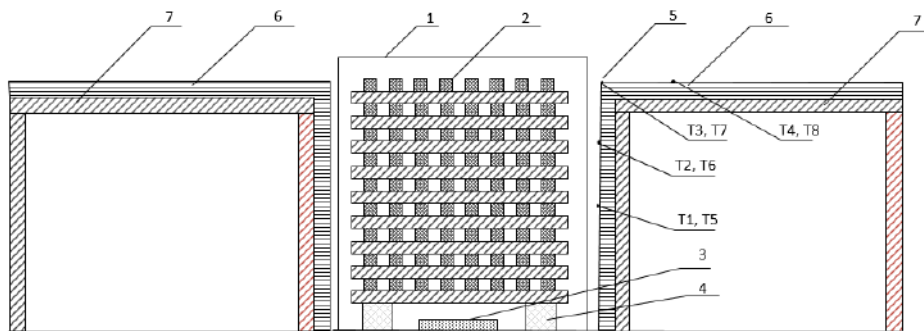


Рисунок 1 – План-схема експериментальної ділянки, де:

- 1) екрануючі захисні панелі; 2) макетне вогнище; 3) ємність з паливом; 4) бетонні блоки; 5) термопари T1 – T8; 6) шар тканини; 7) дерев'яна конструкція сусідньої

Результати досліджень. На основі запропонованої методики з використанням зведеного полігону та розміщеної в ньому експериментальної ділянки було проведено вогневі випробування. За 5 хв перед початком випробувань виміряли значення температури навколишнього середовища, яка становила 25°C . Випробування проводили для двох значень пожежної навантаги – 600 МДж та 1200 МДж. Площа розміщення ділянки макетного вогнища

становила до 1 м^2 . Відстань розміщення сусідніх ділянок з тканинами від екрануючих панелей становила 0,1 м. Після підготовки експериментальних ділянок з допомогою факела здійснювали підпал макетних вогнищ. Далі спостерігали за горінням експериментальних ділянок. Фото макетних вогнищ, сусідніх ділянок з тканинами бавовни та поліестеру до моменту підпалу та в процесі горіння зображено на рис. 2.



а)



б)



в)



з)



д)



е)

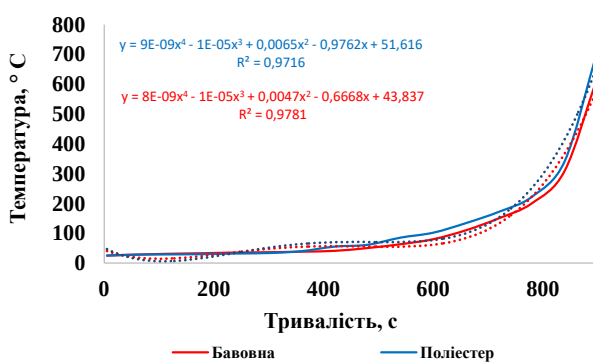
Рисунок 2 – Процес горіння експериментальних ділянок:

а) ділянка з пожежним навантаженням 1200 МДж до моменту підпалу; б) ділянка з пожежним навантаженням 600 МДж до моменту підпалу; в) горіння ділянки з 1200 МДж пожежної навантаги на 65-й с від моменту підпалу; г) горіння ділянки з 600 МДж пожежної навантаги на 68-й с від моменту підпалу; д) горіння ділянки з 1200 МДж пожежної навантаги на 490-й с від моменту підпалу; е) горіння ділянки з 600 МДж пожежної навантаги на 480-й с від моменту підпалу. Моделювання пожежі виробничої ділянки:

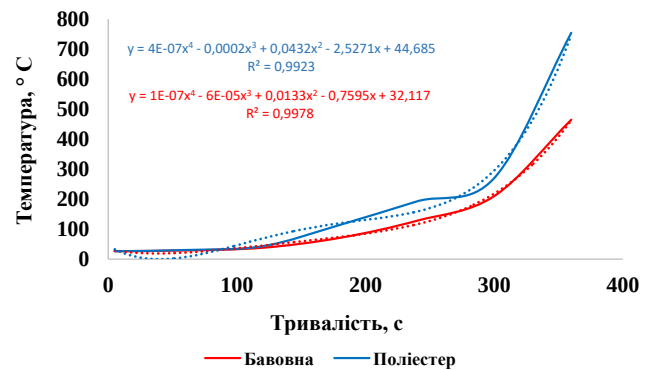
а) вигляд ділянки до початку горіння; б) горіння на 20-й хв від початку горіння

Залежності зміни температур від часу горіння бавовни та поліестеру на експериментальних

ділянках при пожежній навантазі 600 та 1200 МДж відображено на рис. 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Залежності температур від часу нагрівання ділянок з досліджуваними зразками тканин:

а) з пожежною навантагою модельного вогнища 600 МДж;

б) з пожежною навантагою модельного вогнища 1200 МДж

Результати свідчать, що при пожежній навантазі макетного вогнища величиною 1200 МДж температура самозаймання бавовни (400°C) [13] була зафіксована на 345-й с від початку горіння в точці розміщення термопари №3, після чого відбулось подальше нагрівання термопари до значень температури полум'я в межах 550–625°C.

Що стосується ділянки розміщення тканин з поліестеру, то температура самозаймання, а саме 500°C [13] виникла на 348-й с від початку горіння, після чого відбувалось займання та зростання температури в точці розміщення термопари №7 до значень в межах 650–724°C. При горінні макетного вогнища з пожежною навантагою 600 МДж

встановлено, що час виникнення температури самозаймання величиною 400°C для ділянки з тканинами з бавовни становив 870 с в точці розміщення термопари №3, а температура самозаймання ділянки з поліестером набула значення 500°C на 890-ій с в точці розміщення термопари №7, після чого в обох випадках виникало відкрите горіння та продовжувалось зростання температур в місцях розміщення термопар. Для незахищених ділянок з бавовною та поліестером час виникнення горіння становив 240 с при пожежній навантазі макетного вогнища 1200 МДж, а для величини 600 МДж — 280 с. В обох випадках швидше займання зразків спостерігалось для тканин з бавовни.

За пожежної навантаги макетного вогнища 600 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = 0,000000008\tau^4 - 0,00001\tau^3 + 0,0047\tau^2 - 0,6668\tau + 43,837$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9781$, а для ділянки тканин з поліестеру — $t = 0,000000009\tau^4 - 0,00001\tau^3 + 0,0065\tau^2 - 0,9762\tau + 51,616$ ($R^2 = 0,9716$). Тоді як за пожежної навантаги макетного вогнища 1200 МДж залежність температури від тривалості нагрівання ділянки тканин з бавовни описується виразом $t = 0,0000001\tau^4 - 0,00006\tau^3 + 0,0133\tau^2 - 0,7595\tau + 32,117$ ($R^2 = 0,9978$), а для ділянки тканин з поліестеру $t = 0,0000004\tau^4 - 0,0002\tau^3 + 0,0432\tau^2 - 2,5271\tau + 44,685$ ($R^2 = 0,9923$).

Враховуючи отримані результати досліджень температур для різних значень пожежної навантаги Q, які змінювались в межах від 600 МДж до 1200 МДж отримано регресійну залежність, яка характеризує час до виникнення займання τ , в залежності від зміни пожежної навантаги та має вигляд $\tau = -2,5271Q + 1395$. Залежність отримана для тканин з бавовни, оскільки ці тканини мають нижчу температуру самозаймання порівняно з тканинами з поліестеру та становлять більшу пожежну небезпеку.

Висновки

1. Встановлено, що за пожежної навантаги макетного вогнища величиною 600 МДж горіння на захищеній екрануючою панеллю сусідній ділянці з тканинами відбувалось на 870-ій с від початку випробувань, що в 3,1 раза перевищує час до займання на незахищеній ділянці.

2. Під час горіння макетного вогнища з навантагою величиною 1200 МДж займання захищеної ділянки з тканинами відбулось на 345-ій с від початку випробувань, що в 1,44 раза перевищує час до займання на незахищеній ділянці.

3. При однаковій висоті екрануючих панелей зниження пожежної навантаги макетного вогнища від 1200 МДж до 600 МДж призводить до

збільшення часу до займання експериментальної ділянки в 2,52 раза.

4. Отримано регресійну залежність $\tau = -2,5271Q + 1395$, яка дозволяє визначати час до займання тканин в межах значень пожежної навантаги від 600 МДж до 1200 МДж при висоті захисної екрануючої панелі 0,95 м та відстані від панелі до сусідньої ділянки 0,1 м.

Список літератури

1. Wu Q. & Lis M. J. (2022) "Barrier Effects of Cellulosic Fibers with Hybrid Coating Based on Zirconium Metal-Organic Framework". *Polymers*. T. 14. №. 15. 3071. DOI: 10.3390/polym14153071.

2. Bjegović D., Pečur I., Milovanović B., Rukavina M., Alagušić M. (2016) "Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems". *Gradevinar*. T. 68. №. 05. 357–369. DOI:10.14256/JCE.1347.2015.

3. Shonali Nazaré, William M Pitts, Szabolcs Matko and Rick D Davis. (2014) "Evaluating smoldering behavior of fire-blocking barrier fabrics". *Journal of Fire Sciences* published online. DOI: 10.1177/0734904114543450

4. Nazaré S. & Davis R. D. (2012) "A review of fire blocking technologies for soft furnishings". *Fire science reviews*. T. 1. №. 1. 1–23.

5. Xin H., Zhaopeng N., Lei P., Ping Z. (2013) "Experimental study of fire barriers preventing vertical fire spread in ETISs". *MATEC Web of Conferences* (EDP Sciences). T. 9. 04003. 1–6. DOI: 10.1051/mateconf/20130904003.

6. Kusiorowski R., Witek J., Majchrowicz I., Kleta A., Jirsa-Ociepa A. (2019) "Fire barrier based on expanded perlite composites". *13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques*. 16–17. DOI: 10.3846/mbmst.2019.047.

7. In-Hwan Yeo & Gyu-Hwan Cho (2017) "Application of Horizontal Barrier on a Rack to Reduce Fire Spread. *Journal of Korea Fire Protection Society*". 31(4), 71-79. DOI: 10.7731/kifse.2017.31.4.071.

8. Гуліда, Е.М., Шарий, В. В. Вплив протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничоскладських об'єктів. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2019, №35, 23-29.*

9. Гуліда Е.М., Шарий В. В. Вплив протипожежних перегородок на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2020, №37, 44-51.*

10. Яковчук Р. С. Дослідження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею стін із фасадною теплоізоляцією. *Пожежна безпека:*

Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2021, №38, 38-48. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.06.

11. ДСТУ Б В.1.1-4-98 "Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги" [Чинний від 1998-10-28]. Київ: Держбуд України, 1998. (Національні стандарти України).

12. ДСТУ 3868-99 "Паливо дизельне. Технічні умови" [Чинний від 2023-01-21]. Київ: Держстандарт України, 1999. (Національні стандарти України).

13. Товарянський В. І., Адольф І. І., Петровський В. Л. Дослідження температур займання і самозаймання тканин з бавовни та поліестеру. Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2021, №38, 32-37. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.05.

References

1. Wu Q., & Lis M. J. (2022) "Barrier Effects of Cellulosic Fibers with Hybrid Coating Based on Zirconium Metal-Organic Framework". *Polymers*. T. 14. №. 15. 3071. DOI: 10.3390/polym14153071.

2. Bjegović D., Pečur I., Milovanović B., Rukavina M., Alagušić M. (2016) "Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems". *Gradevinar.* T. 68. №. 05. 357–369. DOI: 10.14256/JCE.1347.2015.

3. Shonali Nazaré, William M Pitts, Szabolcs Matko and Rick D Davis. (2014) "Evaluating smoldering behavior of fire-blocking barrier fabrics". *Journal of Fire Sciences* published online. DOI: 10.1177/0734904114543450

4. Nazaré S. & Davis R. D. (2012) "A review of fire blocking technologies for soft furnishings". *Fire science reviews*. T. 1. №. 1. 1–23.

5. Xin H., Zhaopeng N., Lei P., Ping Z. (2013) "Experimental study of fire barriers preventing vertical fire spread in ETISs". *MATEC Web of Conferences*

(EDP Sciences). T. 9. 04003. 1–6. DOI:10.1051/mateconf/20130904003.

6. Kusiorowski R., Witek J., Majchrowicz I., Kleta A., Jirsa-Ociepa A. (2019) "Fire barrier based on expanded perlite composites". *13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques*. 16–17. DOI: 10.3846/mbmst.2019.047.

7. In-Hwan Yeo & Gyu-Hwan Cho (2017) "Application of Horizontal Barrier on a Rack to Reduce Fire Spread. *Journal of Korea Fire Protection Society*". 31(4), 71-79. DOI: 10.7731/kifse.2017.31.4.071.

8. Gulida, E.M. & Sharyi, V.V. (2019). The influence of fire curtains on the speed of fire spread in closed rooms of industrial warehouse facilities. *Fire safety*, 35, 23-29.

9. Gulida, E.M. & Sharyi, V.V. (2020). The influence of fire barriers on the speed of fire spread in closed premises of industrial warehouse facilities. *Fire safety*, 37, 44-51.

10. Yakovchuk R. S. (2021). Study of the effect of external vertical enclosing structures on the spread of fire through the surface of walls with facade thermal insulation. *Fire safety*, 38, 38-48. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.06.

11. Fire protection. Building structures. Test methods for fire resistance. General requirements. (1998). DSTU B V.1.1-4-98 from 28 October 1998. Kyiv: Derzhbud of Ukraine [in Ukrainian].

12. Diesel fuel. Technical conditions (1999). DSTU 3868-99 from 21th January 2023. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

13. Tovaryansky V. I., Adolf I. I., Petrovsky V. L. (2021) Investigation of ignition temperatures and self-ignition of cotton and polyester fabrics. *Fire safety*, 38, 32-37. DOI: 10.32447/20786662.38.2021.05.

© I. І. Адольф, В. І. Товарянський,
В. Л. Петровський, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 19.10.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



*В. М. Баланюк¹, В. С. Мирошкін¹, Н. І. Гузар¹,
О. І. Гарасим'юк², Ю. О. Копистинський¹*

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/0009-0003-7189-6545> – Н. І. Гузар

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

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



balr33@ukr.net

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

Постановка проблеми. Пожежі в електричних підстанціях можуть призводити до припинення електропостачання населених пунктів, виробництв та об'єктів критичної інфраструктури. Такі пожежі супроводжуються значними матеріальними збитками. Завдають шкоди навколишньому середовищу. Процес їх гасіння є складним та небезпечним для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів та працівників енергетичних підприємств.

До загальної проблематики додаються ракетні удари ворога по об'єктах електроенергетики України. У період з лютого 2022 р. по лютий 2023 р. їх було 225. Під час гасіння пожеж, спричинених обстрілами, пожежно-рятувальні підрозділи не можуть ефективно діяти через ризик повторних обстрілів. Час очікування до моменту початку ліквідації пожежі може бути тривалим. За цей час пожежа розвивається та завдає значної шкоди.

Згідно із статистичними даними найбільше пожеж в електричних підстанціях виникає у електричних трансформаторах. У деяких випадках наявні системи пожежогасіння трансформаторів не можуть забезпечити успішне гасіння, що призводить до розповсюдження вогню на більшу площу та збільшує негативні наслідки від пожежі.

Наведена проблематика зумовлює необхідність підвищення захисту електрообладнання підстанцій від пожеж, обладнання цих об'єктів ефективнішими системами пожежогасіння, які здатні мінімізувати негативні наслідки.

Мета роботи. Теоретично обґрунтувати підвищення ефективності гасіння пожеж на відкритих електричних підстанціях шляхом використання вогнегасних аерозолів.

Задачі. Провести огляд та аналіз систем протипожежного захисту електричних підстанцій та виявити їх недоліки. Визначити необхідні критерії ефективності, яким повинні відповідати такі системи. Систематизувати та узагальнити передовий досвід гасіння пожеж на відкритих електропідстанціях.

Методи. У роботі використано метод аналізу, порівняння і узагальнення науково-технічних досягнень з питань застосування різних вогнегасних речовин та способів гасіння пожеж на електропідстанціях.

Результати дослідження. Встановлено, що висока ефективність гасіння трансформатора аерозолем буде забезпечуватись такими процесами. В момент випаровування трансформаторної оливи аерозоль буде забезпечувати флегматизування горючого середовища. При горінні трансформаторної оливи буде відбуватись інгібування хімічних реакцій в полум'ї свіжоутвореними дрібнодисперсними твердими частинками аерозолу (K_2CO_3 , $KHCO_3$, KOH , KCl , та ін.) і продуктами їх розпаду (K_2O , KO та ін.). Також при горінні трансформаторної оливи буде забезпечуватись захист дзеркала горючої рідини від теплової радіації полум'я, завдяки поглинанню частинками аерозолу теплових променів, що йдуть від зони горіння. Зниження температури зони горіння завдяки поглинання тепла при нагріванні, плавленні, випаровуванні і розкладанні твердих частинок аерозолу. Припинення горіння шляхом перемішування горючої рідини (при підшаровому гасінні). Тривалим часом захисної дії завислих частинок вогнегасного аерозолу в умовно герметичному об'ємі є близько 25 хв, що цілком достатньо для унеможливлення подальшого продовження горіння через охолодження нагрітих огорожувальних конструкцій.

Висновки. Таким чином, для ефективного гасіння пожеж електричних трансформаторів та підстанцій теоретично найбільше в якості вогнегасного засобу підходить вогнегасний аерозоль, який володіє таким характеристиками: швидка активація системи (низька інерційність спрацювання), висока вогнегасна та флегматизувальна ефективність, простота конструкції та надійність, вибухозахищеність (вибухостійкість), висока інтенсивність подачі вогнегасної речовини, достатня тривалість подачі вогнегасних речовин, ефективність застосування на відкритому просторі,

екрануюча здатність, а також можливість гасіння пожежі ззовні та флегматизація газового середовища всередині трансформатора одночасно.

Ключові слова: електричний трансформатор, вогнегасні аерозолі, гасіння пожеж, трансформаторні підстанції, електропідстанція, об'єкти критичної інфраструктури, системи пожежогасіння трансформатора.

*V. M. Balanyuk¹, V. S. Myroshkin¹, N. I. Huzar¹,
O. I. Garasimuk², Yu. O. Kopystynskiy¹*

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

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

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

Formulation of the problem. Fires in electrical substations can lead to the termination of electricity supply to settlements, industries and critical infrastructure facilities. Such fires are accompanied by significant material losses. Harm the environment. The process of extinguishing them is difficult and dangerous for the personnel of fire-rescue units and employees of energy enterprises.

The enemy's missile strikes on Ukraine's electric power facilities are added to the general problem. In the period from February 2022 to February 2023, there were 225 of them. When extinguishing fires caused by shelling, fire and rescue units cannot act effectively due to the risk of repeated shelling. The waiting time before the start of fire suppression can be long. During this time, the fire develops and causes significant damage.

According to statistical data, most fires in electrical substations occur in electrical transformers. In some cases, the existing fire extinguishing systems of transformers cannot achieve successful extinguishing, which leads to the spread of the fire over a larger area and increases the negative consequences of the fire.

The above problems make it necessary to increase the protection of electrical equipment of substations against fires. Equipping these facilities with effective fire extinguishing systems capable of minimising negative consequences.

The purpose of the work: To theoretically substantiate the increase in the efficiency of extinguishing fires at open electrical substations due to the use of fire-extinguishing aerosols.

Tasks. Conduct a review and analysis of the existing fire protection systems of electric substations and identify their shortcomings. Determine the necessary efficiency criteria that such systems must meet. To systematize and generalise the best experience of extinguishing fires at open power substations.

Methods. The work uses the method of analysis, comparison and generalization of scientific and technical achievements on the use of various fire-extinguishing substances and methods of extinguishing fires at electrical substations.

Research results. It was established that the high efficiency of extinguishing the transformer with an aerosol will be ensured theoretically by such processes. At the moment of evaporation of the transformer oil, the aerosol will provide phlegmatization of the combustible medium. During the burning of transformer oil, chemical reactions in the flame will be inhibited by freshly formed finely dispersed aerosol particles (K_2CO_3 , $KHCO_3$, KOH , KCl , etc.) and their decomposition products (K_2O , KO , etc.). Also, during the burning of transformer oil, the mirror of the combustible liquid will be protected from the thermal radiation of the flame, due to the absorption of the rays coming from the combustion zone by the particles. Lowering the temperature of the combustion zone due to heat absorption during heating, melting, evaporation and decomposition of aerosol solid particles. Stopping burning due to mixing of the combustible liquid (with sub-layer extinguishing). The long-term protective action of suspended particles of fire-extinguishing aerosol in a conditionally sealed volume is about 25 minutes, which is quite enough to prevent the further continuation of burning due to the cooling of heated enclosing structures.

Conclusions. Thus, for the effective extinguishing of fires in electrical transformers and substations, the fire-extinguishing aerosol is most suitable as a fire-extinguishing agent, which has the following characteristics: quick activation of the system (low activation inertia), high fire-extinguishing and phlegmatizing efficiency, simplicity of construction and reliability, explosion protection (explosion resistance), high intensity of fire-extinguishing agent supply, sufficient duration of fire-extinguishing agent supply, the effectiveness of application in open space, shielding ability, as well as the possibility of extinguishing fire from the outside and phlegmatization of the gas environment inside the transformer at the same time.

Keywords: electrical transformer, preservation of energy infrastructure, fire extinguishing, transformer substations, electrical substation, critical infrastructure objects, transformer fire extinguishing systems.

Постановка проблеми.

Передача електроенергії здійснюється через перетворювальні електричні підстанції які часто розташовуються на відкритій місцевості та складаються з електричних трансформаторів, розподільних пристроїв, кабельних тунелів тощо. Пожежі в електричних підстанціях порушують

штатний режим їх функціонування, що може призводити до аварійних відключень електропостачання населених пунктів, виробництв та об'єктів критичної інфраструктури. Призводять до значних матеріальних збитків. Завдають шкоди навколишньому середовищу. Процес їх гасіння є складним та небезпечним через підвищені ризики

ураження електричним струмом та руйнуванням металевих несучих конструкцій для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів та працівників енергетичних підприємств.

За статистикою, наведеною в таблиці 1,

протягом п'яти років в Україні на електричних підстанціях виникло 950 пожеж [1, 5]. При цьому збільшення загальної кількості пожеж за цей період становить 70% без врахування пожеж, спричинених збройною агресією.

Таблиця 1

Статистика пожеж в електричних підстанціях, які виникли в Україні протягом 2018-2022 рр.

Показник	2022	2021	2020	2019	2018
Кількість пожеж, од.	329	197	163	149	112
Загинуло внаслідок пожеж, людей	1	0	0		0
Травмовано на пожежах, людей	4	0	0		0
Збитки прямі (тис. грн)	436214	7067	2412	5492	1775
Збитки побічні (тис. грн)	573586	23624	13432	14719	7001
Знищено та пошкоджено будівель, споруд, од.	130	41	46	46	26

Розвиток технологій зумовлює збільшення споживання електроенергії, що виробляється АЕС, ТЕС, ГЕС, вітровими та сонячними електростанціями, тому кількість електричних підстанцій з часом зростатиме, а отже зростатиме і кількість пожеж на них [2].

До загальної проблематики додалися удари ворога по об'єктах електроенергетики України. У період з лютого 2022 р. по лютий 2023 р. їх було 225 [3]. За даними звіту ПРООН [4], опублікованому у квітні місяці 2023 року збитки від обстрілів об'єктів енергетики за 2022 рік становили понад 10 мільярдів доларів США.

Під час гасіння пожеж спричинених обстрілами, пожежно-рятувальні підрозділи не можуть ефективно діяти через ймовірність повторних обстрілів. Час очікування до моменту початку ліквідації пожежі може бути тривалим. За цей час пожежа розвивається та завдає значної шкоди.

Наведена проблематика зумовлює необхідність підвищення захисту електрообладнання підстанцій від пожеж та обладнання цих об'єктів ефективними системами пожежогасіння, які здатні мінімізувати негативні наслідки. Цього можна досягти завдяки створенню нових способів гасіння та підвищення ефективності існуючих способів захисту.

Мета роботи. Теоретично обґрунтувати підвищення ефективності гасіння пожеж на відкритих електричних підстанціях шляхом використання вогнегасних аерозолів.

Задачі. Провести огляд та аналіз наявних систем протипожежного захисту електричних підстанцій та виявити їх недоліки. Визначити необхідні критерії ефективності, яким повинні відповідати такі системи. Систематизувати та узагальнити передовий досвід гасіння пожеж на відкритих електропідстанціях.

Виклад основного матеріалу

Огляд досліджень та публікацій.

Якщо конкретизувати на яких об'єктах критичної інфраструктури України виникали пожежі, то найбільше їх було на відкритих електропідстанціях, а саме: електричних трансформаторах [1].

Світова статистика показує схожі тенденції. За даними аналізу проведеного авторами [5], приблизно в 15 трансформаторах напругою 35-750 кВ з кожної 1000, які перебувають в експлуатації, виникають значні пошкодження, які потребують тривалого ремонту, при цьому один випадок з загорянням. За різними оцінками ризик виникнення пожежі в оливаноповненому трансформаторі коливається в межах 0,4-2,5% [6].

Стрибки напруги, можуть спричинити виникнення в трансформаторі електричної дуги з великим струмом в межах рівних струмові короткого замикання системи [7]. При цьому завжди існує додатковий ризик вибуху трансформатора. Особливо це стосується трансформаторів, які використовують мінеральну оливу як ізолятор і теплоносій.

Під дією дуги на трансформаторну оливу виділяється великий об'єм газів, а саме: водень H_2 – 60 %, ацетилен C_2H_2 – 30 %, метан CH_4 – 5%, етилен C_2H_4 – 5%, що призводить до різкого збільшення тиску [7]. Авторами [7] експериментально встановлено, що температура біля дуги в момент контакту з оливою становить близько 4000 К, а середня температура усього об'єму газу – близько 2000 К. При цьому швидкість газотворення може досягати 50000 л/с. Такі фізико-хімічні процеси часто призводять до вибуху з подальшим горінням оливи.

Питанням пожежної безпеки в трансформаторах присвячена значна кількість досліджень науковців в усьому світі.

Проводяться дослідження щодо зменшення горючості трансформаторної оливи [8] обмеження її розтікання внаслідок аварії [1]. Вивчаються параметри факела полум'я при різних сценаріях пожеж та вибухів в трансформаторах [9]. Розробляються нові способи раннього моніторингу технічного стану трансформатора, визначення ступеня старіння та інших параметрів, які можуть призвести до аварійної ситуації [10]. Ведеться робота зі створення сучасних систем протипожежного захисту, а саме: водяних та пінних [11, 12], газових [13], аерозольних [14] та противибухових захисних систем трансформаторів [7].

Працюючи над проблемою вибухів у трансформаторах, значних успіхів досягла французька компанія Sergi [7]. Було встановлено, що у випадку важкого ушкодження трансфо-

рматора, стандартні захисні пристрої, такі як диференціал, реле Бухгольца, запобіжний клапан, реле швидкого тиску, вимикач, труба зниження тиску, розширювальний бак не здатні знизити тиск, щоб запобігти вибуху. Загальний час, за який у трансформаторі відбуваються процеси, що спричиняють вибух, становить від 200 до 400 мілісекунд. За цей час стандартний захист просто не встигає спрацювати [7].

Для покращення захисту, компанія розробила систему Sergi Transformer Protector (рис. 1). Система SERGY Transformer Protector [7] довела свою ефективність на практиці як система запобігання вибуху. Національна асоціація протипожежного захисту США (NFPA) внесла розробку компанії до стандартів забезпечення протипожежного захисту оливнонаповнених трансформаторів [15].

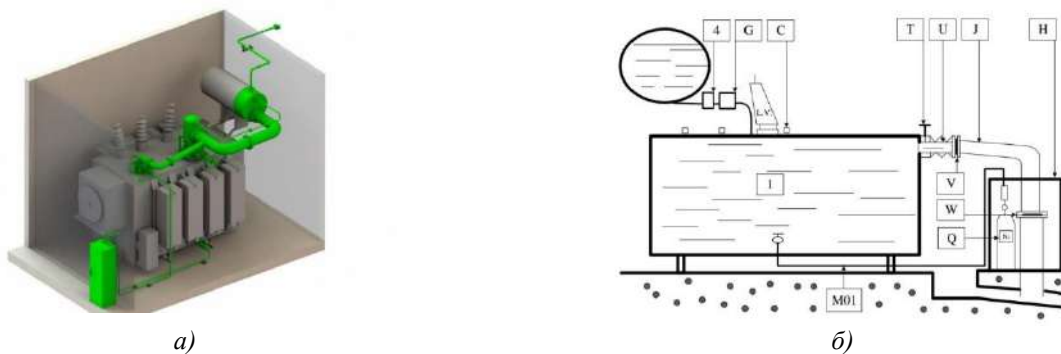


Рисунок 1 – Схема системи пожежогасіння SERGY Transformer Protector [12]:

4 – Реле Бухгольца; G – затвор Sergy; C – датчик пожежі; Т – клапан для обслуговування; U – Абсорбер; J – труба зниження тиску; Н – шафа; V – розривний диск бака трансформатора; W – повітряноізолюючий клапан; Q – азотний циліндр *рис. з сайту <https://sergi-tp.com/fr/>

Система нагнітання азоту здійснює флегматизування газового середовища всередині трансформатора, що запобігає виникненню загоряння. Одночасно працює система стравлювання, яка відводить назовні гази, які утворилися. Така система захисту здатна запобігти вибуху та ліквідувати горіння на ранній стадії, коли гази ще перебувають всередині трансформатора. Проте, як показує дослідження авторів [16], у випадку вибуху з подальшим розповсюдженням вогню за межі трансформатора, така система не буде ефективною.

Автори [16] створили випробувальний майданчик, де проводили випробування з порівняння різних способів гасіння трансформатора. Випробування проводилися на трансформаторі 110 кВ при стандартному температурному випробуванні. Системи протипожежного захисту у кожному випадку були спроектовані відповідно до вимог нормативних документів та наведені у самому дослідженні [16]. Результати цих випробувань наведені у таблиці 2. (таблиця 6).

Таблиця 2

Порівняння способів гасіння пожеж оливнонаповнених трансформаторів [17]

№	Спосіб гасіння	Вогнегасна речовина	Час гасіння пожежі	Гасіння (контроль пожежі)
1.	Дисперсні краплі	Чиста вода	232 с – верхній і бічний вогонь гасне 393 с – інші 2 піддони з оливи не можна загасити	Загасити неможливо
2.	Дисперсні краплі	Олійно-емульгований водний вогнегасний агент	42 с – повне припинення горіння	Висока ефективність гасіння

№	Спосіб гасіння	Вогнегасна речовина	Час гасіння пожежі	Гасіння (контроль пожежі)
3.	Дисперсні краплі зі зняттям 18% форсунок імітація вибуху	Олійно-емульгований водний вогнегасний агент	40 с – повне припинення горіння	Висока ефективність гасіння
4.	Водяний туман	Чиста вода	300 с – не вдалося загасити пожежу	Загасити неможливо
5.	Водяний туман	Пінний вогнегасний агент	144 с – повне припинення горіння	Висока ефективність гасіння
6.	Пінна система пожежогасіння мережевого типу	Вогнегасна піна	78 с – повне припинення горіння	Висока ефективність пожежогасіння
7.	Пінна система пожежогасіння колонного типу	Вогнегасна піна	32 с - повне припинення горіння	Висока ефективність пожежогасіння
8.	Система зливу оливи і впорскування азоту	Азот	90 с – початок зливу масла 260 с – без змін у вогні	Загасити неможливо
9.	Пожежний монітор. Компактний струмінь	Олійно-емульгований водний вогнегасний агент	13 с – повне припинення горіння	Дуже висока ефективність гасіння

Як видно з таблиці 2, за результатами випробувань [16], найкращі результати гасіння були показані пожежним монітором з подаванням компактного струменя води з додаванням вогнегасної емульсії. Система зливу оливи та впорскування азоту для гасіння зовнішньої пожежі трансформатора виявилася зовсім неефективною. Також не вдалося загасити вогонь системою водяного пожежогасіння з застосуванням чистої води.

З проведеного огляду видно, що більшість способів гасіння мають високу вогнегасну ефективність, проте варто зазначити, що конструкції стаціонарних систем протипожежного захисту складаються з багатьох технічних елементів: трубопроводів, клапанів, засувки, розпилювачів, насосів, систем водопостачання, живлення, детектування та диспетчеризації.

Через це існує ймовірність відмови спрацювання систем внаслідок різних технічних причин наприклад: відключення електроживлення, виникнення несправності або іншого технічного збою обладнання.

Через ті самі причини ці системи не здатні забезпечити швидку подачу вогнегасних речовин, яка зможе запобігти вибуху, або обмежити розповсюдження вогню у перші секунди чи хвилини після вибуху, що є необхідною умовою для гасіння саме оливнонаповненого трансформатора [7].

Також недоліком цих систем є їх незахищеність від вибухової ударної хвилі, яка може утворитися у трансформаторі внаслідок вибуху оливоповітряної суміші або ураження підстанції ворожим боєприпасом, в результаті чого конструкції трубопроводів, по яких подається вогнегасна

речовина, можуть бути частково або повністю зруйновані. Авторами [17] пропонується проводити захист трубопроводів шляхом нанесення вогнегасних покриттів та збільшення товщини стінок трубопроводів, проте зрозуміло, що враховуючи силу вибуху цей захист є недостатнім. Інших ефективних технічних рішень для підвищення вибухозахисту установок в наукових розробках чи нормативних документах немає.

Щодо вибору альтернативних вогнегасних засобів для гасіння трансформаторів, то можна сказати, що вогнегасні аерозолі є більш ефективними у порівнянні з іншими засобами, при гасінні горючих рідин що розглянуто, описано і обґрунтовано в роботі [18].

За ефективністю гасіння різних класів пожеж в об'ємі вогнегасні аерозолі мають перевагу порівняно з іншими альтернативними засобами гасіння, такими як водяний туман, порошки, гази та хладони [14]. Аерозольним системам пожежогасіння не потрібні спеціальні ємності для піноутворювачів, агрегати для подачі газів чи рідин під надлишковим тиском, насосне обладнання, запірні арматури, генератори піни або розпилювачі, труби розгалужувачі, складні електронні системи управління тощо, що значно спрощує процес подавання вогнегасного аерозолу з відповідним фазовим складом в осередок пожежі. Вогнегасні аерозолі широко використовуються у світі для гасіння пожеж у різних сферах, зокрема і у електроенергетиці [14]. Компанія Wind power Company (Чилі) встановила аерозольні системи в генераторах електричної енергії, європейська деревообробна компанія Akritas – у трансформаторних приміщеннях і підстанціях, компанія

Perenco oil and gas industry – в приміщеннях електропідстанцій, розташованих на газоконденсатних родовищах, торгова та гірничодобувна австралійська компанія Glencore plc – на електричній підстанції та силових трансформаторах на 1,8 км під землею в шахтах Маунт-Іза в Квінсленді [14], що вказує на перспективність застосування аерозолію для гасіння такого типу пожеж.

Результати дослідження

Вогнегасний аерозоль у разі гасіння ним пожеж класу В діє комплексно, чим забезпечується його висока вогнегасна ефективність, завдяки утворенню дрібнодисперсної конденсованої фази та газів флегматизаторів. Внаслідок цього, аерозоль, при потраплянні в зону горіння, суттєво сповільнює усі ланцюгові фізико-хімічні процеси, необхідні для горіння рідини, забезпечує хорошу охолоджувальну, флегматизувальну, інгібувальну та екранувальну дії.

Висока ефективність гасіння трансформатора аерозолем буде забезпечуватись такими процесами:

- в момент випаровування трансформаторної оливи аерозоль буде забезпечувати флегматизування горючого середовища;

- під час горіння трансформаторної оливи буде відбуватись інгібування хімічних реакцій в полум'ї свіжоутвореними дрібнодисперсними твердими частинками аерозолію (K_2CO_3 , $KHCO_3$, KOH , KCl та ін.) і продуктами їх розпаду (K_2O , KO та ін.);

- під час горіння трансформаторної оливи буде забезпечуватись захист дзеркала горючої рідини від теплової радіації полум'я завдяки поглинанню частинками аерозолію теплових променів, що йдуть від зони горіння;

- зниженням температури зони горіння через поглинання тепла при нагріванні, плавленні, випаровуванні і розкладанні твердих частинок аерозолію;

- припиненням горіння завдяки перемішуванню горючої рідини (при підшаровому гасінні);

- тривалим часом захисної дії завислих частинок вогнегасного аерозолію в умовно герметичному об'ємі – близько 25 хв, що цілком достатньо для унеможливлення продовження горіння завдяки охолодженню нагрітих огороджувальних конструкцій.

Усі ці переваги та приклади застосування аерозолів, стосуються гасіння пожеж в закритому об'ємі. Проте результати досліджень авторів [19, 20] показали, що вони можуть також ефективно гасити пожежі на відкритому просторі, але параметри його ефективності на відкритому просторі в достатній мірі не досліджені. Зокрема відсутні розрахунки параметрів ефективної роботи генераторів вогнегасного аерозолію та методи їх застосування на відкритому просторі. Немає даних про необхідну

інтенсивність подавання вогнегасного аерозолію при різних розмірах вогнищ.

Спираючись на результати експериментальних досліджень [14, 18] вогнегасних аерозолів, в сфері об'ємного гасіння пожеж класу «В», можна зробити висновок, що наразі він може бути ефективним, дешевим, експлуатаційно привабливим вогнегасним засобом для стаціонарних систем протипожежного захисту трансформаторних підстанцій. Також його можна застосовувати поряд з існуючими системами азотного гасіння [7,13], причому це призведе до збільшення ефективності гасіння та флегматизування шляхом добавлення газів флегматизаторів, що відповідає висновкам роботи [20].

Вогнегасні речовини, які використовуються в системах пожежогасіння електричних підстанцій, мають високу вогнегасну та флегматизувальну ефективність, проте вони не можуть забезпечити швидкої подачі вогнегасних речовин, що є необхідною умовою для протидії пожежі в електричних трансформаторах. Також існує значний ризик відмови в роботі систем, а їх конструкції слабо захищені від вибуху.

Враховуючи результати вищезазначеного аналізу можна сказати, що для ефективного гасіння електропідстанцій, в тому числі з трансформаторами, необхідно зменшувати час активації установки пожежогасіння, захищати конструкції системи від вибуху, підвищувати надійність систем шляхом спрощення їх конструкції та принципу роботи, створювати нові ефективні вогнегасні речовини для флегматизації горючого середовища та гасіння полум'я, розробляти системи з можливістю гасіння полум'я ззовні та флегматизації газового середовища всередині електричного обладнання одночасно.

Висновок. Теоретично обґрунтовано підвищення ефективності гасіння пожеж на відкритих електричних підстанціях завдяки використанню вогнегасних аерозолів. Встановлено, що для ефективного гасіння пожеж електричних підстанцій, в тому числі трансформаторів, теоретично найбільше в якості вогнегасного засобу підходить вогнегасний аерозоль, який володіє відповідними для цього характеристиками: швидка активація системи (низька інерційність спрацювання), висока вогнегасна та флегматизувальна ефективність, простота конструкції та надійність, вибухозахищеність (вибухостійкість), висока інтенсивність подачі вогнегасної речовини, достатня тривалість подачі вогнегасних речовин, ефективність застосування на відкритому просторі, екранувальна здатність, а також можливість гасіння пожежі ззовні та флегматизація газового середовища всередині трансформатора одночасно.

Список літератури:

1. Климась Р. В. Удосконалення методу прогнозування припинення та поширення горіння системою вогнеперешкоджання на маслонаповнених трансформаторних підстанціях: дис. ... д-ра філос. 261. Львів, 2022. 169 с.

2. Боднар Д, Поліщук С., Бранко Б. Методичні рекомендації щодо порядку дій аварійно-рятувальних формувань ДСНС під час гасіння пожеж на сонячних електростанціях. Головне управління ДСНС України у Хмельницькій області. Хмельницький. 2020. 53 с.

3. В ОГП назвали кількість енергооб'єктів, вражених ударами РФ: яка статистика по регіонах.: веб-сайт. URL: delo.ua/energetics/v-ogp-nazvali-kilkist-energoobjektiv-vrazenix-udarami-rf-yaka-statistika-po-regionax-412112/ (дата звернення 08.11.2023)

4. У ПРООН озвучили оцінки збитків для енергетики України від війни у 2022 році.: веб-сайт. URL: delo.ua/energetics/u-proon-ozvucili-ocinki-zbitkiv-dlya-energetiki-ukrayini-vid-viini-u-2022-roci-414396/ (дата звернення 08.11.2023)

5. William H. Bartley P. E. Analysis of Transformer Failures: International Association of Engineering Insurers 36th Annual Conference – Stockholm, 2003. 14 с.

6. Jiaqing, Z., Yubiao, H., Xinjie, Q. et al. A Review on Fire Research of Electric Power Grids of China: State-Of-The-Art and New Insights. Fire Technology. 2022. DOI: 10.1007/s10694-022-01343-x.

7. Transformer protector: веб-сайт. URL: sergi-tp.com/solutions/transformer-protector/

8. Климась Р.В. Визначення безпечної величини температури трансформаторного масла. Scientific Collection «InterConf», (94): with the Proceedings of V International scientific and practical conference «Science, Education, Innovation: Topical Issues and Modern Aspects» (December 25-26, 2021). Tallinn, Estonia: Üingu Teadus juhatus, 2021. P. 574-578.

9. Ruibang Sun, Juncal Wang, Xing Yang, and Peng Chen* Experimental Research on the Combustion Characteristics of Transformer Oil Jet Fires in Oil-Filled Equipment under Heat ACS Omega. 2021, 6, 47, 31843–31853. DOI: 10.1021/acsomega.1c04551.

10. Hachimenum N. Amadi, Fabian I. Izuegbunam. Analysis of Transformer Loadings and Failure Rate in Onitsha Electricity Distribution Network. American Journal of Electrical and Electronic Engineering. 2016. Vol. 5, No. 6, P. 157-163 DOI: 10.12691/ajeee-4-6-2.

11. Lu, J., Chen, BH., Liang, P. et al. Experimental Evaluation of Protecting High-Voltage Electrical Transformers Using Water Mist with and without Additives. Fire Technology, 2019, 55, 1671–1690. DOI: 10.1007/s10694-019-00825-9.

12. Посилання на сайт: rotarexfiretec.com/?ppc_keyword=fire%20extinguishing%20system&gclid=Cj0KCQjw_r6hBhDdARIsAMIDhV92PBmR3OX

XUcyUawDSVkJXhMcuHlu5ClgvtovX6gw-XDlBa9w-Ie30aAk7DEALw_wcB

13. Engineered fire suppression systems: веб-сайт. URL: www.firetrace.com/engineered-fire-suppression-systems (дата звернення: 08.11.2023)

14. Meenakshi R., Amit S., Yogesh K., Inderpal S., Kumar T., Rajiv N «Condensed Aerosol Based Fire Extinguishing System Covering Versatile Applications: A Review». Fire Technology. 2022. Vol. 58, P. 327–351 DOI: 10.1007/s10694-021-01148-4

15. National Fire Protection Association. Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. Quincy, 2015.

16. Yu Liu *, Bo Li, Chuanping Wu, Baohui Chen and Bichen Pan, State Key. Effectiveness Test and Evaluation of Transformer Fire Extinguishing System. Fire Technology. 2022, 58, 3167–3190. DOI: 10.1007/s10694-022-01297-0.

17. W. Li et al., Experimental Study on Effects of Nozzle Explosion Damage on Performance of Water Spray Fire Protection System of Ultra-high Voltage Transformer: 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), Chongqing, China, 2021, pp. 1200-1206, doi: 10.1109/ACPEE51499.2021.9437001.

18. Баланюк В. М., Мирошкін В. С., Копистинський Ю. О., Гірський О. І., Гарасим'юк О. І. Порівняння вогнегасних речовин для гасіння пожеж легкозаймистих та горючих рідин. Пожежна безпека. 2022. №41. С. 12-19. DOI: 10.32447/20786662.41.2022.02.

19. Баланюк В. М. Визначення ефективності гасіння вогнегасними аерозолями горючих рідин на відкритому просторі. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. ISSN 1729-3774 5/10 (77) 2015 DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51399.

20. Баланюк В. М., Грималюк Б. Т., Кіт Ю. В., Левуш С. С. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів / Вісник НУ “Львівська політехніка”. 2004. №497. С 11-12.

References:

1. Klymas R. V. Improvement of the method of predicting the cessation and spread of burning by the fire prevention system at oil-filled transformer substations: dys. d-ra f. Lviv, (2022). 169 s.

2. Bodnar , Polishchuk ., Branko . «Methodical recommendations regarding the procedure of emergency and rescue formations of the State Emergency Service during Khasinya fires at solar power plants.» Holovne upravlinnia DSNS Ukrainy u Khmelnytskii oblasti. Khmelnytskyi. (2020) 53 s.

3. V OHP nazvaly killist enerhoobjektiv, vrazhenykh udamy RF: yaka statystyka po rehionakh.: veb-sait. URL: delo.ua/energetics/v-ogp-nazvali-kilkist-energoobjektiv-vrazenix-udarami-rf-

yaka-statistika-po-regionax-412112/
(data zvernennia 08.11.2023)

4. U PROON ozvuchyly otsinky zbytkiv dlia enerhetyky Ukrainy vid viiny u 2022 rotsi.: veb-sait. URL: delo.ua/energetics/u-proon-ozvucili-ocinki-zbitkiv-dlya-energetiki-ukrayini-vid-viiny-u-2022-roci-414396/ (data zvernennia 08.11.2023)

5. William H. and Bartley P.E. Analysis of Transformer Failures: International Association of Engineering Insurers 36th Annual Conference – Stockholm, (2003). 14 s.

6. Jiaqing, Z., Yubiao, H., and Xinjie, Q. et al. «A Review on Fire Research of Electric Power Grids of China: State-Of-The-Art and New Insights». Fire Technology. 2022. DOI: 10.1007/s10694-022-01343-x.

7. Transformer protector: веб-сайт.
URL: sergi-tp.com/solutions/transformer-protector/

8. Klymas R.V. «Determination of the safe temperature value of the transformer oil». Scientific Collection «InterConf», (94): with the Proceedings of V International scientific and practical conference «Science, Education, Innovation: Topical Issues and Modern Aspects» (December 25-26, 2021). Tallinn, Estonia: Üingu Teadus juhatus, 2021. P. 574-578.

9. Ruibang Sun, Juncai Wang, Xing Yang, and Peng Chen* «Experimental Research on the Combustion Characteristics of Transformer Oil Jet Fires in Oil-Filled Equipment under Heat ACS Omega.» 2021, 6, 47, 31843–31853.
DOI: 10.1021/acsomega.1c04551.

10. Hachimenum N. Amadi, and Fabian I. Izuegbunam. «Analysis of transformer loadings and failure rate in Onitsha electricity distribution network. American journal of electrical and electronic Engineering. (2016). Vol. 5, No. 6, P. 157-163
DOI: 10.12691/ajeec-4-6-2.

11. Lu, J., Chen, BH., and Liang, P. et al. «Experimental Evaluation of Protecting High-Voltage Electrical Transformers Using Water Mist with and without Additives». Fire Technology, (2019), 55, 1671–1690. DOI: 10.1007/s10694-019-00825-9.

12. Posylannia na sait
rotarexfiretec.com/?ppc_keyword=fire%20extinguishi

ng%20system&gclid=Cj0KCQjw_r6hBhDdARIsAMI
DhV92PBmR3OXXUcyUawDSVvXhMcuHlu5Clgv
toVX6gw-XDlBa9w-Ie30aAk7DEALw_wcB

13. Engineered fire suppression systems: web sait.
URL: www.firetrace.com/engineered-fire-suppression-systems (data zvernennia 08.11.2023)

14. Meenakshi R., Amit S., Yogesh K., Inderpal S., Kumar T., and Rajiv N, «Condensed Aerosol Based Fire Extinguishing System Covering Versatile Applications: A Review.» Fire Technology. (2022). Vol. 58, P. 327–351 DOI: 10.1007/s10694-021-01148-4

15. National Fire Protection Association. Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. Quincy, (2015).

16. Yu Liu *, Bo Li, Chuanping Wu, Baohui Chen and Bichen Pan, State Key. «Effectiveness Test and Evaluation of Transformer Fire Extinguishing System». Fire Technology. (2022), 58, 3167–3190.
DOI: 10.1007/s10694-022-01297-0.

17. W. Li ., «Experimental Study on Effects of Nozzle Explosion Damage on Performance of Water Spray Fire Protection System of Ultra-high Voltage Transformer»: 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), Chongqing, China, (2021), pp. 1200-1206,
doi: 10.1109/ACPEE51499.2021.9437001.

18. Balaniuk V, Myroshkin V, Kopystynskyi Y , Hirskeyi O, and Harasymyuk O. «Comparison of fire extinguishing agents for extinguishing fires involving flammable and combustible liquids» Pozhezhna bezpeka. 2022. №41. S. 12-19.
DOI: 10.32447/20786662.41.2022.02.

19. Balaniuk V. M. «Determining the effectiveness of extinguishing flammable liquids with fire-extinguishing aerosols in open space» Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovikh tekhnolohii. (2015). ISSN 1729-3774 5/10 (77) 2015
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51399.

20. Balanyuk V.M., Hrymalyuk B.T., KitYu.V., Levush S.S. «The influence of the gas phase on the effectiveness of fire-extinguishing aerosols» Visnyk NU “L'vivskapolitekhnik”. 2004. №497. S 11-12.

© В. М. Баланюк, В. С. Мирошкін, Н. І. Гузар,
О. І. Гарасим'юк, Ю. О. Копистинський, 2023.
Оглядова стаття.
Надійшла до редакції 14.11.2023.
Прийнято до публікації 06.12.2023.



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

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1290-706X> – Т. Г. Бережанський

<https://orcid.org/0000-0003-1655-3825> – О. Ю. Пазен

<https://orcid.org/0000-0002-6964-5929> – В. В. Придатко



[berezansky90@gmail.com](mailto:berezhansky90@gmail.com)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДУМОВ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ РЯТУВАЛЬНИКА

Проблема. Розвиток науки, техніки та технологій в ХХІ столітті відбувається шаленими темпами. Із появою в нашому житті продуктів новітніх технологій також ускладнюються виклики для пожежно-рятувальних підрозділів при ліквідації пожеж та наслідків надзвичайних ситуацій. Електрифіковані пристрої та технології різного призначення такі як електромобілі, електросамокати, сонячні батареї та інші підвищують ризик ураження рятувальників електричним струмом під час пожежогасіння. Ураження електричним струмом може спричинити опіки, втрату свідомості чи навіть призвести до летальних наслідків. А ураження струмом рятувальника під час ліквідації пожежі є ще небезпечнішим, оскільки окрім загрози життю та здоров'ю від ураження струмом, також загрозу несуть вражаючі небезпечні фактори пожежі чи іншої надзвичайної ситуації. А втрата свідомості, якою часто супроводжується ураження електричним струмом, становить додаткову загрозу для рятувальника.

На сьогодні існує ряд нормативних документів та обладнання для забезпечення електробезпеки рятувальника під час ліквідації пожеж та надзвичайних ситуацій. Ці методи є ефективними лише тоді, коли ураження електричним струмом можливо спрогнозувати. Тобто, коли небезпека є очевидною. Небезпеку може становити наявність альтернативних джерел енергії та пристроїв для її акумуляції та експлуатації. До прикладу сонячні панелі та транспортні засоби з електроприводом. Також джерела живлення у разі відключення електроенергії, такі як генератори, зарядні станції та джерела живлення заводського виробництва.

Якщо небезпека ураження електричним струмом не є очевидною, то використати наявні методи електробезпеки рятувальників неможливо. Тому розробка, дослідження та впровадження у постійну експлуатацію пожежно-рятувальних підрозділів автоматизованих пристроїв електробезпеки рятувальників при ліквідації пожеж є актуальним науковим та науково-технічним завданням сьогодення.

Мета. Розробити автоматичний пристрій електробезпеки рятувальника та обґрунтувати місце його знаходження на рукавній лінії.

Методи дослідження. При вирішенні даного науково-технічного завдання використовувався емпіричний метод досліджень. Даний метод застосований для збору необхідних даних та отримання узагальнених даних, які дозволяють правомірно відобразити характеристики всієї сукупності предметів або явищ, що мають вплив у досліджуваному напрямку.

Основні результати дослідження. Вирішення даного науково-технічного завдання, тобто автоматизованого пристрою електробезпеки рятувальників під час ліквідації пожеж полягає у застосуванні електромагнітних клапанів постійно відкритого типу на ділянці робочої лінії та пожежного ствола.

Застосування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника під час ліквідації пожеж дозволить значно зменшити ймовірність ураження електричним струмом рятувальника або суттєво скоротить час дії електричного струму на нього, що мінімізує наслідки такої дії. Застосування таких пристроїв дозволить вберегти рятувальників від дії джерел електричного струму, які неможливо спрогнозувати, що підвищить безпеку рятувальників та захистить життя та здоров'я як самих рятувальників, так і потерпілих, які чекають на порятунок. Також досліджено оптимальне розташування пристрою та оцінено переваги та недоліки варіантів розташувань.

Висновки. Застосування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника під час ліквідації пожеж дозволить значно зменшити ймовірність ураження електричним струмом рятувальника, який здійснює пожежогасіння або суттєво скоротить час дії електричного струму на нього, що мінімізує наслідки такої дії. Застосування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника дозволить вберегти рятувальників від дії джерел електричного струму, які неможливо спрогнозувати, що підвищить безпеку рятувальників та захистить життя та здоров'я як самих рятувальників, так і потерпілих, які чекають на порятунок.

Використання автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника як проміжного елемента між рукавом робочої лінії та пожежним стволом дозволить використовувати його із стволами різних виробників та навіть із стволами старих взірців, дозволить без значних економічних затрат та заміни обладнання впровадити у підрозділи ДСНС, у разі

хибного спрацювання дасть змогу рятувальнику легко та швидко від'єднати пристрій та продовжити роботу за призначенням, а також не буде впливати на формування струменя, зручність роботи рятувальника і маневреність ствола.

Ключові слова: автоматичний пристрій електробезпеки рятувальника, пожежна техніка, пожежні стволи.

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

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

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

Problem. The development of science, technology and technology in the 21st century is happening at a frantic pace. With the appearance in our lives of products of the latest technologies, the challenges for fire and rescue units in eliminating fires and the consequences of emergencies are also becoming more complicated. Electrified devices and technologies for various purposes, such as electric cars, electric scooters, solar batteries and others, increase the risk of electrocution of rescuers during firefighting. Electric shock can cause burns, loss of consciousness or even death. Moreover, electrocution of a rescuer during firefighting is even more dangerous because, in addition to the threat to life and health from electric shock, the impressive factors of a fire or other emergency are also a threat. Loss of consciousness, which is often accompanied by electric shock, poses an additional threat to the rescuer.

Today, there are several regulatory documents and equipment to ensure the electrical safety of the rescuer during the liquidation of fires and emergencies. These methods are only effective when electrocution can be predicted. That is when the danger is obvious. The presence of alternative sources of energy and devices for its accumulation and operation can be dangerous. For example, solar panels and electric vehicles. Also power sources in the event of a power outage, such as generators, charging stations and non-factory power sources.

Purpose. If the danger of electric shock is not obvious, then it is impossible to use the available methods of electrical safety for rescuers. Therefore, the development, research and introduction into the permanent operation of fire and rescue units of automated electrical safety devices for rescuers during fire suppression is an urgent scientific and scientific and technical task of today.

Results. The method of solving this scientific and technical task, that is, the automated device for the electrical safety of rescuers during fire suppression, is the use of electromagnetic valves of the constantly open type in the area of the working line and the fire trunk.

The use of an automatic electrical safety device of a hose line during firefighting will allow to significantly reduce the probability of electrocution of the rescuer or will significantly reduce the time of the electric current on him, which will minimise the consequences of such an action. The use of such devices will protect rescuers from the effects of electric current sources that can not be predicted, which will increase the safety of rescuers and protect the life and health of both the rescuers themselves and the victims who are waiting for rescue. The optimal location of the device was also investigated and the advantages and disadvantages of the location options were evaluated.

Conclusions. The use of the automatic electrical safety device of the sleeve line as an intermediate element between the sleeve of the working line and the fire barrel will allow it to be used with barrels of different manufacturers, and it will allow to be implemented in the units of the State Emergency Service of Ukraine without significant economic costs and replacement of equipment, in the event of a malfunction, it will allow the rescuer to easily and quickly connect the device and continue working as intended, and will not affect the formation of the jet, the convenience of the rescuer's work and the manoeuvrability of the barrel.

Keywords: automatic rescuer's electrical safety device, fire equipment, fire barrels.

Постановка проблеми. Беззаперечним є факт, що розвиток науки, техніки та технологій в ХХІ столітті відбувається шаленими темпами. Продукти новітніх технологій, які ще кілька років тому здавались фантастикою, сьогодні стають предметами щоденного вжитку чи навіть необхідністю комфортної життєдіяльності. Проте із появою в нашому житті продуктів новітніх технологій також ускладнюються виклики для пожежно-рятувальних підрозділів при ліквідації пожеж та наслідків надзвичайних ситуацій. Електрифіковані пристрої та технології різного призначення такі як електромобілі, електросамокати, сонячні батареї та інші підвищують ризик ураження рятувальників електричним струмом під час пожежогасіння. Адже під час ліквідації більшості пожеж як

вогнегасна речовина застосовується вода, яка за своїм хімічним складом є провідником електричного струму.

Згідно ПУЕ ураження електричним струмом (англ. «electricshock») – патофізіологічний стан, спричинений проходженням електричного струму через тіло людини або тварини [1]. Ураження електричним струмом може спричинити опіки, втрату свідомості чи навіть призвести до летальних наслідків. А ураження струмом рятувальника під час ліквідації пожежі є ще небезпечнішим, оскільки окрім загрози життю та здоров'ю від ураження струмом, також загрозу несуть вражаючі небезпечні фактори пожежі чи іншої надзвичайної ситуації. А втрата свідомості, якою часто супроводжується ураження електричним струмом, становить додаткову загрозу для рятувальника, адже в

охопленому вогнем приміщенні може загрожувати його життю. Також ураження електричним струмом може коштувати життя потерпілим, які чекають порятунку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

На сьогодні існує ряд нормативних документів та обладнання для забезпечення електробезпеки рятувальника під час ліквідації пожеж та надзвичайних ситуацій. Це і заборони введення вогнегасних речовин до відключення електроживлення об'єкту, оснащення пожежної техніки діелектричними комплектами, заземлення пожежного обладнання при ліквідації пожежі під напругою та інші [2-5].

Невирішені раніше частин загальної проблеми. Методи електробезпеки, які зазначені вище, є ефективними лише тоді, коли ураження електричним струмом можливо спрогнозувати. Тобто, коли небезпека є очевидною. Проте у роботі пожежно-рятувальні підрозділи переважно здійснюють ліквідацію пожеж із подачею вогнегасних речовин на мало знайомих об'єктах. На таких об'єктах може не бути проживаючих чи представників робочого персоналу, які можуть надати інформацію про системи електроживлення, або ж ці особи можуть бути потерпілими. Також існують випадки, коли інформація подана власниками об'єктів для оперативних карток чи планів про електроживлення є не повною чи недостовірною через використання незаконних електромереж. Додаткову небезпеку ураження електричним струмом рятувальника під час ліквідації пожежі складає наявність альтернативних джерел енергії та пристроїв для її акумуляції та експлуатації. До прикладу сонячні панелі та транспортні засоби з електроприводом. Також джерела живлення у разі відключення електроенергії, такі як генератори, зарядні станції (Bluetti, EcoFlow та інші) та джерела живлення заводського виробництва (саморобні) [6-11].

Якщо небезпека ураження електричним струмом не є очевидною, то використати наявні методи електробезпеки рятувальників неможливо. Тому розробка, дослідження та впровадження у постійну експлуатацію пожежно-рятувальних підрозділів автоматизованих пристроїв електробезпеки рятувальників при

ліквідації пожеж є актуальним науковим та науково-технічним завданням сьогодення. Також важливо, щоб ці пристрої не чинили негативного впливу на зручність роботи рятувальника та час введення вогнегасних речовин для локалізації та ліквідації пожеж.

Мета статті. Розробити автоматичний пристрій електробезпеки рятувальника та обґрунтувати місце його знаходження на рукавній лінії.

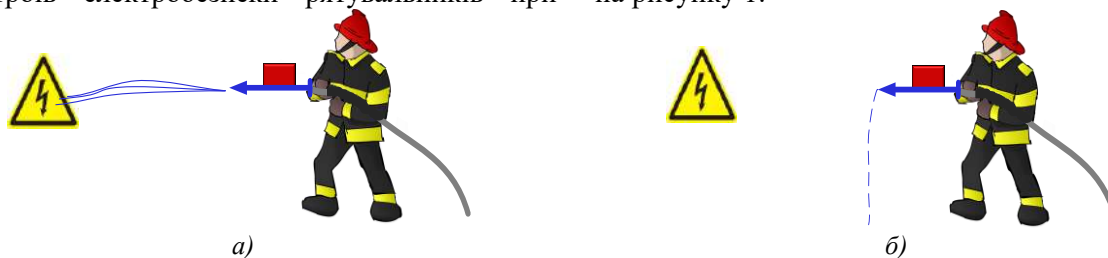
Методи дослідження. При вирішенні даного науково-технічного завдання використовувався емпіричний метод досліджень. Даний метод застосований для збору необхідних даних та отримання узагальнених даних, які дозволяють правомірно відобразити характеристики всієї сукупності предметів або явищ, що мають вплив у досліджуваному напрямку.

Методом вирішення даного науково-технічного завдання, тобто автоматизованого пристрою електробезпеки рятувальників під час ліквідації пожеж є обґрунтоване застосування електромагнітних клапанів постійно відкритого типу на ділянці робочої лінії та пожежного ствола.

Виклад основного матеріалу.

Електромагнітний клапан – це пристрій, який забезпечує автоматичне керування потоком робочого середовища по команді у вигляді електричного сигналу: або при його подачі, або при знятті. Принцип роботи електромагнітного клапана базується на взаємодії котушки, по якій проходить електричний струм, з металевим сердечником – на їх відносному русі. Пов'язаний з сердечником затвор, переміщаючись, відкриває або блокує рух робочого середовища (води).

Принцип дії нормально відкритого клапана полягає в тому, що в статичному положенні клапан знаходиться у відкритому положенні і не перешкоджає руху води трубопроводом чи у нашому випадку – рукавною лінією чи стволом, а при подачі напруги на котушку клапан закривається перешкоджаючи руху води трубопроводом (повністю або частково) чи в даному випадку рукавом або стволом. Принцип роботи автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника при подачі компактного струменя представлено на рисунку 1.



Рисунки 1 – Принцип роботи автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника при подачі компактного струменя а) робота рукавної лінії зі стволом до спрацювання пристрою; б) результат спрацювання пристрою

В пожежному обладнанні принцип дії клапана полягає в тому, що під час звичайної експлуатації, клапан знаходиться у відкритому положенні, що дозволяє безперешкодно здійснювати подачу вогнегасних речовин, також він не повинен створювати додаткових місцевих опорів для потоку рідини, які б суттєво впливали на напір на стволі та формування струменя.

У випадку, якщо водяний струмінь, з яким працює рятувальник, потрапить на джерело електроживлення, вода проведе електричний струм

до котушки клапана, спрацює електромагніт та клапан автоматично перекриє (частково або повністю) потік води. В наслідок цього струмінь з пожежного ствола перестане взаємодіяти з джерелом електроживлення та вплив (або потенційний вплив) електричного струму на рятувальника припиниться. Схема принципу роботи та схематична будова електромагнітного клапана у автоматичному пристрої електробезпеки рятувальника представлений на рисунку 2.

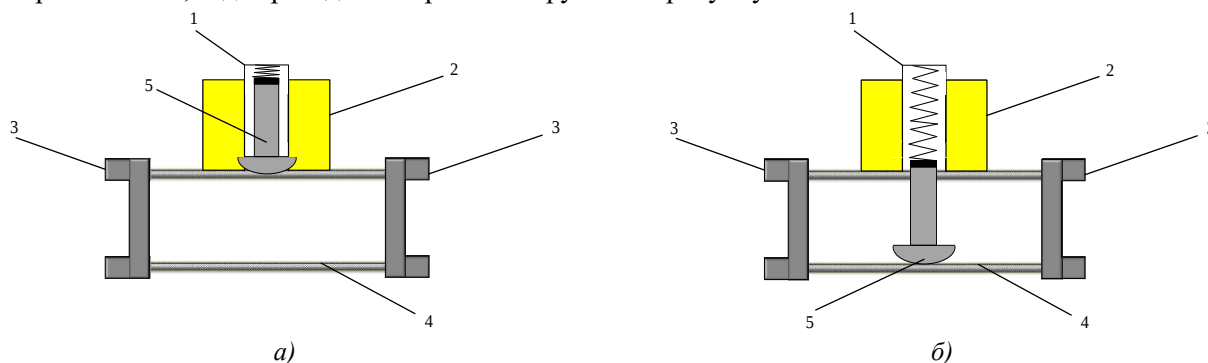


Рисунок 2 – Схема принципу роботи та схематична будова електромагнітного клапана у автоматичному пристрої електробезпеки рятувальника 1 – корпус штока з пружиною; 2 – електромагнітна котушка; 3 – з'єднувальні головки; 4 – трубопровід (рукавна лінія); 5 – шток.

Таким чином результатом роботи такого автоматизованого пристрою електробезпеки є унеможливлення ураження електричним струмом рятувальника, який здійснює пожежогасіння або суттєве скорочення часу дії електричного струму на нього, що мінімізує наслідки такої дії для здоров'я, життя та можливості виконання завдань за призначенням.

Дискусійним залишається питання оптимального розташування автоматизованого пристрою електробезпеки на рукавній лінії.

Враховуючи призначення та потенційну експлуатацію пристрою, на думку авторів, можливим є наступні місцями розміщення та використання автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника: 1) як насадка на пожежний ствол; 2) як вбудований елемент пожежного ствола; 3) як проміжний елемент між рукавом робочої лінії та пожежним стволом. Схема можливого розміщення автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника представлена на рисунку 3.

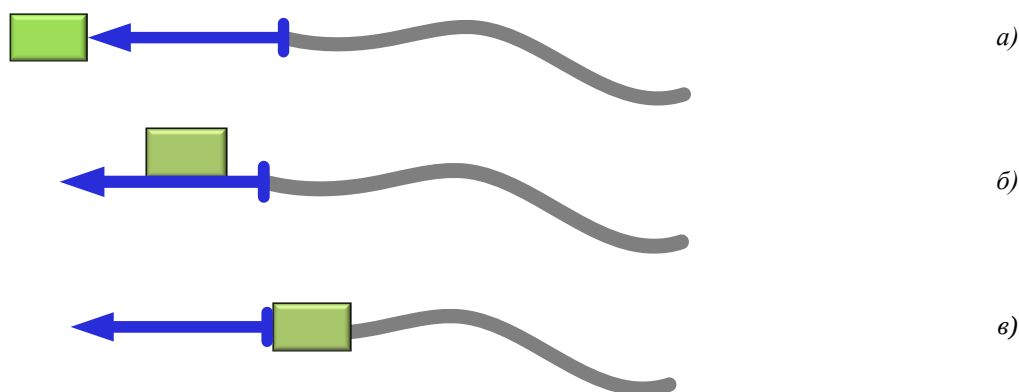


Рисунок 3 – Схема можливого розміщення автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника а) як насадка на пожежний ствол; б) як вбудований елемент пожежного ствола; в) як проміжний елемент між рукавом робочої лінії та пожежним стволом

Кожен із запропонованих варіантів розміщення має свої переваги та недоліки.

Отже для вибору оптимального розміщення пристрою необхідно їх розглянути.

Розглянемо перший варіант розміщення – як насадка на пожежний ствол. Перевагою такого розміщення є найближче розташування пристрою до потенційного джерела електричного струму. Тобто в такому випадку пристрій розташовано на ділянці перед пожежним стволом, а отже перед руками рятувальника що його тримають. У разі використання даного варіанту розміщення, спрацювання автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника повністю унеможливить ураження електричним струмом людини, що працює зі стволом або час дії електричного струму на неї буде найменшим серед запропонованих варіантів.

Недоліками такого розташування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника є можливе перешкоджання утворення якісного струменя, складність з'єднання пристрою із стволами різних виробників та типів, а також збільшення габаритів пожежного ствола, що може вплинути на маневреність та ускладнити роботу рятувальника.

Недолік перешкоджання утворення якісного струменя, полягає у тому, що додаткова насадка може погіршити якість компактного струменя, а також унеможливити подачу розпиленого струменя у стволах, які передбачають таку можливість.

Складність з'єднання пристрою із стволами різних виробників та типів полягає в тому, що сьогодні у пожежно-рятувальних підрозділах України використовують стволи різних виробників та конструкцій. Влаштувати уніфіковане з'єднання пристрою із різними стволами, яке б забезпечило надійність роботи пристрою та ствола і непорушність пристрою при падіннях ствола та ударах є надскладним завданням.

Розглянемо другий варіант розміщення пристрою – як вбудований елемент пожежного ствола. Перевагами такого варіанту розміщення є відсутність додаткових елементів рукавної лінії зі стволом та додаткових з'єднань, а також відповідно розробка автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника безпосередньо виробником ствола, що дозволить оптимально розмістити його в пожежному стволі з мінімальним впливом на його характеристики та габарити. Також перевагою такого розміщення є унеможливлення в процесі оперативного розгортання забути додатковий елемент рукавної лінії, тобто автоматичний пристрій електробезпеки рятувальника, оскільки він уже вмонтований у пожежний ствол.

Недоліками такого методу розміщення пристрою є складність переконання усіх виробників пожежних стволів у необхідності внесення змін у будову та конструкцію стволів, значні затрати виробниками на нові інженерні та конструкторські рішення, складність комунікації із виробниками

стволів (особливо закордонними) та різниця характеристик пристроїв у різних виробників, що практично унеможливить обслуговування (відновлення експлуатаційної здатності) пожежних стволів після спрацювання автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника. Також недоліком є необхідність заміни усіх пожежних стволів, що зараз використовуються в усіх підрозділах ДСНС для убезпечення рятувальників від ураження електричним струмом, що є надзвичайно економічно затратним.

Суттєвим недоліком такого методу розміщення пристрою є також унеможливлення рятувальником подальшого виконання дій за призначенням у разі хибного спрацювання пристрою або спрацювання, що не завдало шкоди від електричного струму рятувальнику. Тобто спрацювання пристрою перекриває подачу води стволом, що не дасть змоги продовжити гасіння пожежі або безпечно повернутись із будівлі.

Розглянемо третій варіант розміщення пристрою – як проміжний елемент між рукавом робочої лінії та пожежним стволом. Недоліком такого методу розміщення є розташування позаду рук рятувальника, що тримає пожежний ствол. Тобто в разі потрапляння на джерело електричного струму, ураження ним рятувальника є більш імовірним у порівнянні з вищезгаданими методами розміщення, хоч і короткотерміновим. Також існує можливість забути пристрій в процесі оперативного розгортання.

Не зважаючи на ці недоліки, на думку авторів, це оптимальний метод розміщення автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника, оскільки має ряд беззаперечних переваг, а саме:

- можливість легкого від'єднання пристрою рятувальником та подальшого виконання дій за призначенням у разі хибного спрацювання пристрою або спрацювання, що не завдало шкоди від електричного струму рятувальнику. Також можливість безпечного виходу з будівлі рятувальника із готовим до експлуатації пожежним стволом для надання медичної допомоги у разі, якщо рятувальника вразило електричним струмом, він перебуває у свідомості та може самостійно покинути будівлю;

- зручність з'єднання для стволів різних виробників, оскільки з'єднання відбувається типовими з'єднувальними головками, що є однотипними у всіх стволів та рукавів, які використовуються підрозділами ДСНС України;

- уніфікована будова пристрою, яка не залежить від будови ствола, а відповідно може застосовуватись у поєднанні із широкою номенклатурою пожежних стволів;

- можливість застосування із пожежними стволами взірців минулого століття, таких як

РСК50, РС70 та інші;

– швидкість впровадження в підрозділи. Для впровадження у підрозділи ДСНС України автоматичних пристроїв електробезпеки рятувальника, достатньо просто забезпечити ними підрозділи, без необхідності заміни існуючого в підрозділі устаткування;

– можливість застосування типової будови для рукавів різних діаметрів у тому числі рукавів пожежних кран-комплектів та інших пристроїв пожежогасіння, змінюючи лише діаметр пропускного отвору та розміри з'єднувальних головок;

– пристрій не впливає на формування та якість

пожежного струменя, а також мінімізує вплив на зручність роботи рятувальника та маневреність пожежного ствола;

– економічні затрати на впровадження. Простота будови, однотипні з'єднання та можливість застосування із різними стволами дозволяє без значних економічних затрат підвищити безпеку рятувальників від ураження електричним струмом під час гасіння пожеж.

Схема будови та оптимального місця розташування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника представлена на рисунку 4.

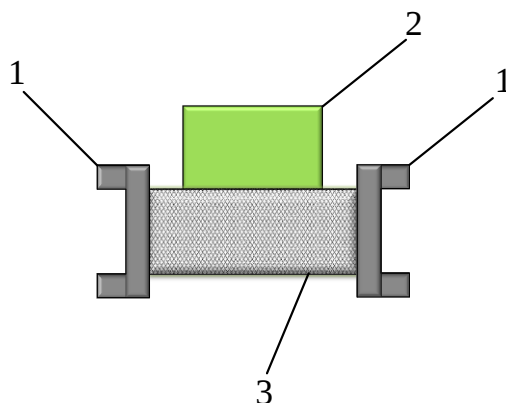


Рисунок 4 – Схема будови та оптимального місця розташування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника 1 – з'єднувальні головки; 2 – електромагнітний клапан з протиударним корпусом; 3 – рукавна лінія (трубопровід)

Будова автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника буде залежати від місця розташування пристрою та потребує подальших досліджень. Будова електромагнітного клапана для пристрою потребує подальшого удосконалення для зручності використання, оскільки експлуатація в умовах пожежогасіння та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій відрізняється від експлуатації більшості електромагнітних клапанів, що застосовуються у промисловості. Такий пристрій повинен бути ударостійким, надійно працювати в широкому діапазоні температур та мінімізувати можливість хибного спрацювання, що і буде напрямком подальших досліджень авторів.

Висновки. Застосування автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника під час ліквідації пожеж дозволить значно зменшити ймовірність ураження електричним струмом рятувальника, який здійснює пожежогасіння від дії джерел електричного струму, які неможливо спрогнозувати або суттєво скоротить час дії електричного струму на нього, що мінімізує наслідки такої дії. Це підвищить безпеку рятувальників та захистить життя і здоров'я як

самих рятувальників, так і потерпілих, які чекають на порятунок.

Використання автоматичного пристрою електробезпеки рятувальника як проміжного елемента між рукавом робочої лінії та пожежним стволом дозволить використовувати його із стволами різних виробників та навіть із стволами старих взірців, дозволить без значних економічних затрат та заміни обладнання впровадити у підрозділи ДСНС, у разі хибного спрацювання дасть змогу рятувальнику легко та швидко від'єднати пристрій та продовжити роботу за призначенням, а також не буде впливати на формування струменя, зручність роботи рятувальника і маневреність ствола.

Список літератури:

1. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання), 2017. – 806 с.

2. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час

гасіння пожеж. Затверджені Наказом № 340 МВС України від 26.04.2018.

3. НАПБ В.05.027-2011/111 (СОУ-Н МЕВ 41.0-21677681-61:2012) Інструкція з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України.

4. ДСТУ 2112-92 Стволи пожежні ручні. Технічні умови. З поправкою (ІПС № 7-1993).

5. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України (частина перша для підрозділів державної пожежної охорони). Затверджені Наказом №312 МНС України від 07.05.2007.

6. Землянський О. М. (2015). Розробка засобів попередження ураження електричним струмом під час пожежогасіння. Пожежна безпека: теорія і практика (19) – АПБ. ім. Героїв Чорнобиля, 2015. 36-41.

7. Костенко Т.В., Александров С.М. (2017). Оцінка небезпек для рятувальників при гасінні пожеж. Вісті Донецького гірничого інституту, (41), 124-131.

8. Скоробагатко Т.М., Борисов А.В., Ілляченко П.О., Пруський А.В., Дівізінюк М.М., Гудович О.Д. (2021). Питання безпечного гасіння пожеж на об'єктах з наявністю сонячних електростанцій. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека (2), 82-91.

9. Бережанський Т.Г., Пазен О.Ю., Придатко В.В. Захист від ураження електричним струмом під час пожежогасіння. Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. 12-13 жовт. 2022 р. Львів, 2022. С. 422-424.

10. Скоробагатко Т. М., Ілляченко П. О., Пруський А. В., Тищенко В. О. До питання безпечного гасіння пожеж на об'єктах з наявністю сонячних електростанцій. Проектування безпекового середовища громад: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 02 лип. 2021 р. Маріуполь, 2021. С. 372-376.

11. Кодрик А.І., Борисов А.В., Тітенко О.М., Ілляченко П.О. (2023). Особливості гасіння пожеж на об'єктах і спорудах із наявністю альтернативних джерел енергії. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека (15), 128-140. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1.128-140>.

Reference:

1. PUE. Pravyla ulashtuvannya elektroustanovok (pershe perehlyanute, pereroblene, dopovnene ta adaptovane do umov Ukrainy vydannya), 2017. – 806 s.

2. Statut diy u nadzvychaynykh sytuatsiyakh orhaniv upravlinnya ta pidrozdiliv Operatyvno-ryatuval'noyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu ta Statut diy orhaniv upravlinnya ta pidrozdiliv Operatyvno-ryatuval'noyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu pid chas hasynnya pozhezh. Zatverdzeni Nakazom № 340 MVS Ukrainy vid 26.04.2018.

3. NAPB V.05.027-2011/111 (SOU-N MEV 41.0-21677681-61:2012) Instructions for extinguishing fires at energy facilities of Ukraine. (Instruktsiya z hasynnya pozhezh na enerhetychnykh ob'yektakh Ukrainy).

4. DSTU 2112-92 Stvoly pozhezhni ruchni. Tekhnichni umovy. Z popravkoyu (IPS № 7-1993).

5. Pravyla bezpeky pratsi v orhanakh i pidrozdilakh MNS Ukrainy (chastyna persha dlya pidrozdiliv derzhavnoyi pozhezhnoyi okhorony). Zatverdzeni Nakazom №312 MNS Ukrainy vid 07.05.2007.

6. O. M. Zemlyanskyi (2015). Development of means of preventing electric shock during firefighting. Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka (19) – APB. im. Heroyiv Chornobylya, 2015. 36-41

7. Kostenko T.V., Aleksandrov S.M. (2017). Assessment of hazards for rescuers when extinguishing fires. Visti Donets'koho hirnychoho instytutu, (41), 124-131.

8. Skorobagatko T.M., Borisov A.V., Ilyuchenko P.O., Pruskyi A.V., Divizynyuk M.M., Hudovich O.D. (2021). The issue of safe extinguishing of fires at facilities with the presence of solar power plants. Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka (2), 82-91.

9. Berezhansky T.G., Pazen O.Yu., Prydatko V.V. Actual problems of fire safety and prevention of emergency situations in today's conditions: materials all over Ukraine. science and practice conf. October 12-13 2022. Lviv, 2022. P. 422-424.

10. Skorobagatko T. M., Ilyuchenko P. O., Pruskyi A. V., Tyshchenko V. O. To the issue of safe extinguishing of fires at facilities with the presence of solar power plants. Designing the security environment of communities: materials of the international science and practice conference, July 2 2021. Mariupol, 2021. P. 372-376.

11. Kodryk A.I., Borisov A.V., Titenko O.M., Ilyuchenko P.O. (2023). Peculiarities of extinguishing fires at objects and structures with the availability of alternative energy sources. Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka (15), 128-140.

© Т. Г. Бережанський, О Ю. Пазен,
В. В. Придатко, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 10.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



Т. Г. Бережанський¹, М. І. Пашечко²

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

²Люблінський технічний університет, м. Люблін, Польща

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1290-706X> – Т. Г. Бережанський

<https://orcid.org/0000-0001-9317-6141> – М. І. Пашечко



berezhansky90@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВТОРИННИХ ПОКРИТТІВ НА ЕЛЕМЕНТАХ МЕХАНІЗОВАНОГО ПЕРЕНОСНОГО ПОЖЕЖНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Проблема. Сьогодні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій працюють у вкрай складних умовах. Враховуючи численні надзвичайні ситуації, пожежі та воєнний стан і збройну агресію росії, не лише особовий склад ДСНС, а й техніка та обладнання, яку вони використовують, працюють на межі своїх можливостей. Інтенсивність роботи призводить до зносу пожежної, рятувальної та інженерної техніки, а також обладнання. Крім того, українські пожежно-рятувальні підрозділи зараз часто використовують пожежну, рятувальну та інженерну техніку іноземного виробництва, надану Україні в рамках допомоги та сприяння міжнародної спільноти.

Заміна витратних частин техніки та обладнання, що експлуатується в Україні (особливо наданих країнами-партнерами), є дуже складним, затратним та трудомістким завданням. Існують способи відновлення, регенерації та підвищення зносостійкості елементів і деталей пожежної техніки та обладнання з використанням евтектичних покриттів. Тому розробка та дослідження евтектичних покриттів для відновлення зношених деталей пожежної, рятувальної та інженерної техніки та обладнання, а також для регенерації їх окремих деталей та робочих органів є актуальним завданням сьогодення, оскільки дасть змогу підвищити термін служби, зносостійкість та довговічність цього виду техніки та обладнання.

Метою роботи є дослідження ефективності регенераційних евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr, підібраних на основі результатів випробувань на зносостійкість сплавів та визначення їх ефективності при безпосередній експлуатації обладнання за призначенням.

Методи дослідження. Випробування на зносостійкість проводилися в лабораторних умовах. Для випробувань на зносостійкість евтектичних сплавів використовувався вдосконалений комп'ютеризований триботестер Amsler. Дослідження в експлуатації проводились шляхом проведення натурних випробувань.

Основні результати дослідження. Досліджено зносостійкість евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr різних відсоткових складів та визначено склад, що характеризується найкращою зносостійкістю серед досліджуваних зразків.

Щоб дослідити ефективність регенеративних покриттів евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr в умовах безпосередньої експлуатації, арматурну сталь марки А-500 діаметром 8 мм розрізали ножами з регенеративними покриттями і ножами заводського виробництва, а також порівняли величини їх зносу. Результати показали, що ножі з регенеративним покриттям Зр-2 працювали на 80 % довше, ніж серійні ножі та на 14% довше ніж ножі із покриттям Зр-1. Таким чином, евтектичне регенеративне покриття Зр-2 на основі сплаву Fe-Mn-C-B-Si є ефективним для ремонту ножів рятувальних ножиць та може бути використане для регенерації частин механізованого переносного пожежного інструменту, іншої протипожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання.

Висновки. Досліджено зносостійкість регенераційних евтектичних покриттів та встановлено, що покриття складу Зр-1 відзначається найменшим масовим зношуванням серед досліджуваних.

Досліджено регенераційні покриття в експлуатації та встановлено, що відновлений ніж покриттям складу Зр-2 відзначається на 80 % вищими показниками зносостійкості в експлуатації ніж ножі заводського виробництва. Враховуючи хороші зварювальні властивості, відносно невелику вартість та широкий спектр методів нанесення, евтектичні регенераційні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr доцільно застосовувати для відновлення зношених деталей (частин) пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання.

Ключові слова: протипожежна техніка, механізований переносний пожежний інструмент, регенерація поверхонь пожежного інструменту, зносостійкі покриття, ресурс роботи, евтектичні покриття.

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF SECONDARY COATINGS ON FIRE EQUIPMENT AND COMPONENTS OF FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Today, units of the State Emergency Service of Ukraine work in extremely difficult conditions, performing their state function of protecting the population, territory and natural environment from emergencies. Numerous fires and emergencies combined with emergencies caused by the Russian armed invasion, the collapse of civil, industrial and critical infrastructure, accidents at enterprises of various industries, missile and air strikes, etc. During the round-the-clock work of rescuing victims, extinguishing fires, and eliminating accidents and emergencies, not only the personnel of the State Emergency Service but also the machinery and equipment they use are working at the limit of their capabilities. The intensity of work leads to the wear and tear of firefighting, rescue and engineering equipment, as well as equipment. In addition, Ukrainian fire and rescue units now often use fire, rescue and engineering equipment of foreign production, provided to Ukraine as part of the aid and assistance of the international community.

Replacing expendable parts of machinery and equipment operated in Ukraine (especially provided by partner countries) is a very difficult, costly and time-consuming task. There are ways to restore, regenerate and increase the wear resistance of elements and parts of firefighting equipment and equipment using eutectic coatings. Therefore, the development and research of eutectic coatings for the restoration of worn parts of firefighting, rescue and engineering machinery and equipment, as well as for the regeneration of their individual parts and working bodies, is an urgent task today, as it will increase the service life, wear resistance and durability of this type of machinery and equipment.

The purpose of this work is to study the effectiveness of regenerative eutectic coatings of the Fe-Mn-C-B-Si-Cr system, selected based on the results of tests on the wear resistance of the alloys themselves and to determine their effectiveness during direct operation of the equipment as intended.

The wear resistance of eutectic coatings of the Fe-Mn-C-B-Si-Cr system with different percentage compositions was studied and the composition characterised by the best wear resistance among the studied samples was determined.

To investigate the effectiveness of regenerative coatings of the Fe-Mn-C-B-Si-Cr system eutectic alloy in the conditions of direct operation, reinforcing steel of the A-500 brand with a diameter of 8 mm was cut with knives with regenerative coatings and knives of serial production, and also compared the values of their wear.

The results showed that knives with a regenerative Zr-2 coating worked 80 % longer than serial knives and 14 % longer than knives with a Zr-1 coating. Thus, the Zr-2 eutectic regenerative coating based on the Fe-Mn-C-B-Si alloy is effective for repairing the blades of rescue scissors and can be used for the regeneration of parts of other firefighting equipment and emergency rescue equipment. Further research and possible adjustments to coating formulations are needed before this regenerative coating can be used in firefighting equipment and rescue tools.

Keywords: fire equipment, regeneration of fire equipment, wear-resistant coatings, service life, eutectic coatings.

Постановка проблеми Сьогодні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій працюють у надзвичайно складних умовах у процесі виконання державної функції захисту населення, територій та навколишнього природного середовища від надзвичайних ситуацій. Окрім численних пожеж та надзвичайних ситуацій, до них додалися надзвичайні ситуації, спричинені російською збройною агресією (руйнування об'єктів цивільної, промислової та критичної інфраструктури, аварії на підприємствах різних галузей, ракетні обстріли та авіаудари). Під час виконання завдань за призначенням пожежно-рятувальні підрозділи використовують різноманітну пожежну техніку, аварійно-рятувальний інструмент, інженерний інструмент та багато інших технічних засобів різного призначення. У таких ситуаціях, без перебільшення, від наявності, справності та надійності техніки залежить життя людей.

Цілодобова робота з порятунку постраждалих, гасіння пожеж та ліквідації аварій і надзвичайних ситуацій виснажує не лише рятувальників, а й обладнання, яке вони використовують.

Інтенсивність роботи призводить до зношування пожежної, рятувальної та інженерної техніки та обладнання та механізованого переносного пожежного інструменту. Крім того, українські пожежно-рятувальні підрозділи часто використовують пожежну, рятувальну та інженерну техніку іноземного виробництва, надану Україні в рамках допомоги та сприяння міжнародної спільноти.

Заміна витратних частин техніки та обладнання, що експлуатується в Україні (особливо наданих країнами-партнерами), є дуже складним, затратним та трудомістким завданням. Евтектичні покриття можуть бути використані для відновлення, регенерації та підвищення зносостійкості елементів і деталей механізованого переносного пожежного інструменту та іншої протипожежної техніки та обладнання, у тому числі обладнання іноземного виробництва [1-4]. Тому розробка та дослідження евтектичних покриттів для відновлення зношених деталей механізованого переносного пожежного інструменту і протипожежної, аварійно-рятувальної та інженерної техніки та обладнання, а також для

регенерації окремих деталей та робочих органів є актуальним завданням сьогодення, оскільки дасть змогу підвищити термін служби, зносостійкість та довговічність цих видів техніки та обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зносостійкі евтектичні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr, виготовлені у вигляді порошкових дротів, мають в 1,8-10 разів вищу зносостійкість порівняно з матеріалами заводського виробництва [5-8].

Ці матеріали окрім високої зносостійкості також характеризуються хорошими зварювальними властивостями, завдяки чому їх можна наносити на деталі механізованого переносного пожежного інструменту і протипожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання за допомогою методів електродугового, плазмового наплавлення та методом напилення, а також іншими перспективними методами [6-10].

В роботі [4 та 5] було досліджено зносостійкість евтектичних покриттів різних складів, зварювальні властивості, якість наплавлення на елемент пожежного обладнання. Також очевидно, що залежно

від призначення та умов роботи механізованого переносного пожежного інструменту і протипожежної техніки та аварійно-рятувального чи інженерного обладнання, необхідно коригувати склад регенераційних покриттів.

Метою роботи є дослідження ефективності регенераційних евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr, підібраних на основі результатів випробувань на зносостійкість самих сплавів та визначення їх ефективності при безпосередній експлуатації обладнання за призначенням.

Виклад основного матеріалу.

Покриття, що розглядаються в цій роботі, були отримані методом дугового наплавлення порошковими дротами з евтектичних матеріалів різного складу в захисній атмосфері аргону. Хімічний склад покриттів був обраний на основі попередніх досліджень [2, 4, 5] та створено порошкові дроти для наплавлення наступних хімічних складів. Хімічний склад наплавлених покриттів з використанням евтектичних порошкових дротів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад евтектичних покриттів

Вміст елементів мас. %	Умове позначення зразків		
	Зр-1	Зр-2	Зр-3
Mn	9,24	11,45	10,3
C	1,8	0,86	1,2
B	1,85	2,56	1,6
Si	3,07	2,5	3,32
S	0,06	0,1	0,05
P	0,029	0,026	0,04
Cr	11,0	18,1	24,3
Fe	решта	решта	решта

Із покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr хімічного складу Зр-1, Зр-2 та Зр-3 було наплавлено зварні шви для дослідження їх зносостійкості.

У роботах [1, 4] було досліджено покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr інших хімічних складів. Після проведення досліджень ряду хімічних складів (близько 15-20), враховуючи складність проведення їх випробувань одночасно, буде обрано найефективніші склади та проведено їх ґрунтовний аналіз для визначення оптимального покриття (одного або кількох) для відновлення зношених частин механізованого переносного пожежного інструменту.

Випробування на зносостійкість проводилися в лабораторних умовах. Основною перевагою такого підходу є його менша вартість порівняно з експлуатаційними випробуваннями. Для випробувань на зносостійкість евтектичних сплавів використовувався вдосконалений комп'ютеризований триботестер Amsler. Основними параметрами, що характеризують випробування на зносостійкість, є: тип контакту –

плоский (обладнання призначене для дослідження процесу тертя ковзання в системах стержень-диск); пари тертя стержень-диск досягаються завдяки обертанню диска і притисканню до нього зразка. Зразок являє собою квадрат зі стороною 10 мм або стрижень діаметром 10 мм; діаметр диска 90 мм; тип руху – тертя ковзання (швидкість 0,4 м/с); тривалість випробування – 8 годин; навантаження – 4, 8 і 15 МПа; шлях тертя – 8640 м; без змащення (сухе тертя); температура навколишнього середовища – $22 \pm 4^\circ\text{C}$.

Оскільки пожежно-рятувальні служби використовують пожежну техніку та обладнання в різних умовах і немає чітких або загальних умов експлуатації обладнання, випробування проводилися при різних навантаженнях 4 МПа, 8 МПа і 15 МПа.

Метою випробувань на зносостійкість було визначення покриття з евтектичного сплаву з найменшим масовим зносом. Результати масового зносу (втрата маси в міліграмах) покриттів після випробувань зносостійкості наведені на рисунку 1.

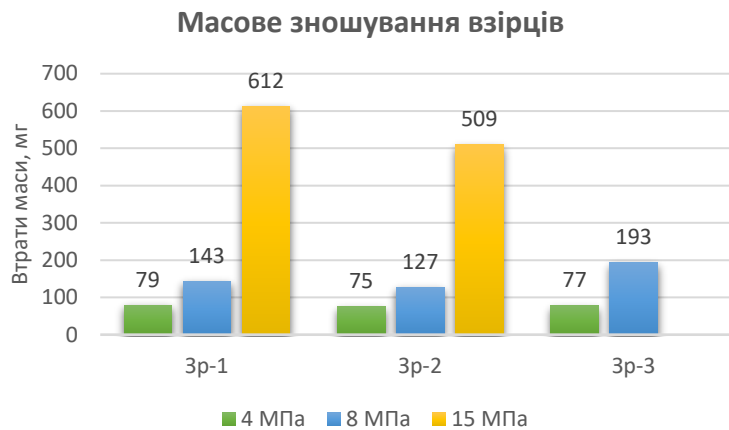


Рисунок 1 – Втрати маси взірців при навантаженнях 4, 8, 15 МПа для регенераційних покриттів з евтектичних сплавів системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr

Найменшим масовим зношуванням при усіх питомих навантаженнях характеризується регенераційне евтектичне покриття складу Зр-2. При 4 МПа – 75 мг; при 8 МПа – 127 мг; при 15 МПа – 509 мг. Дещо гірші результати показало покриття складу Зр-1 – 79, 143 та 612 мг відповідно, що, зважаючи на попередні дослідження, можна вважати хорошим показником зносостійкості [2, 4, 5]. В обох взірців спостерігається різке збільшення втрати маси при навантаженнях 15 МПа.

Регенераційне евтектичне покриття складу Зр-3 при навантаженнях 4 та 8 МПа характеризувалось втратою маси 77 та 193 мг відповідно. Проте під час досліджень зносостійкості при навантаженнях 15 МПа покриття Зр-3 почало втрачати цілісність структури та кришиться. З'явилися сколи та тріщини. Дослідження цього покриття було припинене через втрату цілісності структури при великих навантаженнях.

Для подальших досліджень в умовах експлуатації ми обрали евтектичні зносостійкі регенераційні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr хімічних складів Зр-1 та Зр-2.

Методику випробувань в умовах експлуатації ми дещо відкоригували у порівнянні з [1, 4]. Щоб збільшити кількісні показники дослідження для аналізу та узагальнення результатів, ми порівняли масове зношування ножів, що дало змогу оцінити зношування до повної втрати експлуатаційних можливостей та скоротити кількість циклів різання і зменшити навантаження на гідроциліндр. Для дослідження в умовах експлуатації наносили евтектичні зносостійкі регенераційні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr хімічних складів Зр-1 та Зр-2 на частково зношені деталі пожежно-рятувального обладнання – ножі та упор гідравлічних аварійно-рятувальних ножиць Hydrum Н-32, що працюють в умовах високих

навантажень за відсутності або недостатнього змащування. Покриття наносили методом аргонодугового наплавлення GMA (MAG). Обидва покриття відзначаються хорошими зварювальними властивостями та міцним з'єднанням із матеріалом основи.

Потім оцінювали ресурс ножиць в процесі експлуатації. Суть експериментального дослідження полягала в порівнянні рівнів зносу ріжучих елементів серійних гідравлічних аварійно-рятувальних ножиць Hydrum Н-32 і ножів, регенованих захисними евтектичними покриттями Зр-1 і Зр-2. В експериментальних дослідженнях ми використовували зразки для різання арматури марки А-500 діаметром 8 мм.

Було проведено однакову кількість циклів різання арматури для усіх трьох досліджуваних взірців – по 500. До початку дослідження в умовах експлуатації вважалося, що регенеративне покриття буде ефективним і придатним для використання, якщо рівень зносу ножів з таким покриттям не перевищуватиме рівень зносу ножів заводського виробництва. До початку випробувань на ножах з відновленим евтектичним покриттям і на ножах заводського виробництва не було виявлено жодних ознак дефектів або зносу.

Було проведено заміри маси взірців перед та після дослідження, а також візуальну оцінку зношення та затуплення ріжучої кромки.

Після проведення 100 циклів різання поверхні усіх взірців не показали жодних змін у геометрії; сколів чи інших дефектів на ріжучих кромках взірців не виявлено. Подальші експлуатаційні випробування (200 циклів) показали деяку деформацію ріжучої кромки ножа і незначне зношення ріжучої поверхні ножів заводського виробництва з розмірами, що не перевищують 0,1 мм. На ріжучих кромках ножів з регенераційними покриттями не було виявлено слідів зносу або дефектів.

Після 350 циклу різання на поверхні леза серійних ножів з'являються вм'ятини, видимі ознаки зношення та притуплення ріжучої кромки, що впливає на зусилля різання та підвищує навантаження на гідроциліндр. На поверхні та кромці лез ножів з регенеративними покриттями були помітні лише перші видимі ознаки зношення.

Після 500 циклу різання поверхня ножа заводського виробництва характеризується великою кількістю вм'ятин та викришувань ріжучої кромки (до 0,5 мм). Зусилля для різання

значно вищі ніж у ножів із нанесеними евтектичними покриттями. Візуально знос ножа заводського виробництва є суттєво більшим ніж у взірців із регенераційними покриттями. Ножі із нанесеними покриттями характеризуються наявністю незначних вм'ятин та викришувань розміром 0,1-0,35 мм у взірця Зр-1 та 0,1-0,3 мм у взірця Зр-2. Зусилля різання незначно збільшилось у порівнянні із ножами заводського виробництва. Вигляд взірців після проведення дослідження в експлуатації наведено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Вигляд взірців після проведення дослідження в експлуатації:
а) ножі заводського виробництва; б) взірець Зр-1; в) взірець Зр-2

По завершенні дослідження усі взірці було знову зважено для оцінки масового зношування.

Маса взірців до та після дослідження в експлуатації та втрати маси наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Маса взірців до та після дослідження в експлуатації та втрати маси

Назва взірця	Вага до випробування, г	Вага після випробування, г	Втрата маси, г
Ніж заводського виробництва	349,2	337,1	12,1 (3,47%)
Зр-1	324,6	316,8	7,8 (2,4%)
Зр-2	335,0	328,4	6,6 (1,97%)

Також втрати маси, відкришування та утворення вм'ятин прямо пропорційні затуплюванню ріжучої кромки, що ускладнює експлуатацію цього виду обладнання та при значних показниках збільшує час перерізання, а отже і час порятунку потерпілих.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна сформулювати такі висновки:

1. Досліджено зносостійкість евтектичних регенераційних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr при навантаженнях 4, 8, 15 МПа та встановлено, що покриття хімічного складу Зр-2 відзначається найкращими показниками зносостійкості серед досліджуваних, втрати маси якого становлять: при 4 МПа – 75 мг; при 8 МПа – 127 мг; при 15 МПа – 509 мг.

2. Досліджено ефективність регенеративних покриттів евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr в умовах безпосередньої експлуатації, арматурну сталь марки А-500 діаметром 8 мм розрізали ножами з регенеративними покриттями і

ножами заводського виробництва, а також порівняли величини їх зносу. Результати показали, що ножі з регенеративним покриттям Зр-2 відзначались на 80% більшою зносостійкістю ніж серійні ножі та на 14% більшою ніж ножі із покриттям Зр-1. Отже, евтектичне регенеративне покриття Зр-2 на основі сплаву Fe-Mn-C-B-Si-Cr є ефективним для регенерації ножів рятувальних ножиць та може бути використане для відновлення частин іншої протипожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання. Покриття складу Зр-1 також цілком можна застосовувати у цих цілях.

3. Враховуючи хороші зварювальні властивості, відносно невелику вартість та широкий спектр методів нанесення евтектичних регенераційні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr доцільно застосовувати для відновлення зношених деталей (частин) механізованого переносного пожежного інструменту і іншої пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання.

Список літератури:

1. Бережанський Т. Г., Мошкола Я. І. Підвищення ресурсу роботи аварійно-рятувального обладнання евтектичними покриттями. Вісник ЛДУБЖД. 2019. №23. С. 36-40. DOI: 10.32447/20784643.20.2019.06.
2. Pashechko M., Kindrachuk M., Humeniuk I., Berezhanskyi T. Gradient composite coatings for working surfaces of braking devices. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2018. Vol. 12. Is. 2. P. 1-5. DOI: 10.12913/22998624/70759.
3. Бережанський Т. Г., Башинський О. І., Бойко Т. В. Дослідження якості наплавлення захисних евтектичних покриттів на робочі частини пожежного інструменту. Пожежна безпека. 2016. №29. С. 13-17.
4. Бережанський Т. Г., Пашечко М. І. Розробка покриттів для регенерації вузлів пожежної техніки та протипожежного обладнання. Пожежна безпека. 2021. №39. С. 5-11. DOI: 10.32447/20786662.39.2021.01
5. Бережанський Т. Г., Пашечко М. І. Рентгенівська томографія якості нанесення та дослідження ефективності нанесених регенераційних покриттів для вузлів пожежної техніки та протипожежного обладнання. Пожежна безпека. 2022. №41. С. 103-109. DOI: 10.32447/20786662.41.2022.12
6. Сухенко Ю. Г., Дзюб О. Г., Голубець В. М., Гасій О. Б. Дослідження електрохімічних процесів під час корозійно-механічного зношення іонно-плазмових покриттів. Проблеми тертя та зношування. 2007. Вип. 47. С. 67-74.
7. Голубець В. М., Білоус О. В. Розробка нового евтектичного електродного сплаву для нанесення зносостійких покриттів на ріжучий інструмент комплексним електроіскровим легуванням і лазерною обробкою. Проблеми трибології. 2001. Вип. 2. С. 56 – 61.
8. Amiri M., Khonsari M. M. On the Thermodynamics of Friction and Wear - A Review, *Entropy*. 2007. Vol 12, P. 1021-1049. doi:10.3390/e12051021.
9. Luo Q., Zhou Z., Rainforth W. Bolton M. Effect of tribofilm formation on the dry sliding friction and wear properties of magnetron sputtered TiAlCrYN coatings. *Tribology Letters*. 2009. P. 113-124 DOI:10.1007/s11249-009-9415-9.
10. Lenik K., Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M. The surface self-organization in process friction and

corrosion of composite materials. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2008. Volume 30, Issue 1. P. 9-12. DOI 10.3390/ma13010075.

Reference:

1. Berezhanskyi T., Moshkola Ya. (2019). Improving work resource of safety equipment for eutectic coating. *Visnyk LDUBGD*. Vol 23. P. 36-40. DOI: 10.32447/20784643.20.2019.06.
2. Pashechko M., Kindrachuk M., Humeniuk I., Berezhanskyi T. (2018). Gradient composite coatings for working surfaces of braking devices. *Advances in Science and Technology Research Journal*. Vol. 12. Is. 2 P. 1-5. DOI: 10.12913/22998624/70759.
3. Berezhanskyi T., Bashynskyi O., Boyko T. (2016). "Investigation of the surfacing quality of protective eutectic coatings on the working parts of a fire tool". "Pozhezhna bezpeka", vol. 1, no. 29, pp. 13-17.
4. Berezhanskyi T., Pashechko M. (2021). "Development of coatings for regeneration of fire tools and equipment". *Pozhezhna bezpeka*, no 39. P. 5-11. DOI: 10.32447/20786662.39.2021.01.
5. Berezhans'kyi T.H., Pashechko M.I. (2022). X-ray tomography of the quality of application and investigation of the effectiveness of applied regeneration coatings for firefighting equipment and firefighting equipment. *Pozhezhna bezpeka*. №41. S. 103-109. DOI: 10.32447/20786662.41.2022.12.
6. Sukhenko Yu., Dzyub O., Holubets V., Hasiy A. (2007). Investigation of electrochemical processes during corrosion-mechanical wear of ion-plasma coatings. *Problemy tertya ta znoshuvannya : naukovotekhnichniy zbirnyk*. Vol. 47. P. 67-74.
7. Holubets V, Bilous O. (2001). Development of a new eutectic electrode alloy for application of wear-resistant coatings on cutting tools by complex electrospark alloying and laser processing. *Problemy trybolohii*. 2001. Vol 2. P.56-61.
8. Amiri M., Khonsari M. M. (2010) On the Thermodynamics of Friction and Wear - A Review, *Entropy* 12. P. 1021-1049. doi:10.3390/e12051021.
9. Luo Q., Zhou Z., Rainforth W. Bolton M. (2009). Effect of tribofilm formation on the dry sliding friction and wear properties of magnetron sputtered TiAlCrYN coatings. *Tribology Letters*. P. 113-124 DOI:10.1007/s11249-009-9415-9.
10. Lenik K., Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M. (2008). The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials. *Archives of Materials Science and Engineering*. Vol. 30, Issue 1. P. 9-12. DOI 10.3390/ma13010075.

© Т. Г. Бережанський, М. І. Пашечко, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 28.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



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.

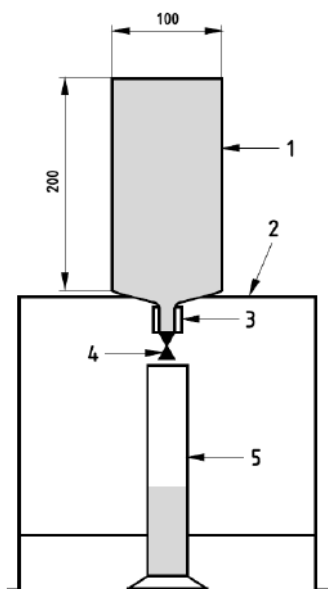
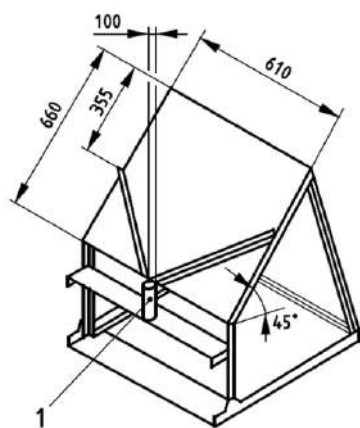


Рисунок 1 – Схема пристрою для визначення кратності і стійкості піни:

- 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 стікав 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.



Т. М. Войтович¹, В. В. Ковалишин¹, О. П. Войтович²

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

²Головне управління ДСНС України у Львівській області, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6375-6548> – Т. М. Войтович

<https://orcid.org/0000-0002-5463-0230> – В. В. Ковалишин

<https://orcid.org/0009-0007-7042-1010> – О. П. Войтович



voitovych.tm@ldubgd.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАРБОЗОЛІНУ ТА ОКСИЕТИЛІДЕНДИФОСФОНОВОЇ КИСЛОТИ НА КОРОЗІЙНУ АКТИВНІСТЬ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ

Постановка проблеми. При тривалому зберіганні водних розчинів вогнегасних речовин виникає таке негативне явище, як корозія. Як наслідок, знижується вогнегасна ефективність розчинів, значно погіршуються властивості, а також в процесі використання може виникнути блокування виходів вогнегасних речовин. Існують профілактичні заходи, які можна вжити, щоб уникнути корозії, а саме: покриття посудин для зберігання вогнегасних речовин лакофарбовими чи полімерними матеріалами, використання інгібіторів корозії, а також додавання до вогнегасних речовин антикорозійних добавок.

Мета. Провести оцінку якості полімерних і фарбованих покриттів всередині корпусів вогнегасників при зберіганні в них робочих розчинів піноутворювачів різного складу, а також провести експериментальні дослідження щодо впливу карбозоліну та оксietiлiдендифосфонової кислоти на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.

Методи досліджень. У роботі було використано візуальний метод оцінки корпусів вогнегасників і розчинів вогнегасних речовин. Також було застосовано гравіметричний метод визначення швидкості корозії за втратою маси сталевих пластин, занурених у досліджувані водні розчини. Суть методу полягала у визначенні середньої швидкості втрати маси з одиниці площі металевих пластин вуглецевої сталі марки Ст3 під час їх витримки у досліджуваних зразках робочих розчинів піноутворювачів.

Висновки. Встановлено, що навіть найменша втрата цілісності полімерного покриття посудин для зберігання вогнегасних речовин призводить до його відшарування і погіршення захисних властивостей. Пошкодження покриття може призвести до припинення подавання вогнегасної речовини через забивання отворів і каналів відлущеними частинами покриття чи продуктами корозії.

Результати експериментальних досліджень показали, що корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів «Барс S-1» та «Барс S-2» з додаванням карбозоліну та оксietiлiдендифосфонової кислоти є меншою відповідно у 1,58-2,19 раза та у 1,26-1,57 раза залежно від марки піноутворювача.

Ключові слова: піноутворювач, корозія, інгібітор корозії, карбозолін, оксietiлiдендифосфорова кислота.

Т. М. Voitovych¹, V. V. Kovalyshyn¹, O. P. Voitovych²

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

²The Main Department of the State Emergency Service of Ukraine in the Lviv Region, Lviv, Ukraine

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF CARBOZOLINE AND ETIDRONIC ACID ON THE CORROSION ACTIVITY OF FOAM CONCENTRATE SOLUTIONS

Problem Statement. Corrosion is a negative phenomenon that occurs during long-term storage of aqueous solutions of extinguishing agents. As a result, the fire extinguishing efficiency of solutions decreases, their properties deteriorate significantly, and blockage of extinguishing agent outlets may occur during use. There are preventive measures that can be taken to avoid corrosion, namely, coating the containers for storing extinguishing agents with paint or polymeric substances, using corrosion inhibitors, and adding anti-corrosion additives to extinguishing agents.

Research Objective. The aim of this study was to evaluate polymeric and painted coatings' quality inside the fire extinguishers with foam solutions of various compositions. The study also evaluated the effect of carbozoline and etidronic acid on the corrosion activity of foam solutions through experiments.

Research Methods. The fire extinguisher bodies and extinguishing agent solutions were evaluated using visual assessment method. Gravimetric method was used to determine the corrosion rate by measuring the weight loss of steel plates immersed in the examined aqueous solutions. The aim was to determine the average rate of mass loss per unit area of St3-grade carbon steel plates when exposed to the studied samples of foam concentrate solutions.

Conclusions. It was found that even the slightest loss of integrity of the polymeric coating of tanks where the extinguishing agents are stored leads to its delamination and deterioration of protective properties. Coating damage can lead to the cessation of the extinguishing agent supply due to clogging of supply channels by exfoliated parts of the coating or corrosion products.

The results of experimental studies have shown that the corrosion activity of Bars S-1 and Bars S-2 foam concentrate solutions with the addition of carbozoline and etidronic acid is 1.58-2.19 times and 1.26-1.57 times lower, respectively, depending on the brand of the foaming agent.

Keywords: foaming agent, corrosion, corrosion inhibitor, carbozoline, etidronic acid.

Постановка проблеми. Одним із основних напрямків вдосконалення піноутворювачів є збільшення терміну їх зберігання завдяки зниженню корозійної активності та (або) інгібуванню розвитку гнильних бактерій (тобто зменшення швидкості забруднення продуктами корозії та поверхнево активними речовинами) [1].

Корозія є поширеною проблемою в пожежній справі. Більшість систем трубопроводів містять її сліди. Зазвичай корозія є нормальним і безпечним явищем за умови, що вона зводиться до мінімуму, але не у випадку посудин систем автоматичного пожежогасіння та вогнегасників, які виготовлені із металу чи залізобетону (резервуари для зберігання піноутворювачів).

Звичайними методами захисту від корозії є нанесення на поверхню фарб чи інших покриттів, зокрема, полімерних (епоксидних) за допомогою пульверизатора. Щоб захист був ефективним, необхідно покрити усі відкриті поверхні, інакше процес корозії прискориться на незахищених ділянках. У той час як відкриті поверхні можна легше захистити, ті поверхні, які розташовані у внутрішніх порожнинах каркасу можуть бути складнішими для захисту. Досягти повного покриття внутрішніх поверхонь може бути надзвичайно складно, а в деяких випадках – неможливо [2]. Також при нанесенні зсередини посудини захисного покриття немає гарантій, що воно з часом не відшарується, залишиться цілісним після падінь, ударів чи інших чинників. Зокрема, перевірити стан покриття всередині вогнегасника, залишаючи його в робочому стані, практично неможливо [3].

Тому завданням дослідження є перевірка впливу корозії на сталеві посудини, в яких зберігаються вогнегасні речовини, на прикладі вогнегасників (з полімерним, фарбованим покриттям та без покриття). А також дослідження зменшення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів шляхом додавання інгібіторів корозії.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Раніше у своїх роботах ми досліджували вплив алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.

Залежно від марки піноутворювача корозійна активність зменшилась у 1,9-3,5 раза та у 5-18,2 раза відповідно [4]. Також проблемою зниження корозійної активності вогнегасних речовин займалися чимало вчених [5-11]. У роботі [5] було проведено оцінку корозійної стійкості вуглецевої сталі, де досліджуваними корозійними середовищами були дощова вода, вода Чорного моря та вогнегасний розчин. В результаті досліджень було встановлено, що найбільш агресивним корозійним середовищем виявився саме вогнегасний розчин.

Автори [6-8] у своїх роботах зменшували корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів введенням гідрофосфату амонію. Автор [9] провів експериментальні дослідження з визначення впливу модифікувальних добавок (Na_2SiO_3 та K_2CO_3) на інтенсивність процесів корозії та біологічного заростання водозаповненого трубопроводу системи пожежогасіння. У роботі [10] автори вивчали роль поверхнево активних речовин для захисту різних металів або сплавів, які зазвичай використовуються як матеріали для пожежного обладнання.

Робота [11] спрямована на аналіз можливості поліпшення корозійної стійкості вуглецевої сталі у вогнегасному розчині. У цьому дослідженні науковці оцінювали потенціал використання методу нанесення фосфатного покриття на поверхню сталі, з якої виготовленні компоненти засобів захисту від падіння (гачки, карабіни).

Метою дослідження є визначення впливу карбозоліну та оксиетилідендифосфатової кислоти на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.

Виклад основного матеріалу. Як зазначалось вище, для зменшення впливу корозії на розчини вогнегасних речовин часто використовують фарбові чи полімерні покриття, які наносять на внутрішню частину посудин (вогнегасників), в яких вони зберігаються.

Відповідно до ДСТУ 3734-98 [12], після випробування водяних, пінних, повітряно-пінних вогнегасників на внутрішню корозійну стійкість повинні бути відсутні:

– видимі ознаки корозії металу, відшарування, тріщини або пухирі на корпусі вогнегасника;
– видимі зміни кольору вогнегасної речовини, за винятком змін, викликаних процесом теплового впливу.

Для оцінки корозійної активності

вогнегасників з різним внутрішнім покриттям було використано два робочих розчини піноутворювачів різних марок і різних складів, які використовуються у промисловому виробництві.

На рисунку 1 зображено полімерне покриття внутрішньої частини корпусу вогнегасника.



Рисунок 1 – Розрізаний корпус вогнегасника з тріщиною у внутрішньому полімерному покритті до витримки в ньому розчину №1

Для оцінки стійкості полімерного покриття в ньому було зроблено незначну тріщину перед витримкою вогнегасної речовини, оскільки в процесі експлуатації така тріщина може утворитись при незначних фізичних пошкодженнях чи

неякісному процесі покриття. В якості вогнегасної речовини було використано розчин №1 (6%-ий робочий розчин піноутворювача «Барс S-2» з додаванням 1% карбонату натрію і 1% тетраборату натрію).



Рисунок 2 – Розрізаний корпус вогнегасника з тріщиною у внутрішньому полімерному покритті після витримки в ньому розчину №1

Як видно з рисунка 2, навіть невелике порушення цілісності полімерного покриття призводить до його відшарування, як наслідок, такий вогнегасник вже не відповідатиме загальним

технічним вимогам [12].

Розчином №1 було заповнено вогнегасник без покриття (рисунк 3).



а)



б)

Рисунок 3 – Корпус вогнегасника всередині (а) і розчин №1 (б) після витримки розчину у вогнегаснику

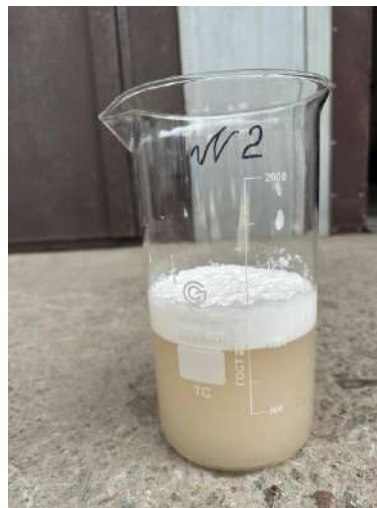
Як видно з рисунка 3, робочий розчин піноутворювача (розчин №1) змінив своє забарвлення (рисунок 3б) і на внутрішніх стінках вогнегасника видно сліди корозії (рисунок 3а).

Зміна кольору розчину також свідчить про те, що такий вогнегасник не відповідає технічним вимогам [12].

Розчин №2 (6%-ий робочий розчин піноутворювача «Барс S-2» з додаванням 14% карбонату натрію, 10% спирту і 1% тетраборату натрію) заливали у вогнегасник без внутрішнього покриття (рисунок 4) і у вогнегасники з фарбованим внутрішнім покриттям (рисунок 5).



а)



б)

Рисунок 4 – Корпус вогнегасника всередині (а) і розчин №2 (б) після витримки розчину у вогнегаснику

Як видно з рисунка 5, всередині корпусу вогнегасника наявна незначна корозія, а розчин №2 трішки змінив свій колір. Але ця зміна є значно

меншою, ніж у випадку з розчином №1. Причиною може бути більша кількість карбонату натрію у розчині, який може виконувати роль інгібітора корозії.



а)



б)

Рисунок 5 – Розчин №2 після витримки у вогнегаснику з червоним фарбованим покриттям всередині (а) та з чорним фарбованим покриттям (б)

Як видно з фото, колір розчину №2 у вогнегаснику з червоним фарбованим покриттям всередині не змінився (рисунок 5а).

У випадку з чорним фарбованим покриттям спостерігається незначна зміна кольору (рисунок 5б), що може бути пов'язано з хімічною взаємодією

між розчином і фарбою.

Використання інгібіторів корозії у розчинах вогнегасних речовин є надійнішим, простішим і дешевішим способом зменшення їх корозійної активності, ніж використання захисного покриття всередині вогнегасників. Тому ми зосередили нашу

увагу на дослідженні таких інгібіторів, як карбозолін та оксиетилідендифосфонові кислота.

Оксиетилідендифосфонові кислота $C_2H_8O_7P_2$ (далі ОЕДФ) є органічною сполукою, яку застосовують в різних сферах, як ліки, миючий

засіб, засіб для очищення води та косметичний засіб. ОЕДФ була запатентована у 1966 році та схвалена для медичного використання у 1977 році. ОЕДФ утворює комплекси із залізом та іншими елементами [13].

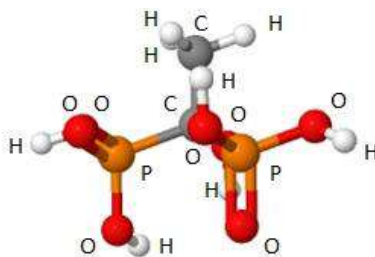


Рисунок 6 – Структурна формула молекули оксиетилідендифосфонові кислоти [14]

Сьогодні для одержання інгібіторів часто використовують продукти та відходи різних виробництв. У зв'язку з цим перспективним є застосування продуктів нафтохімії, включаючи продукти та відходи нафтохімічних виробництв для створення нових високоефективних та порівняно недорогих інгібіторів корозії [15]. Тому поряд із ОЕДФ ми у своїй роботі вирішили також дослідити карбозолін.

У дослідженнях було використано карбозолін марки АК-М №5, який часто використовується у промисловому виробництві. Карбозолін є рідиною, яка зберігає свою текучість при низьких температурах і тому його можна застосовувати в якості добавки до вогнегасних речовин, що є придатними для гасіння в умовах низьких температурах.

ОЕДФ та карбозолін є промисловими продуктами, які випускаються для захисту кородуючих сталевих поверхонь.

Експериментальні дослідження з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів проводились гравіметричним методом відповідно до методики [16].

Досліджено вплив карбозоліну та оксиетилідендифосфонові кислоти на швидкість

корозії в різних модельованих системах.

За корозійне середовище було взято 6 %-ий робочий розчин піноутворювача загального призначення «Барс S-1» та 6 %-ий робочий розчин піноутворювача для отримання піни підвищеної стійкості «Барс S-2».

Контрольними зразками були металеві пластинки зі сталі Ст3 товщиною 1,5 мм, довжиною 70 мм, шириною 40 мм, марковані порядковими номерами.

Суть досліджень полягала у визначенні середньої швидкості втрати маси металевих пластин, занурених у корозійне середовище протягом 30 діб при кімнатній температурі.

Величину втрати маси пластин визначали як різницю результатів зважування після обробки (витримки в досліджуваному розчині і травлення у натрію виннокислому) та перед обробкою.

У дослідженні було використано: ваги ВТУ 210/СЗ, ексикатори (скляні циліндричні посудини), пластини металеві плоскі шліфовані, виготовлені зі сталі Ст3, штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02, термометр ТЛ-2, барометр М-67, гігрометр психометричний ВІТ-1, шкурка шліфувальна паперова водостійка, папір шліфувальний лабораторний, натрій виннокислий, ацетон.



а)



б)

Рисунок 7 – Фото металевих пластин до (а) і після (б) їх витримки у робочих розчинах піноутворювачів «Барс S-1» та «Барс S-2» з додаванням карбозоліну, оксиетилідендифосфонові кислоти та без них

Середню питому швидкість втрати маси пластини v_n ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) розраховували за формулою

$$v_n = \frac{P}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

де P – втрата маси пластини, кг;

S – площа поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини, м^2 ;

τ – тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, с [16].

Отримані значення параметрів представлено у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробувань з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів

№ з/п	Марка піноутворювача	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1 л робочого розчину піноутворювача, г	Номер пластин	Втрата маси металевих пластин, г	Швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$	Усереднена швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
1.	БАРС S-1	-	-	1	0,089	1,19	1,204 $\pm$ 0,0125
				2	0,103	1,22	
2.	БАРС S-2	-	-	3	0,089	0,967	0,964 $\pm$ 0,0028
				4	0,091	0,96	
3.	БАРС S-1	Карбозолін	1	5	0,046	0,597	0,549 $\pm$ 0,0486
				6	0,036	0,5	
4.	БАРС S-2	Карбозолін	1	7	0,051	0,62	0,61 $\pm$ 0,0125
				8	0,049	0,59	
5.	БАРС S-1	ОЕДФ	1	9	0,071	0,73	0,767 $\pm$ 0,0361
				10	0,082	0,8	
6.	БАРС S-2	ОЕДФ	1	11	0,07	0,76	0,76 $\pm$ 0,0014
				12	0,066	0,758	

З аналізу результатів можна зробити висновок, що карбозолін проявив себе краще, ніж ОЕДФ. Отримані залежності швидкості корозії

пластин в робочих розчинах піноутворювачів «Барс S-1» та «Барс S-2» для різних інгібіторів корозії наочніше представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна швидкості корозії металевих пластин у середовищі з інгібітором порівняно з середовищем без інгібітора

№	Назва піноутворювача	Зменшення швидкості корозії з інгібітором	
		Карбозолін	ОЕДФ
1.	БАРС S-1	у 2,19 раза	у 1,57 раза
2.	БАРС S-2	у 1,58 раза	у 1,26 раза

Кількісна оцінка ефективності дії інгібітора певної концентрації в корозійному середовищі характеризується захисним ефектом і враховує швидкість корозії металевих пластин марки Ст3.

Захисний ефект Z – це відношення різниці швидкостей корозії металу без інгібітора і з ним до швидкості корозії металу без інгібітора у відсотках:

$$Z = \frac{v_{n0} - v_{n1}}{v_{n1}} \cdot 100\% \quad (12)$$

де v_{n0} – швидкість корозії без інгібітора ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); v_{n1} – швидкість корозії з інгібітором ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$).

У таблиці 3 та на рисунку 8 наведено результати розрахунку захисного ефекту інгібіторів корозії.

Таблиця 3

Захисний ефект інгібіторів корозії в різних середовищах

№	Назва інгібітора корозії	Швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$	Захисний ефект, %
БАРС S-1			
1.	Без інгібітора	1,204	0
2.	Карбозолін	0,549	54,4
3.	ОЕДФ	0,767	36,3
БАРС S-2			
4.	Без інгібітора	0,964	0
5.	Карбозолін	0,61	36,72
6.	ОЕДФ	0,76	21,16

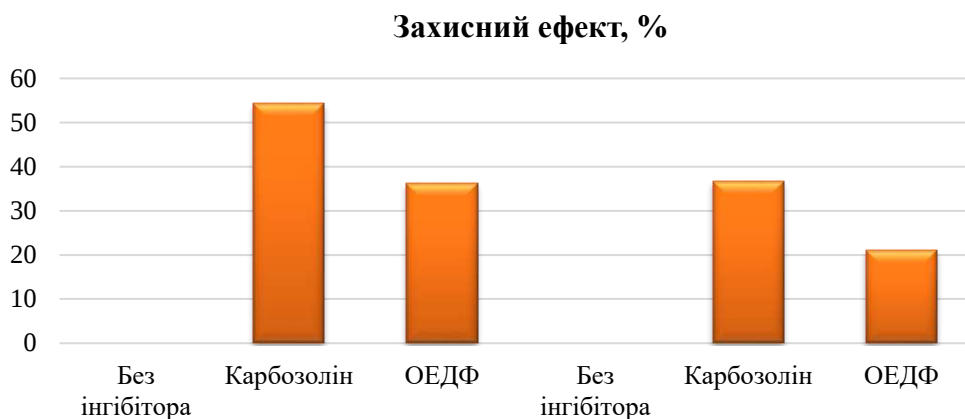


Рисунок 8 – Захисний ефект інгібіторів корозії у різних середовищах

Висновки

При втраті цілісності може відбутись руйнування будь-якого покриття (лакофарбового, полімерного тощо). Для систем пожежогасіння відлущування частин покриття чи утворення осаду продуктів корозії може призвести до перекривання отворів, каналів запірно-пускових пристроїв, як наслідок припинення подавання вогнегасної речовини в осередок пожежі, що є основною функцією таких систем.

Незважаючи на те, що в літературі розглядалися різноманітні методи і системи оцінки корозії (матеріал/корозійне середовище), досі не було досліджень, які б вивчали корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів з додаванням карбозоліну та оксиетилідендифосфонової кислоти.

У результаті експериментальних досліджень піноутворювачів «БАРС S-1» та «БАРС S-2» за однакової концентрації у робочих розчинах та за однакової концентрації інгібіторів корозії, встановлено, що:

- корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів з додаванням карбозоліну зменшується у 1,58-2,19 раза та оксиетилідендифосфонової кислоти – у 1,26-1,57 раза, залежно від марки піноутворювача;

- у всіх випробуваннях як інгібітор корозії карбозолін проявив себе краще, ніж оксиетилідендифосфорова кислота.

Список літератури:

1. Нуянзін В., Кропива М., Майборода А., Стилик І., Долішній Ю., Бенедюк В. The analysis of foreign, national regulatory documents and research on the development and application of foaming agents of general purpose for extinguishing fires. Надзвичайні ситуації попередження та ліквідація. 2021. №5 (2). С. 110-118.

2. Corrosion-Inhibiting Self-Expanding Foam Tech Briefs. Engineering Solutions for Design & Manufacturing URL:

www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/materials/27201 (дата звернення: 31.10.2023).

3. Войтович Т. М. Дослідження впливу інгібіторів на зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, 18-19 травня 2017 р. Черкаси, 2017. С. 183-184.

4. Войтович Т. М., Ковалишин В. В., Кошеленко В. В. Дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. Пожежна безпека. 2017. №30. С.16-21.

5. Burduhos-Nergis D.-P., Vizureanu P., Sandu A. V., Bejinariu C. Evaluation of the Corrosion Resistance of Phosphate Coatings Deposited on the Surface of the Carbon Steel Used for Carabiners Manufacturing. Applied Sciences. 2020. Vol. 10, No 8. P. 2753. DOI: doi.org/10.3390/app10082753

6. Кісіль Т. Є., Ковалишин В. В., Боровиков В. О., Антонов А. В. Зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. Пожежна безпека. 2004. № 4. С. 49–56.

7. Боровиков В. О., Ковалишин В. В., Антонов А. В., Козяр Н. М. Вплив гідрофосфату амонію на якість зарядів до повітряно-пінних вогнегасників та установок пожежогасіння. Пожежна безпека. 2003. №3. С. 146-156.

8. Козяр Н. М. Підвищення ефективності застосування водних та водопінних вогнегасних речовин : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2009. 192 с.

9. Балло Я. В. Підвищення ефективності роздільних від господарсько-питного водопроводу систем водяного пожежогасіння висотних будинків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2017. 21 с.

10. Radwan K., Rakowska J., Slosorz Z. Impact of surfactants used in extinguishing agent to corrosiveness of firefighting equipment, Chapter 27. In Advances and

Trends in Engineering Sciences and Technologies / Ali M., Platko P. Eds. London, 2015. pp. 159–164.

11. Burduhos-Nergis D.-P., Vasilescu G. D., Burduhos-Nergis D.-D., Cimpoesu R., Bejinariu C. Phosphate Coatings: EIS and SEM Applied to Evaluate the Corrosion Behavior of Steel in Fire Extinguishing Solution. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 17. P. 7802. DOI: doi.org/10.3390/app11177802

12. ДСТУ 3734-98 Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2000-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2000. 26 с. URL: online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48549

13. Fischer J., Ganellin, C. R. Analogue-based Drug Discovery. *Chemistry International – Newsmagazine for IUPAC*. 2010. Vol. 32, No. 4. P. 12-15. DOI: doi.org/10.1515/ci.2010.32.4.12

14. Structure & Deep Data of Etidronic acid (C₂H₈O₇P₂) URL:

www.molinstincts.com/structure/Etidronic-acid-estr-CT1001177096.html (дата звернення 31.10.2023).

15. Романчук В. В., Топільницький П. І. Захисні властивості інгібіторів корозії у різних технологічних процесах. *Хімія, технологія речовин та їх застосування. Вісник НУ “Львівська політехніка”*. 2011. № 700. С. 469–473.

16. Методика №2000/2-ПУ-13 «Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин». Київ: УкрНДІПБ МВС України, 2000. 5 с.

References:

1. Nuianzin, V., Kropyva, M., Maiboroda, A., Stilik, I., Dolishnii, Y., & Benedjuk V. (2021). The analysis of foreign, national regulatory documents and research on the development and application of foaming agents of general purpose for extinguishing fires. *Emergency Situations: Prevention and Liquidation*, 5(2), 110-118.

doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-110-118

2. Corrosion-Inhibiting Self-Expanding Foam Tech Briefs. *Engineering Solutions for Design & Manufacturing* URL:

www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/materials/27201 (last accessed 31.10.2023).

3. Voitovych, T. M. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv na znyzhennia korozii noi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Study of the effect of inhibitors on reducing the corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii*. [Theory and practice of fire extinguishing and liquidation of emergency situations]: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, Cherkasy, 183-184 [in Ukrainian].

4. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V., & Koshelenko, V. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv korozii na korozii nu aktyvnist robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Research on influence of

corrosion inhibitors on corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Fire Safety*, 30, 16-21 [in Ukrainian].

5. Burduhos-Nergis, D.-P., Vizureanu, P., Sandu, A. V., & Bejinariu, C. (2020). Evaluation of the Corrosion Resistance of Phosphate Coatings Deposited on the Surface of the Carbon Steel Used for Carabiners Manufacturing. *Applied Sciences*, 10(8), 2753. doi.org/10.3390/app10082753

6. Kisil, T. Y., Kovalyshyn, V. V., Borovykov, V. O., & Antonov, A. V. (2004). Znyzhennia korozii noi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Reduction of corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Fire Safety*, 4, 49-56 [in Ukrainian].

7. Borovykov, V. O., Kovalyshyn, V. V., Antonov, A. V., & Koziar, N. M. (2003). Vplyv hidrofosfatu amonii u na yakist zariadiv do povitriano-pinnykh vohnehasnykh ta ustanovok pozhezhohasinnia [The influence of ammonium hydrogen phosphate on the quality of charges for air-foam fire extinguishers and fire extinguishing installations]. *Fire Safety*, 3, 146-156 [in Ukrainian].

8. Koziar, N. M. (2009). Pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannia vodnykh ta vodopinnykh vohnehasnykh rehovyn [Increasing the effectiveness of the use of water and water-foam fire extinguishing substances] [Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, Lviv State University of Life Safety] [in Ukrainian].

9. Ballo Y. V. (2017). Pidvyshchennia efektyvnosti rozdilnykh vid hospodarsko-pytnoho vodoprovodu system vodianoho pozhezhohasinnia vysotnykh budynkiv [Raising work efficiency of firewater system in high-rise buildings]. [Dissertation abstract for the degree of candidate of technical sciences, Lviv State University of Life Safety] [in Ukrainian].

10. Radwan, K., Rakowska, J., & Śłosorz, Z. (2015). Impact of surfactants used in extinguishing agent to corrosiveness of firefighting equipment, chapter 27. In M. Ali & P. Platko (Eds.). *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies*. (pp. 159-164). https://doi.org/10.1201/b19249-31

11. Burduhos-Nergis, D.-P., Vasilescu, G. D., Burduhos-Nergis, D.-D., Cimpoesu, R., & Bejinariu, C. (2021). Phosphate Coatings: EIS and SEM Applied to Evaluate the Corrosion Behavior of Steel in Fire Extinguishing Solution. *Applied Sciences*. 11(17), 7802. https://doi.org/10.3390/app11177802.

12. DSTU 3734-98 Vohnehasnyky peresuvni. Zahalni tekhnichni vymohy [State Standard of Ukraine 3734-98 Fire equipment. Mobile fire extinguishers. General technical requirements] (1998). URL: online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48549 [in Ukrainian].

13. Fischer, J., & Ganellin, C. R. Analogue-based drug discovery. (2010). Analogue-based

Drug Discovery. Chemistry International – Newsmagazine for IUPAC, 32(4), 12-15.
doi.org/10.1515/ci.2010.32.4.12

14. Structure & Deep Data of Etidronic acid (C₂H₈O₇P₂). Chemical Compounds Deep Data Source. URL: www.molinstincts.com/structure/Etidronic-acid-cstr-CT1001177096.html (last accessed 31.10.2023).

15. Romanchuk, V. V., Topilnytskyi, P. I. (2011). Zakhysni vlastyvoli inhibitoriv korozii u riznykh tekhnolohichnykh protsesakh [Protective properties of

corrosion inhibitors in various technological processes]. Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" series: "Chemistry, technology of substances and their applications", 700, 469-473 [in Ukrainian].

16. Methodology 2000/2-PU-13 Vyznachennia koroziinoi aktyvnosti vodnykh rozchyniv vohnehasnykh rehovyn [Determining the corrosion activity of aqueous solutions of fire-extinguishing substances]. Kyiv: UkrNDIPB of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. (2000) [in Ukrainian].

© Т. М. Войтович, В. В. Ковалишин,
О. П. Войтович, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 07.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



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

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8727-9950> – А. Ф. Гаврилюк

<https://orcid.org/0000-0001-5523-5569> – Р. С. Яковчук

<https://orcid.org/0009-0007-5148-9394> – М. В. Лемішко



gavrilyk3@ukr.net

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

Постановка проблеми. Кількість електромобілів у масштабі світового автопарку продовжує зростати. Цьому сприяють привабливі урядові програми таких країн, як Норвегія, Німеччина, Швеція, Китай, Франція тощо. Поряд із зростанням кількості електромобілів зростає і кількість пожеж таких транспортних засобів. Тому різнобічні дослідження пожежної небезпеки електромобілів і їх компонентів є актуальним питанням в умовах сьогодення.

Мета дослідження полягає у розкритті особливостей горіння, визначенні теплових параметрів (температури займання, горіння), які описують процеси горіння силових літій-іонних акумуляторів електромобілів (на прикладі елементів силових батарей TESLA MODEL S), а також дослідження впливу чинників на ці параметри за розробленою методикою вогневих випробувань. Для досягнення задекларованої мети здійснено експериментальні дослідження впливу відкритого полум'я на силові літій-іонні акумулятори електромобілів, а також виявлено та описано залежності впливу чинників на теплові параметри та особливості горіння силових літій-іонних акумуляторів електромобілів.

Опис матеріалу. Для дослідження відбирались зразки з силової АКБ електромобіля TESLA MODEL S ємністю 75 кВт·год. Відібрані зразки елементів акумуляторної батареї, були поділені на три групи: зі ступенем заряду 100%, 50 % та повністю розряджені. Кожна група містила по дев'ять дослідних зразків. Вогнева дія на досліджувані зразки батарей здійснювалась модельним полум'ям класу В. Зразки розміщались над модельним вогнищем вертикально: анодом вгору та вниз, та горизонтально. Загалом була проведена серія з 27 експериментів. При проведенні експериментальних досліджень фіксувалась температура дослідних взірців батарей, а також проводилась фото та відеозйомка.

Висновки. За результатами натурних вогневих випробувань елементів силової АКБ електромобіля TESLA MODEL S та розробленою методикою встановлено, що при вертикальному розміщенні елементів анодом вниз, вентиляційний отвір спрацьовує найпізніше, а при горизонтальному розміщенні – найшвидше. У розряджених елементах через 9-11 с після початку виникнення необоротної екзотермічної реакції спрацьовує вентиляційний отвір, з якого виходять гази, що горять, викид яких триває 3-5 сек. Горіння таких батарей не супроводжується вибухом. Втрата маси елемента батареї становила 15-21 %. У всіх експериментах незалежно від стану заряду чи розміщення батареї необоротна екзотермічна реакція відбувається при досягненні температури батареї 165-195 °С. При збільшенні заряду батареї збільшується час викиду вентиляційних газів, які горять, що супроводжувалося гучнішим звуком, а також зменшується час між завершенням викиду вентиляційних газів та вибухом (що не стосується розряджених батарей). Стан заряду практично не впливає на температуру горіння вентиляційних газів, яка становить 700-780 °С для різного стану заряду батарей.

Ключові слова: пожежа електромобіля, TESLA MODEL S, пожежна небезпека літій-йонних елементів, вибух, необоротна екзотермічна реакція.

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

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

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

Introduction. The number of electric vehicles on the global car fleet scale continues to grow. This is facilitated by attractive government programmes in countries such as Norway, Germany, Sweden, China, France, etc. Along with the growth

in the number of electric vehicles, the number of fires in such vehicles is also increasing. Therefore, comprehensive research on the fire hazard of electric vehicles and their components is an urgent issue today.

Purpose. The study aims to determine the thermal parameters (ignition temperature, combustion temperature, and heat flux) that describe the combustion processes of electric vehicle power lithium-ion batteries (using the example of TESLA MODEL S power battery cells), as well as to study the influence of factors on these parameters using the developed fire test methodology. To achieve the declared goal, experimental studies of the effect of an open flame on electric vehicle power lithium-ion batteries were carried out, and the dependencies of the influence of factors on the thermal parameters and combustion characteristics of electric vehicle power lithium-ion batteries were identified and described.

Material description. For the study, samples were taken from the power battery of the TESLA MODEL S electric vehicle with a capacity of 75 kWh. The sampled battery cells were divided into three groups: with a charge level of 100%, 50%, and completely discharged. Each group contained nine prototypes. The fire effect on the battery test samples was carried out by a class B model flame. The samples were placed vertically above the model flame: anode up and down, and horizontally. A total of 27 experiments were performed. During the experimental studies, the temperature of the battery prototypes, and the heat flux, as well as photo and video recording were recorded.

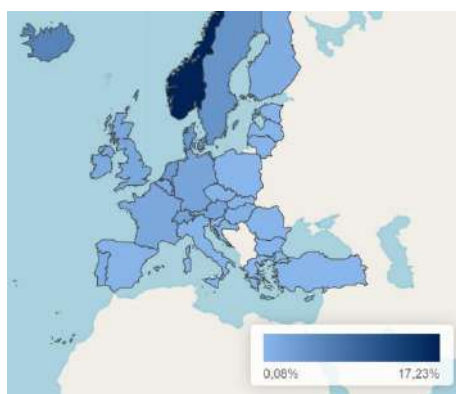
Conclusions. Based on the results of full-scale fire tests of the TESLA MODEL S electric vehicle power battery cells according to the developed methodology, it was found that when the cells are placed vertically with the anode down, the vent hole operates the latest, and when they are placed horizontally, it operates the fastest. In discharged cells, 9-11 seconds after the onset of an irreversible exothermic reaction, the vent is triggered, and burning gases are released, which last 3-5 seconds. The combustion temperature of the vent gases is 700-750 °C. The combustion of such batteries is not accompanied by an explosion. The mass loss of the battery cell was 15-21 %. In all the experiments, regardless of the state of the charge or placement of the battery, an irreversible exothermic reaction occurs when the battery temperature reaches 165-195 °C. As the battery charge increases, the time for the release of burning ventilation gases increases, accompanied by a louder sound, and the time between the completion of ventilation gas release and explosion decreases (which is not the case for discharged batteries). The state of charge has virtually no effect on the combustion temperature of ventilation gases, which is 700-780 °C for different states of battery charge.

Keywords: electric vehicle fire, TESLA MODEL S, fire hazard of lithium-ion cells, explosion, irreversible exothermic reaction.

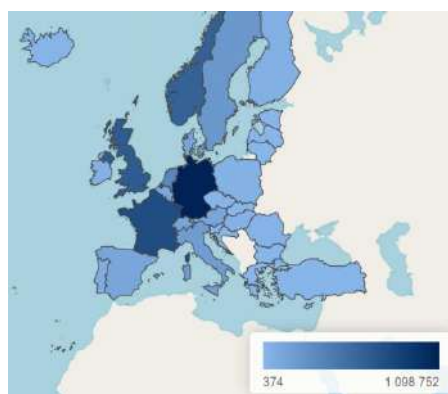
Постановка проблеми. Пожежі електромобілів – події, які трапляється все частіше. Це обумовлено збільшенням їх кількості, як в абсолютному так і у відносному значеннях у

загальній кількості світового автопарку.

Динаміка відносної (а) та абсолютної (б) кількості електромобілів у Європі наведена на рисунку 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Динаміка відносної (а) та абсолютної (б) кількості електромобілів у Європі [1]

У науковій праці [2] детально описано огляд випадків пожеж різних марок електромобілів, за різних умов, причини та місць їх виникнення. Зважаючи на таку тенденцію, різнобічні дослідження пожежної небезпеки електромобілів та їх компонентів є актуальним питанням сьогодення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Дослідженням пожежної небезпеки електромобілів, причин виникнення їх займань (зокрема причини та

особливості виникнення необоротної екзотермічної реакції), розроблення та дослідження нових методів та способів їх пожежогасіння, вплив особливостей розвитку таких пожеж на протипожежні відстані, будівельні конструкції чи інші об'єкти можна поділити за об'єктом проведення досліджень на: експериментальні дослідження на одному чи кількох елементах, на модулі силової акумуляторної батареї (далі – АКБ), на власне силовій АКБ та на електромобілі в цілому [2].

Очевидно, що експериментальні дослідження на елементах силових АКБ електромобілів є найбільш доступними, та вартісно зростають у напрямку збільшення ємності АКБ, які піддаються дослідженню. А приміром натурне вогневе експериментальне дослідження електромобіля може становити щонайменше від 10 тис. дол. США і більше, враховуючи забезпечення відтворюваності експериментальних даних.

Таким чином наукових досліджень у царині пожежної безпеки електромобілів, які ґрунтуються на елементах силових АКБ, є найбільше через очевидну причину.

Так у науковій праці [3] досліджено вплив надлишкового струму заряду на пожежну небезпеку елемента Panasonic NCR18650B ($\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$) та його працездатність після впливу надлишкового постійного струму. Також встановлена критична температура початку необоротної екзотермічної реакції та температура горіння елемента.

Автори роботи [4] досліджували вплив статичного навантаження на елемент живлення Panasonic NCR18650B. Експериментально встановлено, що в середньому корпус Panasonic NCR18650B LIPС витримує без подальшого займання навантаження близько 80 кгс/см² (або 7,84 МПа). Збільшення сили тиску в діапазоні понад 85–90 кгс/см² призводить до необоротної екзотермічної реакції, яка протягом 2–3 секунд призводить до займання батареї. Рівномірне стиснення батареї по його бічній поверхні показало виникнення горіння при навантаженні на елемент 150 кгс/см².

У роботі [5] досліджено вплив надмірних струмів заряджання для літій-іонного елемента типу NCM622. За результатами натурального експерименту встановлено, що струм заряджання 4С може призвести до більш небезпечної необоротної екзотермічної реакції, що створює температуру 413 °С порівняно з 187 °С для батареї при зарядному струмі 1С.

Опис механізму генерації енергії при необоротній екзотермічній реакції, як одного із важливих чинників впливу на пожежну небезпеку, наведено у працях [6-10].

Механізми виникнення внутрішнього короткого замикання при аварійному проникненні сталевого стержня у елемент АКБ описано у [11].

Огляд причин виходу з ладу літій-іонних батарей, які стають джерелом займання електромобілів деально описано у [12].

Різноманітні системи керування температурою літій-іонних барей з метою запобігання виникненню необоротної екзотермічної реакції описано у роботах [13, 14].

У роботі [15] наведено результати досліджень пожежі електромобіля на закритому паркінгу з використанням Fire Dynamic Simulator. Власне досліджувався розподіл видимості на висоті 1,8 м над підлогою закритого паркінгу, а також розподіл температури під стелею під час пожежі електромобіля.

Автори роботи [16] провели експериментальне дослідження з визначення поширення пожежі від електромобіля на інші транспортні засоби, що розміщені паралельно. Встановлено, що реактивне полум'я від електромобіля, що горів, досягало довжини понад 2,5 м. І вже через 94 хв від початку вогневого випробовування відбулося займання паралельно припаркованого автомобіля. Такий великий час займання сусіднього автомобіля можна пояснити тим, що експеримент проводився на відкритій місцевості, і багато тепла розсіювалось у навколишнє середовище.

У роботі [17] були досліджені фактори, що впливають на пішоходів під час пожежі електромобіля на відкритій стоянці. Однак у даному дослідженні приймалось, що тепловий потік, який виділявся, становив лише 1/3 від можливого теплового потоку при повністю зарядженій батареї електромобіля. Тому безпечна відстань для пішоходів становить лише 2,8 м від палаючого електромобіля при швидкості повітряних потоків у 2,2 м/с. А безпечна відстань для паралельно припаркованих транспортних засобів складає 3 м з врахуванням вищенаведених умов.

Автори роботи [18] провели повномасштабні вогневі випробування пожеж електромобілів у дорожніх тунелях. Це дослідження націлене на визначення шкідливих газів, які виділяються внаслідок пожежі, а також на способах пожежогасіння таких пожеж. Було встановлено, що фтористий водень є найбільш небезпечним продуктом згоряння, що виникає внаслідок пожеж електромобілів. Однак концентрація, що перевищує порогове значення для здоров'я людини, була виявлена лише в шарі диму на відносно великих висотах. На висоті 1,6 м над проїжджою частиною зафіксовані рівні концентрації залишалися нижче порогових значень.

У роботі [19] прокласифіковано за рівнем пожеженої небезпеки різні типи силових АКБ, які використовують виробники електромобілів.

У науковій праці [20] змодельовано пожежу електромобіля Tesla Model 3 на закритому паркінгу з використанням програмного комплексу Fire Dynamics Simulator. На підставі досліджень встановлено мінімальну протипожежну відстань впродовж часу вільного розвитку 610 с, для пожежі такого електромобіля на закритому паркінгу, яка становить по флангу 10 м, а по фронту 6 м.

Як показує аналіз наукових праць, дослідженням власне пожежної небезпеки елементів силових батарей електромобілів відкритим полум'ям приділена недостатня увага. Це дає підстави стверджувати про доцільність проведення досліджень такого роду.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у розкритті особливостей горіння, визначення теплових параметрів (температури займання, горіння) які описують процеси горіння силових літій-іонних акумуляторів електромобілів (на прикладі елементів силових батарей TESLA MODEL S), а також дослідження впливу чинників на дані параметри за розробленою методикою вогневих випробувань.

Для досягнення задекларованої мети необхідно вирішити такі задачі:

- експериментально дослідити вплив відкритого полум'я на силові літій-іонні акумулятори електромобілів;
- виявити та описати залежності впливу чинників на теплові параметри та особливості горіння силових літій-іонних акумуляторів електромобілів.

Опис експериментальної частини.

Для дослідження відбирались зразки з силової АКБ електромобіля TESLA MODEL S ємністю 75 кВт·год.

Діагностування стану заряду батареї здійснювалось за допомогою цифрового мультиметра. Для зменшення заряду силових літій-іонних батарей використовувалось навантаження у вигляді лампи розжарення потужністю 100 Вт, та інвертора напруги з ККД 98%. Інвертор забезпечує можливість фіксувати номінальне значення напруги. Для збільшення заряду дослідних взірців використовувались зарядний пристрій із індикацією стану заряду.

Відібрані зразки акумуляторних батарей, які були заряджені на 100 %, 50 % та повністю розряджені. Для кожної групи було відібрано по дев'ять дослідних зразків.

Згідно із методикою, усі дослідні взірці перед початком випробувань піддаються зважуванню. П'ять одиниць акумуляторних батарей мали масу 240 г (+2 г), тобто 48 г кожен елемент. Стан заряду батарей не впливав на їх масу.

Модельне вогнище створювалось бензином, марки А-92, об'ємом 200 мл, яке поміщалося у металеве деко діаметром 140 ± 3 мм, висотою борта 100 ± 5 мм та товщиною стінки борта $2,0 \pm 0,5$ мм.

Розміщення батарей та кріплення термопар здійснювалось згідно із схемою, яка наведена на рис 2.

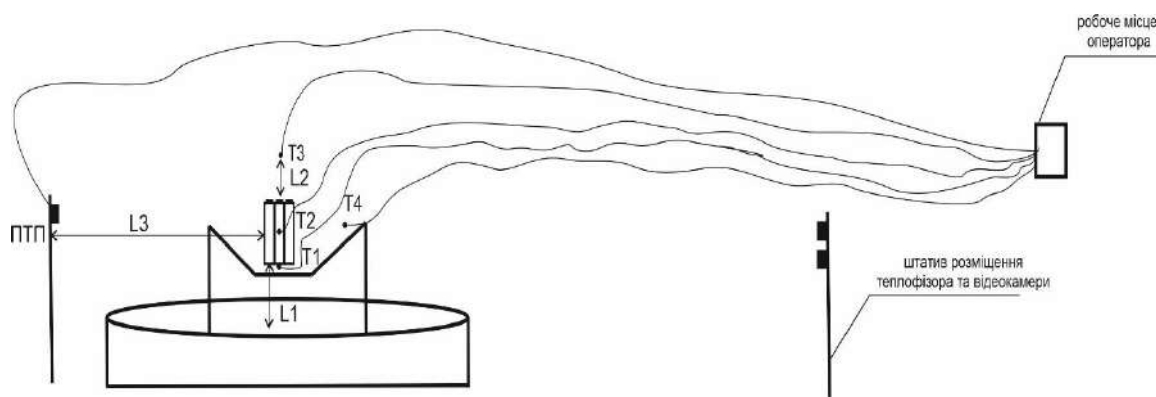


Рисунок 2 – Схема влаштування випробувальних зразків та засобів вимірювальної техніки

Термопара T1 (лінія зеленого кольору) фіксувала температуру під батареєю на відстані 7 см (L1) по вертикалі від борта дека, термопара T2 (лінія червоного кольору) фіксувала температуру батареї і була розміщена по її середині. Термопара T3 (лінія синього кольору) фіксувала температуру над батареєю (L2= 6,5 см) на відстані 20 см від борта дека.

Дослідження було поділене на три етапи: експериментальне дослідження розряджених батарей; експериментальне дослідження заряджених батарей на 50%; експериментальне дослідження заряджених батарей на 100%.

Для кожного із етапів проводилось дослідження для двох позицій розміщення батарей: горизонтального та вертикального по три експерименти на кожену позицію. Причому дослідження батареї у вертикальному положенні проводилось для двох позицій: анодом вгору та вниз. Тому загалом було проведено серію із 27 експериментів.

Результати досліджень та їх обговорення. На рисунку 3 наведено динаміку зміни температури вертикально розміщеної повністю розрядженої батареї під час випробувань анодом донизу.

Як помітно із графіка (рис 3) у момент запалювання модельного вогнища температура на термопарах T1 та T3 починає стрімко зростати.

Однак температура на термопарі T2 зростає не так стрімко. Така інерційність пояснюється теплоємністю батареї (лінія червоного кольору).

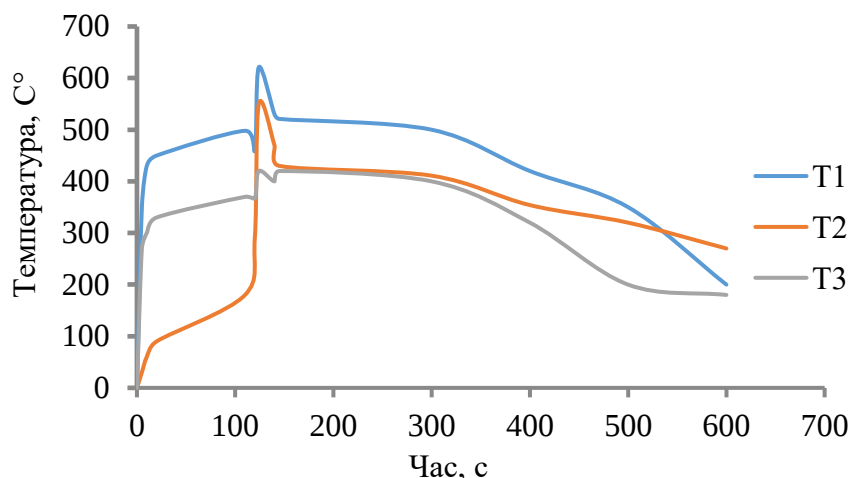


Рисунок 3 – Динаміка зміни температури батареї повністю розрядженої розміщеної вертикально анодом вниз під час випробувань

На 110-112 с після початку випробування, температура батареї починає стрімко зростати. Це відбувається при досягненні температури 170-190 °С, що пояснюється бурхливим розвитком необоротної екзотермічної реакції і, як наслідок, генерації великої кількості тепла, яка починає нагрівати батарею зсередини. Це корелює з роботою [19], де зазначено, що руйнування сепаратора і початок розвитку необоротної екзотермічної реакції відбувається за температури 150-170 °С.

На 120-123 с від початку випробувань відкрився вентиляційний отвір, з якого почали виходити гази, які горіли. Горіння вентиляційний газів призвели до різкого стрибка температури на термопарі T1, розміщеній над батареєю, з 461°C до 621°C.

На рисунку 7 зображено модельне вогнище, при спрацюванні вентиляційного отвору. Оскільки гази, які горять виходять під тиском, це змінює факел полум'я, що і помітно з рисунка 4.



Рисунок 4 – Викид палаючих газів через вентиляційний отвір

Температура батареї при цьому становила (на момент відкриття) 280-300 °С. Під час викиду газів, який супроводжувався свистом та шумом, температура стрімко зростає (червона лінія практично вертикально йде вгору). Це спостерігається у всіх трьох експериментах орієнтовно 3-5 сек. При цьому температура

батареї досягла значення близько 550-580 °С на момент закінчення викиду

З цього можна зробити висновок, що при спрацюванні вентиляційного отвору температура батареї різко зростає з 280-300 °С до 550-580 °С.

Після припинення викиду температура батареї знижується з 550-580 °С до 470-480 °С,

тобто до температури, яка близька до температури модельного вогнища.

Це підтверджується також показами термопар ТЗ (синя лінія), яка фіксує температуру полум'я над батареєю.

На 120-122 с до моменту відкриття вентиляційного отвору температура полум'я становила 450 °С, і вже після 120 с стрімко зростає і становить піку 620 °С. Тобто різниця температур полум'ям до спрацювання вентиляційного отвору батареї і під час складає 150-170 °С. Іншими словами, вентиляційні гази, що горять додатково створюють температуру 150-170 °С, себто температура їх горіння складає становить 620 °С за даних умов.

Після закінчення викиду вентиляційних газів температура полум'я монотонно спадає із ступенем вигорання пального у деку модельного вогнища. І вже після 8 хв від початку випробування горіння припиняється. Однак температура батареї зберігає певну інерційність, тому лінія термопар Т1 (синя лінія) і лінія термопар Т2 (пересікаються).

Отже при вертикальному розміщенні силової батареї анодом вниз і дії на неї відкритим полум'ям модельного вогнища класу В, який забезпечував температурний режим в зоні розміщення батареї 470-500 °С необоротна екзотермічна реакція почалась приблизно при температурі батареї 170-190 °С на 105-114 с від початку випробувань. Це спричинило різке збільшення температури впродовж 10-12 с від 170-190 °С до 300-320 °С і відкриття вентиляційного отвору, що супроводжувалось впродовж 3-5 с викидом вентиляційних газів, горіння яких спричинило ріст температури батареї з 300-320 °С до 560-580 °С. Причому температура полум'я над батареєю зросла від 460-480 °С до 620-635 °С. Втрата маси елементів складала 6-8 г.

На наступному етапі батарея розміщувалась вертикально анодом вгору.

Термопарі розміщувались аналогічно попередньому випадку.

Температурні характеристики у цьому випадку є наближеними до вертикального розміщення батареї анодом вгору. Початок необоротної екзотермічної реакції почався на 108-115 с після початку випробування.

На 118-121 с від початку випробувань відкрився вентиляційний отвір, з якого почали виходити гази, які горіли. Горіння вентиляційних газів призвели до різкого стрибка температури на термопарі ТЗ, розміщеній під батареєю, з 355-375 °С до 735-755 °С. Це пояснюється викидом та горінням вентиляційних газів струменем вниз, власне на термопару ТЗ, розміщену під батареєю.

Разом з тим, потік газів спричинив розбризкування пального, налитого у деку, що зумовило бурхливе горіння. Цим власне і пояснюються значення температур на термопарі Т1, які були зафіксовані в межах 610-620 °С, що є на 110-120 °С більшими, ніж до моменту викиду вентиляційних газів.

Оскільки певна частина пального була розбризкана потоком вентиляційних газів, які були спрямовані вертикально вниз, то починаючи з 400 с модельне вогнище практично затухає, і значення температур на термопарах Т1 і Т3 різко спадають. А значення температури на термопарі Т2 має інерційність через акумуляцію тепла на батареї, тому спадає повільно. Втрата маси елементів становила 8-10 г.

Таким чином при вертикальному розміщенні силової батареї анодом вниз і дії на неї відкритим полум'ям модельного вогнища класу В кардинальних температурних змін не виявлено. Але разом з тим спостерігалось на 4-6 с пізніше відкриття вентиляційного отвору.

Динаміку зміни температури батареї при її горизонтальному розміщенні, а також температурних параметрів модельного полум'я наведено на рисунку 5.

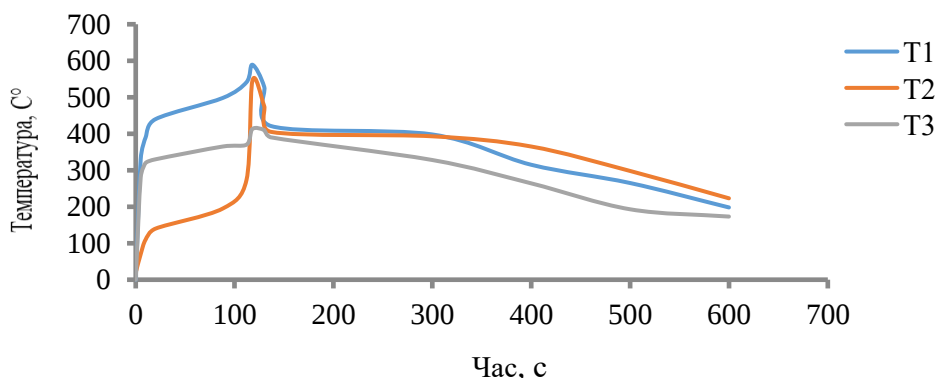


Рисунок 5 – Динаміка зміни температури батареї повністю розрядженої розміщеної горизонтально під час випробувань

При горизонтальному розміщенні батареї початок необоротної екзотермічної реакції відбувся на 87-95 с від початку випробувань. При цьому температура батареї становила 170-193 °С, а температура полум'я над батареєю, яка фіксувалась термопарою Т1- 472-496 °С. Відкриття вентиляційного отвору відбулось на 105-112 с від початку випробувань, що є на 10-12 с швидше, ніж при вертикальному розміщенні батареї. Таку особливість можна пояснити кращим прогрівання батареї, і як наслідок, за коротшим часом досягнення температури і

відкриття вентиляційного отвору. При початку викиду вентиляційних газів температура батареї становила 268-279 °С і стрімко зросла до 562-579 °С, на момент закінчення викиду. При цьому втрата маси батареї під час випробувань складала 8-9 г.

Наступним етапом було дослідження заряджених на 50% батарей, які розміщувались вертикально анодом вниз.

На рисунку 6 наведено динаміку зміни температури вертикально розміщеної зарядженої на 50% батареї анодом вниз під час випробувань.

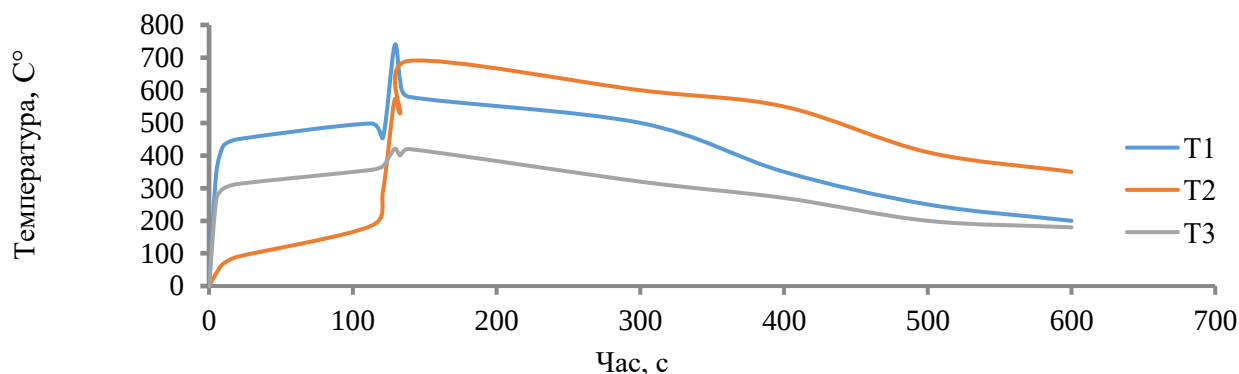


Рисунок 6 – Динаміка зміни температури батареї зарядженої на 50 %, розміщеної вертикально анодом вниз під час випробувань

На 113-117 с після початку випробування, температура батареї починає стрімко зростати. Це відбувається при досягненні температури 165-195 °С, що пояснюється бурхливим розвитком необоротної екзотермічної реакції і, як наслідок, генерації великої кількості тепла, яке починає нагрівати батарею зсередини.

На 121-125 с від початку випробувань відкрився вентиляційний отвір, з якого почали виходити гази, які горіли. Горіння вентиляційних газів призвело до різкого стрибка температури на термопарі Т1, розміщеній над батареєю, з 455-470 °С до 720-736 °С.

Температура батареї при цьому становила (на момент відкриття) 263-289 °С.

Викид тривав у всіх трьох експериментах орієнтовно 4-6 сек. При цьому температура батареї досягла значення близько 553-573 °С на момент закінчення викиду і через 3-5 с стався вибух, при якому температура батареї становила 678-689 °С. При цьому втрата маси батареї під час випробувань становила 11-14 г.

На рисунку 7 наведено динаміку зміни температури зарядженої на 50% батареї розміщеної вертикально анодом вгору під час випробувань.

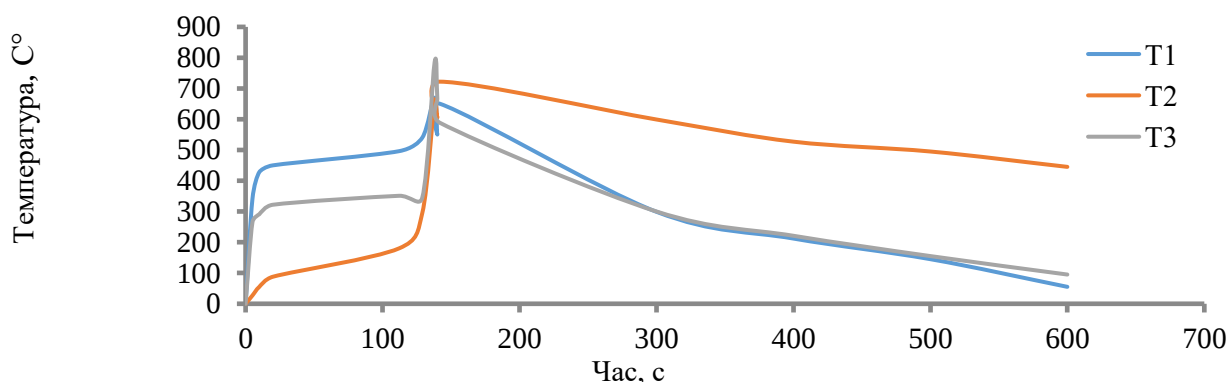


Рисунок 7 – Динаміка зміни температури батареї зарядженої на 50 %, розміщеної вертикально анодом вгору

На 126-129 с від початку випробувань відкрився вентиляційний отвір, з якого почали виходити гази, які горіли. Горіння вентиляційний газів призвели до різкого стрибка температури на термопарі T2, яка розміщувалась під батареєю з 355-370 °C до 745-786 °C. Температура батареї при цьому становила (на момент відкриття) 293-298 °C.

Викид супроводжувався у всіх трьох експериментах орієнтовно 5-9 сек. При цьому

температура батареї досягла значення близько 667-678 °C на момент закінчення викиду і через 3-4 с стався вибух, при якому температура батареї становила 722-734 °C. При цьому втрата маси батарей під час випробувань становила 15-18 г.

При горизонтальному розміщенні батареї початок необоротної екзотермічної реакції відбувався на 89-94 с від початку випробувань (рис 8).

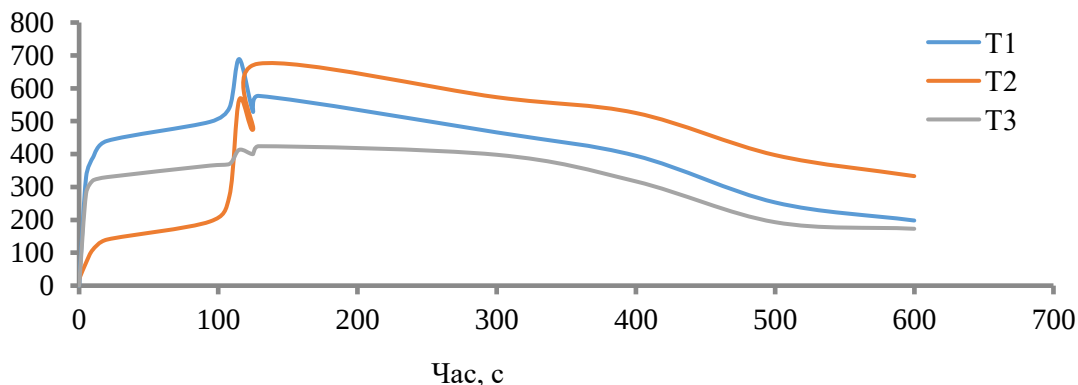


Рисунок 8 – Динаміка зміни температури батареї зарядженої на 50 %, розміщеної горизонтально під час випробувань

При цьому температура батареї становила 173-190 °C, а температура полум'я над батареєю, яка фіксувалась термопарою T1-472-496 °C. Відкриття вентиляційного отвору відбулось на 106-111 с від початку випробувань, що є на 9-11 с швидше ніж при вертикальному розміщенні батареї. Таку особливість можна пояснити кращим прогрівання батареї, і як наслідок, за короткий час досягнення температури відкриття вентиляційного отвору. На початку викиду вентиляційних газів температура батареї становила 223-284 °C і стрімко зросла до 555-569 °C на момент закінчення викиду. І вже на 121-124 с від початку випробувань відбувся

вибух, при якому температура батареї зросла до з 475-480 до 671-683 °C тобто на 196-203 °C. Втрата маси дослідних взірців становила в межах 13-15 г

Наступним етапом було дослідження батарей заряджених на 100 %, які розміщувались вертикально анодом вниз.

Слід відзначити, що заряджені на 50 % батареї під час викиду вентиляційних газів давали більший шум та свист, тому з міркувань безпеки для 100% заряджених батарей між вогневим майданчиком та засобами вимірювальної техніки було встановлено металевий бар'єр. Це також мало захищати оператора на робочому місці. Фото «захисної споруди» зображене на рисунку 9.



Рисунок 9 – Фото проведення експерименту повністю заряджених батарей із захисним бар'єром

На рисунку 10 наведено динаміку зміни температури батареї зарядженої на 100% розміщеної вертикально анодом вниз під час випробувань.

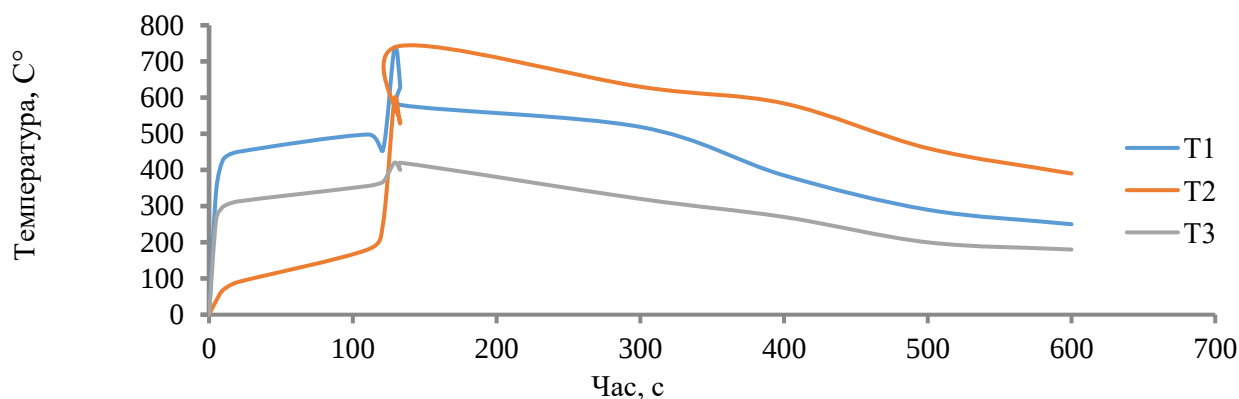


Рисунок 10 – Динаміка зміни температури батареї зарядженої на 100 % розміщеної вертикально анодом вниз час випробувань

На 110-113 с після початку випробування, температура батареї починає стрімко зростати. Це відбувається при досягненні температури 165-195 °С, що пояснюється бурхливим розвитком необоротної екзотермічної реакції, і як наслідок, генерації великої кількості тепла, яке починає нагрівати батарею зсередини.

На 118-121 с від початку випробувань відкрився вентиляційний отвір, з якого почали виходити гази, які горіли. Горіння вентиляційний газів призвело до різкого стрибка температури на термопарі T1, розміщеній над батареєю з 428-437 °С

до 738-766 °С. Температура батареї при цьому становила (на момент відкривання) 241-255 °С.

Викид тривав у всіх трьох експериментах орієнтовно 5-8 сек. При цьому температура батареї досягла значення близько 583-593 °С на через 3-5 с після закінчення викиду відбувся вибух, при якому температура батареї становила 743-759 °С.

На рисунку 11 наведено динаміку зміни температури вертикально розміщеної анодом вгору зарядженої на 100 % батареї під час випробувань.

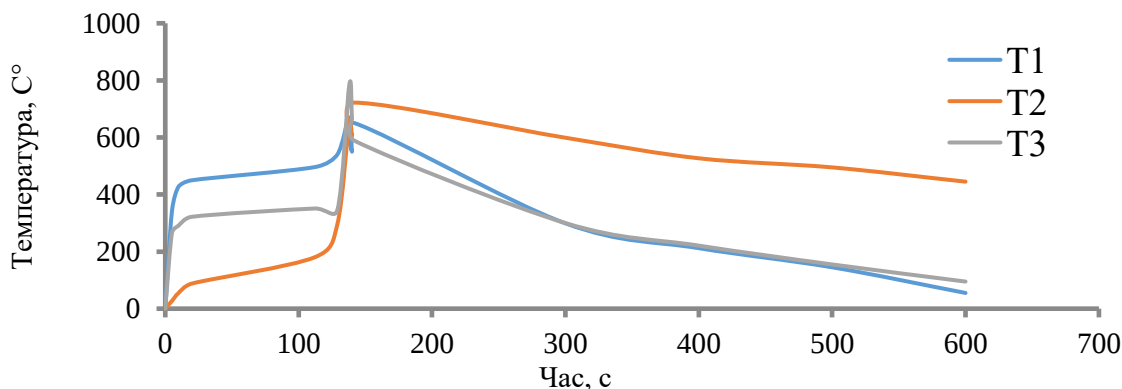


Рисунок 11 – Динаміка зміни температури батареї зарядженої на 100 % розміщеної вертикально анодом вгору під час випробувань

На 106-115 с від початку випробувань відкрився вентиляційний отвір, з якого почали виходити гази, які горіли. Горіння вентиляційний газів призвели до різкого стрибка температури на термопарі T2, яка розміщувалась під батареєю з 341-360 °С до 745-756 °С. Температура батареї при цьому становила (на момент відкриття) 273-284 °С.

Викид тривав у всіх трьох експериментах

орієнтовно 6-8 сек. При цьому температура батареї досягла значення близько 613-628 °С на момент закінчення викиду і через 3-5 с стався вибух, при якому температура батареї становила 668-679 °С.

При горизонтальному розміщенні батареї початок необоротної екзотермічної реакції зафіксовано на 89-94 с від початку випробувань (рис 12.)

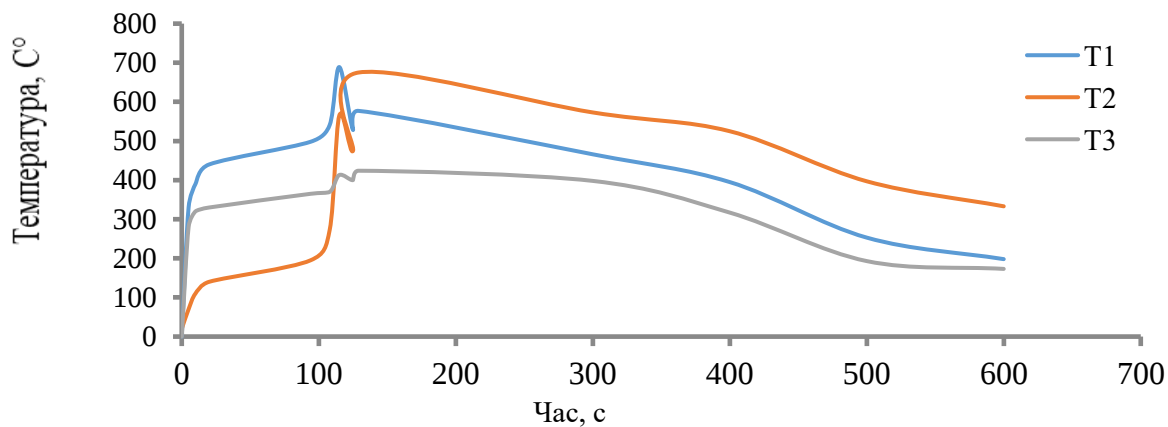


Рисунок 12 – Динаміка зміни температури батареї зарядженої на 100 % розміщеної горизонтально під час випробувань

При цьому температура батареї становила 173-190 °C, а температура полум'я над батареєю, яка фіксувалась термопарою T1- 472-496 °C. Відкриття вентиляційного отвору відбулось на 106-111 с від початку випробувань, що на 9-11 с швидше, ніж при вертикальному розміщенні батареї. Таку особливість можна пояснити

кращим прогріванням батареї, і як наслідок, коротшим часом досягнення температури відкриття вентиляційного отвору. При початку викиду вентиляційних газів (рис. 13) температура батареї становила 223-284 °C і стрімко зросла до 555-569 °C – на момент закінчення викиду.



Рисунок 13 – Початок викиду вентиляційних газів і їх горіння

І вже на 121-124 с від початку випробувань стався вибух, при якому температура батареї зросла до з 475-480 до 671-683 °C тобто на 196-203 °C

Власне стан заряду батареї показує, яка частка електричної енергії від загальної її ємності міститься у батареї. Тому акумульована електрична енергія безпосередньо впливає на вищенаведені показники.

Зі збільшенням заряду батареї під час відкриття вентиляційного отвору і виходу газів

спостерігається більшення рівня шуму та свисту. Викид газів більш реактивний. Під час вибуху спостерігається викид розпечених частинок металу, нерідко батарея відлітала на десятки метрів від місця проведення вогневих випробувань.

Власне на рисунку 14 зображено розкадровку реактивного польоту батареї із викидом частинок розпеченого металу та іскор. Такі події спостерігались лише при 100% заряду батареї.



Рисунок 14 – Фото польоту батареї при 100% заряді із викидом частинок розпеченого металу та іскор

Також варто відзначити, що заряджені на 100% батареї після вибуху продовжували горіти, власне горіли залишки вентиляційних газів, які

виходили через вентиляційний отвір, що зображено на фото рисунку 15.



Рисунок 15 – Фото горіння заряджених батареї на 100% після вибуху

Отже, результати експериментів показали, що зі збільшенням заряду батареї (зі збільшенням кількості енергії, яка міститься в батареї) збільшується її пожежна небезпека. А саме, збільшується час виходу і температура горіння вентиляційних газів, а також втрата маси батареї, яка і визначає загальне тепловиділення внаслідок горіння.

Висновки. За результатами натурних вогневих випробувань елементів силової АКБ електромобіля TESLA MODEL S за розробленою методикою отримано такі результати:

1. При вертикальному розміщенні елементів анодом вниз, вентиляційний отвір спрацьовує найпізніше, а при горизонтальному розміщенні – найшвидше.

2. У розряджених елементах через 9-11 с після початку виникнення необоротної екзотермічної реакції спрацьовує вентиляційний отвір, з якого виходять гази, що горять, викид яких триває 3-5 сек. Температура горіння вентиляційних газів становить 700-750 °С. Горіння таких батарей не супроводжується вибухом. Втрата маси елемента батареї становила 15-21 %.

3. У заряджених на 50 % елементах через 7-9 с після початку виникнення реакції спрацьовує вентиляційний отвір, з якого виходять гази, що горять, викид яких триває 4-6 сек та супроводжується свистом і через 3-5 с після завершення викиду стається вибух. Температура горіння вентиляційних газів становила 720-760 °С, втрата маси елемента батареї складала 25-38 %.

4. У заряджених на 100 % елементах через 5-8 с після початку виникнення реакції спрацьовує вентиляційний отвір, з якого виходять гази, що горять, викид яких триває 5-9 с та супроводжується гучним свистом і через 2-4 с після завершення викиду стається вибух. Під час вибуху відбувається розбризкування розплавленого металу та іскор. Температура горіння вентиляційних газів становить 720-780 °С, втрата маси елемента батареї складала 52-60 %.

5. У всіх експериментах незалежно від стану заряду чи розміщення батареї необоротна екзотермічна реакція відбувається при досягненні температури батареї 165-195 °С. При збільшенні заряду батареї збільшується час викиду вентиляційних газів, що горять, це супроводжувалося гучнішим звуком, а також

зменшується час між завершенням викиду вентиляційних газів та вибухом (що не стосується розряджених батарей). Стан заряду практично не впливає на температуру горіння вентиляційних газів, яка становить 700-780 °С.

Список літератури:

1. International Energy Agency (2022a) Global EV Outlook, 2022: Securing Supplies for an Electric Future; 2022 IIS 2380-S43. Available at: <https://statistical.proquest.com/statisticalinsight/result/pqpresultpage.previewtitle?docType=PQSI&titleUri=/content/2022/2380-S43.xml>.

2. Гаврилюк А.Ф., Васильєва О.Е. (2023). Аналіз стану протипожежного захисту електромобілів. Пожежна безпека, 42, 32-42. doi.org/10.32447/20786662.42.2023.04

3. Lazarenko, O., Berezhanskyi, T., Pospolitak, V., & Pazen, O. (2022). Experimental evaluation of the influence of excessive electric current on the fire hazard of lithium-ion power cell. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(10 (118), 67–75. doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263001

4. Lazarenko, O., Hembara, T., Pospolitak, V., & Voytovych, D. (2023). Assessing the effect of mechanical deformation of the panasonic NCR18650B lithium-ion power cell housing on its fire safety. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(7 (122), 69–78. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276780>

5. Liu, Y., Huo, R., Qin, H., Li, X., Wei, D., & Zeng, T. (2020). Overcharge investigation of degradations and behaviors of large format lithium ion battery with Li (Ni_{0.6}Co_{0.2}Mn_{0.2}) O₂ cathode. Journal of Energy Storage, 31, 101643

6. Wang, Y. W., & Shu, C. M. (2022). Energy generation mechanisms for a Li-ion cell in case of thermal explosion: A review. Journal of Energy Storage, 55, 105501.

7. Wang, Y. W., & Huang, H. L. (2023). Thermal explosion energy evaluation on LCO and NCM Li-ion polymer batteries using thermal analysis methodology. Process Safety and Environmental Protection, 177, 82-94.

8. Shen, W., Yan, J., Zhong, M., Zhang, J., & Guo, S. (2023). Heat Generation of Graphite Anode During Electrochemical Lithiation. Available at SSRN 4336580.

9. Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. Energy storage materials, 10, 246-267.

10. Liu, X., Stoliarov, S. I., Denlinger, M., Masias, A., & Snyder, K. (2015). Comprehensive calorimetry of the thermally-induced failure of a lithium ion battery. Journal of Power Sources, 280, 516-525.

11. Lai, X., Jin, C., Yi, W., Han, X., Feng, X., Zheng, Y., & Ouyang, M. (2021). Mechanism,

modeling, detection, and prevention of the internal short circuit in lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. Energy Storage Materials, 35, 470-499.

12. Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, SI, & Sun, J. (2019). Огляд механізмів виходу з ладу літій-іонних акумуляторів і стратегій запобігання пожежі. Progress in Energy and Combustion Science , 73 , 95-131.

13. Roe, C., Feng, X., White, G., Li, R., Wang, H., Rui, X., ... & Wu, B. (2022). Immersion cooling for lithium-ion batteries—A review. Journal of Power Sources, 525, 231094.

14. Thakur, A. K., Sathyamurthy, R., Velraj, R., Saidur, R., Pandey, A. K., Ma, Z., ... & Ali, H. M. (2023). A state-of-the art review on advancing battery thermal management systems for fast-charging. Applied Thermal Engineering, 226, 120303.

15. Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. Fire technology, 56, 1361-1410

16. Cui, Y., Liu, J., Cong, B., Han, X., & Yin, S. (2022). Characterization and assessment of fire evolution process of electric vehicles placed in parallel. Process Safety and Environmental Protection, 166, 524-534.

17. Zhang, D., Huang, G., Li, H., Deng, Q., & Gao, X. (2023). A study of the factors influencing the thermal radiation received by pedestrians from the electric vehicle fire in roadside parking based on PHRR. Applied Sciences, 13(1), 609

18. Sturm, P., Föbleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Heindl, S. F., & Heger, O. (2022). Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. Fire safety journal, 134, 103695.

19. Гаврилюк А. Ф., Кушнір А.П. (2022). Аналіз пожежної небезпеки електромобілів за термічною стабільністю силової літійової акумуляторної батареї. Пожежна безпека, 40, 31-39.

20. Gavryliuk, A., Yakovchuk, R., Chalyy, D., Lemishko, M., & Tur, N. (2023). Determination of fire protection distances during a tesla model s fire in a closed parking lot. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(10 (122), 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277999>

21. Zhang, S. S. (2007). A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries. Journal of power sources, 164(1), 351-364

References:

1. International Energy Agency (2022a) Global EV Outlook, 2022: Securing Supplies for an Electric Future;2022 IIS 2380-S43. Available at: <https://statistical.proquest.com/statisticalinsight/result/pqpresultpage.previewtitle?docType=PQSI&titleUri=/content/2022/2380-S43.xml>.

2. Gavryliuk A.F., Vasyliieva O.E. (2023). Analiz stanu protypozhezhnoho zakhystu elektromobiliv. Pozhezhna bezpeka, 42, 32-42.

doi.org/10.32447/20786662.42.2023.043.

Lazarenko, O., Berezhanskyi, T., Pospolitak, V., & Pazen, O. (2022). Experimental evaluation of the influence of excessive electric current on the fire hazard of lithium-ion power cell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10 (118)), 67–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263001>

3. Lazarenko, O., Berezhanskyi, T., Pospolitak, V., & Pazen, O. (2022). Experimental evaluation of the influence of excessive electric current on the fire hazard of lithium-ion power cell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10 (118)), 67–75. doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263001

4. Lazarenko, O., Hembara, T., Pospolitak, V., & Voytovych, D. (2023). Assessing the effect of mechanical deformation of the panasonic NCR18650B lithium-ion power cell housing on its fire safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(7 (122)), 69–78. doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276780

5. Liu, Y., Huo, R., Qin, H., Li, X., Wei, D., & Zeng, T. (2020). Overcharge investigation of degradations and behaviors of large format lithium ion battery with Li (Ni_{0.6}Co_{0.2}Mn_{0.2}) O₂ cathode. *Journal of Energy Storage*, 31, 101643

6. Wang, Y. W., & Shu, C. M. (2022). Energy generation mechanisms for a Li-ion cell in case of thermal explosion: A review. *Journal of Energy Storage*, 55, 105501.

7. Wang, Y. W., & Huang, H. L. (2023). Thermal explosion energy evaluation on LCO and NCM Li-ion polymer batteries using thermal analysis methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 82-94.

8. Shen, W., Yan, J., Zhong, M., Zhang, J., & Guo, S. (2023). Heat Generation of Graphite Anode During Electrochemical Lithiation. Available at SSRN 4336580.

9. Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy storage materials*, 10, 246-267.

10. Liu, X., Stoliarov, S. I., Denlinger, M., Masias, A., & Snyder, K. (2015). Comprehensive calorimetry of the thermally-induced failure of a lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, 280, 516-525.

11. Lai, X., Jin, C., Yi, W., Han, X., Feng, X., Zheng, Y., & Ouyang, M. (2021). Mechanism, modeling, detection, and prevention of the internal short

circuit in lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Energy Storage Materials*, 35, 470-499.

12. Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, SI, & Sun, J. (2019). Огляд механізмів виходу з ладу літій-іонних акумуляторів і стратегій запобігання пожежі. *Progress in Energy and Combustion Science*, 73, 95-131.

13. Roe, C., Feng, X., White, G., Li, R., Wang, H., Rui, X., ... & Wu, B. (2022). Immersion cooling for lithium-ion batteries—A review. *Journal of Power Sources*, 525, 231094.

14. Thakur, A. K., Sathyamurthy, R., Velraj, R., Saidur, R., Pandey, A. K., Ma, Z., ... & Ali, H. M. (2023). A state-of-the art review on advancing battery thermal management systems for fast-charging. *Applied Thermal Engineering*, 226, 120303.

15. Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. *Fire technology*, 56, 1361-1410

16. Cui, Y., Liu, J., Cong, B., Han, X., & Yin, S. (2022). Characterization and assessment of fire evolution process of electric vehicles placed in parallel. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 524-534.

17. Zhang, D., Huang, G., Li, H., Deng, Q., & Gao, X. (2023). A study of the factors influencing the thermal radiation received by pedestrians from the electric vehicle fire in roadside parking based on PHRR. *Applied Sciences*, 13(1), 609

18. Sturm, P., Föfleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Heindl, S. F., ... & Heger, O. (2022). Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. *Fire safety journal*, 134, 103695.

19. Gavryliuk A. F., Kushnir A.P. (2022). Analiz pozhezhnoi nebezpeky elektromobiliv za termichnoiu stabilnistiu sylovoi litiievoi akumuliatornoj batarei. *Pozhezhna bezpeka*, 40, 31-39. <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.044>

20. Gavryliuk, A., Yakovchuk, R., Chalyy, D., Lemishko, M., & Tur, N. (2023). Determination of fire protection distances during a tesla model s fire in a closed parking lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (122)), 39–46. doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277999

21. Zhang, S. S. (2007). A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries. *Journal of power sources*, 164(1), 351-364.

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

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 07.09.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



О. І. Казітін, Р. Б. Веселівський

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2482-8422> – О. І. Казітін

<https://orcid.org/0000-0003-3266-578X> – Р. Б. Веселівський



roman-veselivskuy@yahoo.com

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕДУРИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ЗБІРНИХ СИСТЕМ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ НА ПОШИРЕННЯ ВОГНЮ

Мета. Обґрунтування методики натурних вогневих випробувань збірних систем фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками на поширення вогню, суть якого не суперечить чинним вимогам національних будівельних норм та стандартів щодо забезпечення пожежної безпеки будівель, з урахуванням підходів до оцінювання здатності фасадних систем поширювати вогонь по зовнішній поверхні, а також багаторічного практичного досвіду випробування таких систем в Україні.

Методи. Під час виконання роботи використано аналітичний метод досліджень для аналізу національних стандартів та інших джерел інформації щодо пожежної небезпеки збірних систем фасадної теплоізоляції будинків і споруд з опорядженням штукатурками та методів її оцінювання; виконано експериментальні дослідження температурного режиму у вогневій камері дослідного фрагменту будинку, при застосуванні в ній стандартизованого модельного вогнища пожежі з деревини, і при різних умовах навоколишнього середовища.

Результати. Під час експериментальних досліджень було визначено граничні значення вологості деревини у модельному вогнищі пожежі і температури повітря зовні фрагменту будинку, за яких під час випробувань температурний режим у вогневій камері фрагменту будинку з пожежним навантаженням відповідає стандартному температурному режиму. Обґрунтовано параметри випробувального обладнання і процедуру проведення випробувань збірних систем фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками на поширення вогню. Обґрунтовано тривалість випробування, яка становить 30 хв, виходячи із максимального значення нормованої межі вогнестійкості для зовнішніх не несучих стін. Обґрунтовано необхідність у класифікації систем фасадної теплоізоляції у двох класифікаціях “збірна система фасадної теплоізоляції, що не поширює вогонь” та “збірна система фасадної теплоізоляції, що поширює вогонь”, при цьому для першої, з метою підвищення достовірності результатів випробувань, запропоновані більш деталізовані критерії оцінювання.

Висновки. В результаті проведеного аналізу вимог пожежної безпеки збірних систем фасадної теплоізоляції зовнішніх стін будинків і споруд та методів їх оцінювання встановлено, що: збірні конструкції фасадів, в яких застосовуються горючі теплоізоляційні утеплювачі та горючі опоряджувальні матеріали, підвищують ризик виникнення пожеж та поширювання вогню по поверхні будівель і споруд на значну площу; у вітчизняних будівельних нормах здатність збірних систем не поширювати вогонь по фасаді визначена як одна з основних характеристик, залежно від якої допускається улаштування конструкцій із горючою фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою або дрібноштучними виробами для будівель та споруд з умовною висотою більше ніж 9 м, і яка підтверджується виключно натурними вогневими випробуваннями за відповідною національною методикою.

Запропоновано підхід щодо визначення розширеної сфери застосування результатів випробувань збірно-системи фасадної теплоізоляції.

Ключові слова: теплоізоляційно-оздоблювальна система (ТОС), конструкція зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією, стандартний температурний режим пожежі, поширення полум'я по фасаді.

О. І. Казітін, Р. Б. Веселівський

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

SUBSTANTIATION OF THE PROCEDURE FOR TESTING COMBINED FACADE THERMAL INSULATION SYSTEMS FOR FIRE SPREAD

Purpose. Substantiation of the methodology for full-scale fire tests of prefabricated facade thermal insulation systems with plaster finishing for fire spread, the essence of which does not contradict the current requirements of national building codes and standards for ensuring fire safety of buildings, taking into account approaches to assessing the ability of facade systems to spread fire on the outer surface, as well as many years of practical experience in testing such systems in Ukraine.

Methods. In the work, an analytical research method was used to analyse national standards and other sources of information on the fire hazard of prefabricated facade thermal insulation systems for buildings and structures with plaster finishes and methods for its assessment; experimental studies of the temperature regime in the fire chamber of the experimental fragment of the building, when a standardised model fire of wood was used in it, and under various environmental conditions were performed.

Results. During the experimental studies, the limit values of wood humidity in a model fire and air temperature outside the building fragment were determined, at which the temperature regime in the fire chamber of a building fragment with a fire load corresponds to the standard temperature regime during the tests. The parameters of the test equipment and the procedure for testing prefabricated facade thermal insulation systems with plaster finishes for fire spread are substantiated. The test duration of 30 minutes is substantiated, based on the maximum value of the standardised fire resistance limit for external non-bearing walls. The necessity of classifying facade thermal insulation systems into two classifications "prefabricated facade thermal insulation system that does not spread fire" and "prefabricated facade thermal insulation system that spreads fire" is substantiated, while for the first, to increase the reliability of test results, more detailed evaluation criteria are proposed.

Conclusions. As a result of the analysis of fire safety requirements for prefabricated systems of facade thermal insulation of exterior walls of buildings and structures and methods for their evaluation, it was found that: prefabricated facade structures that use combustible thermal insulation and combustible finishing materials increase the risk of fire and fire spread over the surface of buildings and structures over a large area; in domestic building codes, the ability of prefabricated systems not to spread fire over the facade is defined as one of the main characteristics, depending on which it is allowed to.

An approach is proposed to determine the extended scope of application of the test results of a prefabricated facade thermal insulation system.

Keywords: thermal insulation and finishing system, construction of exterior walls with facade thermal insulation, standard fire temperature regime, flame spread along the facade.

Вступ. Влаштування будівель і споруд з фасадними утепленими конструкціями зовнішніх стін є досить поширеним і популярним будівельним рішенням як у нашій країні, так і за кордоном. Роботи з утеплення можуть проводитися як на нових об'єктах, так і під час реконструкції або капітального ремонту наявних будівель. Крім зовнішніх, внутрішніх і підвальних стін, сучасні теплоізоляційні матеріали використовують для утеплення дахів, стель і підлог. Оскільки ці матеріали, залежно від своїх властивостей, можуть бути як негорючими, так і горючими, то для зниження ризику виникнення пожежі та її негативних наслідків необхідно приділяти належну увагу і вивчити питання забезпечення їх пожежної безпеки.

Крім того, випадки резонансних пожеж, що відбулися останніми роками в усьому світі, з інтенсивним розповсюдженням вогню через фасад будівлі, демонструють її особливу пожежну небезпеку, що безпосередньо залежить від конструктивних особливостей будівлі, типу використовуваного утеплювача і параметрів самої пожежі. Найпоширенішою причиною пожежі в конструкціях зовнішніх стін із фасадним утеплювачем є поширення вогню через віконні прорізи внаслідок пожежі всередині будівлі [1].

Постановка проблеми.

У нормативних документах [2-6] оцінювання пожежної небезпеки фасадних систем проводять за такими методами випробувань:

1. Негорючість (НГ) – згідно з ДСТУ 8829 [7] за методами, визначеними в ДСТУ EN ISO 1716 [8] і ДСТУ EN ISO 1182 [9].

2. Група горючості (Г1 – Г4) – згідно з ДСТУ 8829 [7]. За результатами випробувань горючі (Г) будівельні матеріали залежно від отриманих значень параметрів горючості, відносять до однієї з чотирьох груп – Г1, Г2, Г3, Г4. Якщо за різними параметрами матеріал має бути віднесений до різних груп горючості, то його відносять до більш небезпечної.

3. Група займистості (В1 – В3) згідно з ДСТУ Б В.1.1-2 (ГОСТ 30402) [10]. Суть методу випробувань полягає у визначенні параметрів займистості матеріалу при заданих стандартом рівнях впливу на поверхню зразка променистого теплового потоку та полум'я від джерела запалювання. Поверхнева густина теплового потоку повинна перебувати у межах від 10 кВт/м² до 50 кВт/м². Для класифікації матеріалів за групами займистості визначають критичну поверхневу густина теплового потоку (КПТП) та проміжок часу від початку випробування до займання зразка. За результатами випробувань горючі будівельні матеріали залежно від значення критичної поверхневої густини теплового потоку відносять до однієї з трьох груп – В1, В2, В3.

4. Здатність поширювати вогонь по зовнішній поверхні – згідно з «Методикою натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню УкрНДПБ МНС України» [11]. Суть методу випробувань полягає у визначенні величини пошкоджень та підвищення температури всередині теплоізоляційно-оздоблювальної системи (ТОС), нанесеної на фрагмент двоповерхової будівлі (рис. 1), в якому створюється протягом 30 хв температурний режим, наближений до стандартного за ДСТУ Б В.1.1-4* [12].

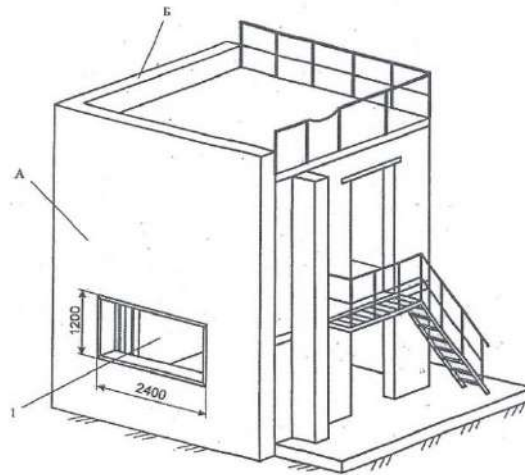


Рисунок 1 – Фрагмент будівлі для випробування фасадної системи на поширення вогню [11]

Фасадна теплоізоляція наноситься на стіну А, а також на частину стіни Б на відстані 1,0 м від краю стіни А.

Слід наголосити, що крім описаних вище методик, в Україні методи оцінювання пожежної небезпеки конструкцій зовнішніх стін із фасадним утеплювачем визначено в національних стандартах ДСТУ Б В.1.1-21 [13] і ДСТУ Б В.1.1-22 [14]. Однак протягом 10 останніх років методи випробувань, описані в цих двох стандартах, не знайшли практичної реалізації в Україні.

Враховуючи прагнення України до інтеграції в європейську спільноту, на даний час в державі розроблено та впроваджено Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд [15], згармонізований з Регламентом (ЄС) № 305/2011 Європейського парламенту від 9 березня 2011 року. Цей регламент базується на положеннях Директиви Ради Європи 89/106/ЄЕС від 21 грудня 1988 року про зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів стосовно будівельних виробів.

Для зовнішніх стін з фасадною тепловою ізоляцією для обмеження поширення вогню та диму з одного протипожежного відсіку в інший по пустотах усередині фасадів і по зовнішній поверхні фасадів необхідно визначати характеристики щодо «реакції на вогонь» їх складових, в Україні ця вимога визначена в [3] та в ДСТУ-Н Б ETAG 017:2013 *Настанова з європейського технічного ухвалення комплектів ізоляції. Збірні системи для зовнішньої ізоляції стін (ETAG 017:2005, IDT)*, а також «здатності поширювати вогонь» фасадної системи в цілому. Зокрема, оцінювання «здатності поширювати вогонь» фасадних систем може бути здійснено шляхом проведення середньомасштабних і великомасштабних випробувань за стандартами ДСТУ Б.В.1.1-21-2009 [13] та ДСТУ Б.В.1.1-22-

2009 [14]. Однак, на сьогодні день, в будівельних нормах України відсутні вимоги до показників щодо «реакції на вогонь», в тому числі і до складових фасадної теплової ізоляції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Експериментальні та чисельні дослідження поширення полум'я поверхнею фасадної системи конструкції будівель із зовнішнім утепленням та штукатурним облицюванням залишаються актуальними і сьогодні.

В роботі [16] автори проаналізували характеристики процесів, що відбуваються під час горіння утеплювача та облицювання фасадної системи будинку. Наведено типові сценарії поширення пожежі конструктивними поверхнями фасадного утеплювача та по зовнішніх стінах, оздоблених горючою теплоізоляційною штукатуркою. Описано механізм поширення вогню через віконні прорізи поверхнею фасадного утеплювача на основі пінополістиролу.

У роботі [17] досліджено та проаналізовано типи, конструктивні особливості, призначення та функції протипожежних поясів та віконних (дверних) прорізів, оздоблених негорючими матеріалами, що розміщуються всередині фасадних утеплювачів та оштукатурених зовнішніх стінових конструкцій.

У роботі [18] за допомогою комп'ютерного моделювання параметрів вогневих випробувань систем фасадної теплоізоляції на розповсюдження пожежі отримано числові та графічні показники, що характеризують процеси виникнення, розповсюдження та розвитку пожежі поверхнею систем фасадної теплоізоляції будівель. Визначено вплив зовнішньої вертикальної огорожувальної конструкції на поширення пожежі по поверхні конструкції горючої фасадної теплоізоляційної системи.

В роботі [19] автори проаналізували та систематизували основні методи оцінювання поширення пожежі по фасадах будівель. Виявлено переваги та недоліки існуючих методик та відповідних стендів Європи та інших країн щодо оцінювання ефективності заходів з обмеження поширення фасадних пожеж.

Мета роботи. Метою роботи було обґрунтування методики натурних вогневих випробувань збірних систем фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками на поширення вогню, суть якого не суперечить чинним вимогам національних будівельних норм та стандартів щодо пожежної безпеки будівель, з урахуванням підходів до оцінювання здатності фасадних систем поширювати вогонь по зовнішній поверхні, а також багаторічного практичного досвіду випробування таких систем в Україні.

Методи досліджень.

Використано аналітичний метод досліджень (аналіз вітчизняної та закордонної нормативної бази, керівних та технічних документів, інформаційних проспектів, посібників, довідників, протоколів випробувань та інших літературних джерел, інформації мережі Internet) та експериментальний метод досліджень температурного режиму у вогневій камері дослідного фрагмента будинку.

Під час виконання роботи проведено аналіз національних стандартів та інших джерел інформації щодо пожежної небезпеки збірних систем фасадної теплоізоляції будинків і споруд з опорядженням штукатурками та методів її оцінювання; експериментально досліджено температурний режим у вогневій камері дослідного фрагмента будинку, при застосуванні в ній стандартизованого модельного вогнища пожежі з деревини, і за різних умов навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу.

Для забезпечення збіжності (повторюваності) результатів випробувань систем фасадної теплоізоляції на поширення вогню необхідно, щоб у кожному випробуванні були однакові

теплові впливи на їхню зовнішню поверхню. Тепловий вплив на зовнішню поверхню системи фасадної теплоізоляції під час натурних вогневих випробувань визначається параметрами полум'я, яке поширюється з вогневої камери фрагмента будинку крізь віконний проріз. Цими параметрами є температура, ширина, глибина, довжина полум'я, а також його відхилення відносно фасаду будинку [20]. На ці параметри можуть впливати вологість деревини у модельному вогнищі пожежі і вологість повітря зовні фрагмента будинку [21].

Визначати параметри полум'я, яке поширюється крізь віконний проріз, зокрема, його геометричні показники, з достатньою точністю є проблематичним через відсутність відповідних засобів вимірювальної техніки. Прийнятним для систем фасадної теплоізоляції, на нашу думку, є підхід, який застосовано для забезпечення збіжності (повторюваності) результатів випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість. Згідно з ним встановлено, що під час випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість температурний режим в печі має відповідати стандартному температурному режиму – номінальному температурному режиму з допустимими відхиленнями від нього [12]. Температурний режим у вогневій камері (приміщенні) фрагмента будинку також впливає на параметрами полум'я, яке поширюється з цієї камери крізь віконний проріз.

Отже метою наших експериментальних досліджень було визначення граничних значень вологості деревини у модельному вогнищі пожежі і температури повітря зовні фрагмента будинку, за яких під час випробувань температурний режим у вогневій камері фрагмента будинку з пожежним навантаженням відповідає стандартному температурному режиму [12].

Фрагмент будинку, що використовується в експериментальному дослідженні, являє собою двоповерхову будівлю загальною висотою 5,6 м, згідно з [11], її загальний вигляд показано на рисунку 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд фрагмента будинку для проведення експериментальних досліджень

Приміщення першого поверху є вогневою камерою і призначене для створення у ньому температурного режиму, наближеного до стандартного температурного режиму, який регламентовано стандартом ДСТУ Б В. 1.1-4 і визначається залежністю:

$$T_s = 345 \lg(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

де T_s – температура у вогневій камері, яка відповідає часу t , °C;

t – час що віраховується від початку випробування, хв.

У приміщенні першого поверху будинку, висотою 2,6 м і площею підлоги 13,5 м², з віконним

прорізом розмірами (1,2 х 2,4) м, встановлювали стандартизоване модельне вогнище пожежі, відповідно до [22], у вигляді штабеля брусків з деревини, який складався з 18-ти повних ярусів та одного неповного. Кожен поперечний ярус складався з 14 елементів довжиною 1,22 м, а кожен повздовжній – з 7 елементів довжиною 2,44 м. Верхній ярус складався з 3 елементів довжиною 2,44 м.

Нижче у таблиці 1 узагальнено результати раніше проведених випробувань ТОС на поширення вогню та дані відповідних експериментальних досліджень, отриманих впродовж 2019-2023 років.

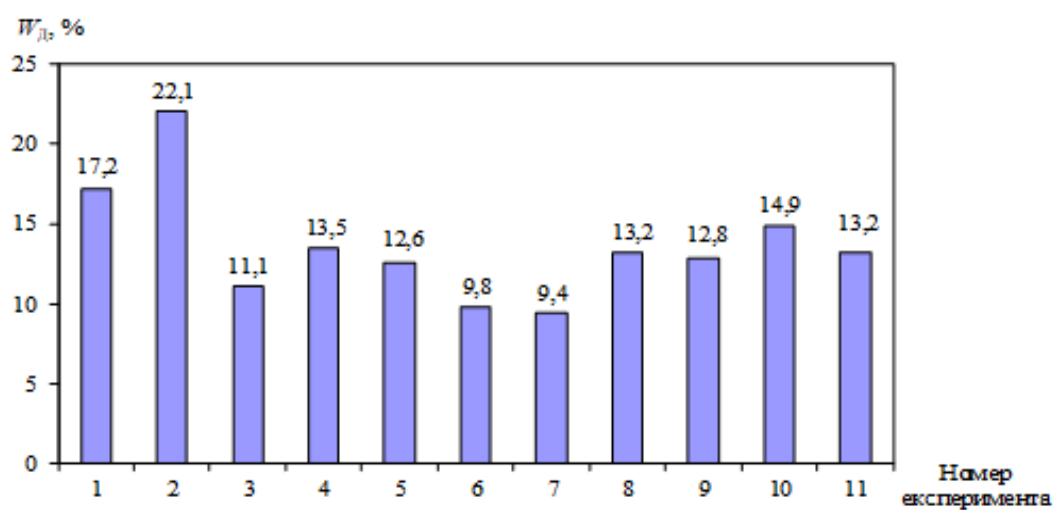
Таблиця 1

Дані щодо вологості деревини і умов навколишнього середовища

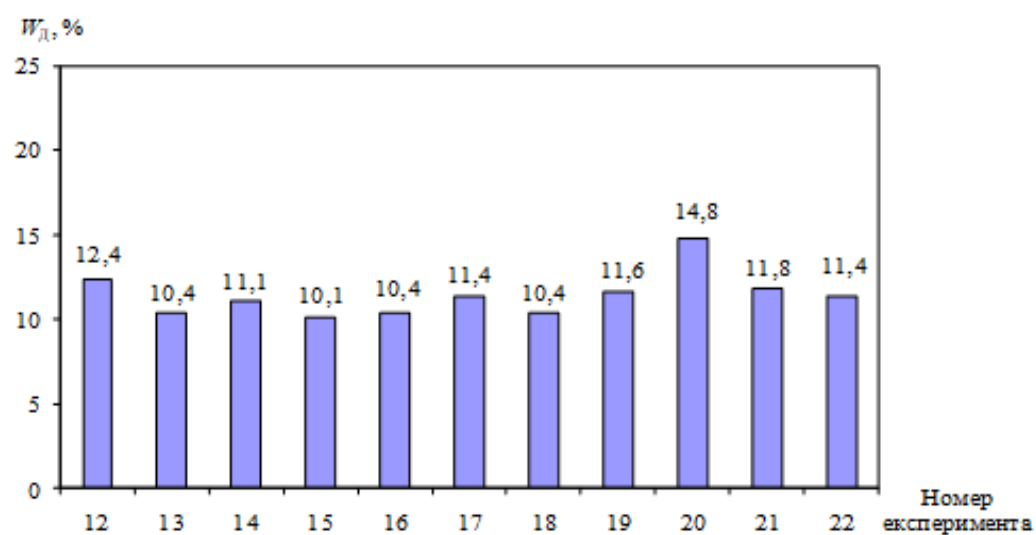
Номер експерименту	Відносна вологість деревини, W_d , %	Температура повітря, T_p , °C	Відносна вологість повітря, W_p , %	Інтегральне значення середньої температури A_t , °C, хв
1	2	3	4	5
1	17,2	24,8	62	16180
2	22,1	9,0	98	17228
3	11,1	17,0	43	21130
4	13,5	25,0	51	21581
5	12,6	23,2	61	21591
6	9,8	15,8	42	22097
7	9,4	21,4	46	22474
8	13,2	24,4	40	22639
9	12,8	14,2	62	22742
10	14,9	31,0	36	23470
11	13,2	26,0	55	23612
12	12,4	23,4	44	16372
13	10,4	32,2	46	17335
14	11,1	5,6	72	22131
15	10,1	9,4	68	23674
16	10,4	23,4	70	22581
17	11,4	29,4	42	22184
18	10,4	7,8	54	23316
19	11,6	21,6	58	22726
20	14,8	19,4	54	22752
21	11,8	20,2	64	23480
22	11,4	5,2	64	23652
23	14,8	26,8	46	17272
24	15,0	29,8	48	18342
25	14,2	17,6	74	22143
26	14,9	5,8	54	23685
27	14,8	21,8	44,6	22623
28	14,2	29,2	68	22232
29	13,4	26,2	48	23412
30	14,8	21,8	64	22725
31	12,4	9,6	84	22761
32	11,8	21,2	44	23472
33	11,4	27,4	25	23643

Всього проаналізовано результати 33 експериментів, в яких застосовували зазначене модельне вогнище пожежі з деревини, що мало різні для кожного вогнища середні значення відносної вологості деревини W_d – від 9,4 % до 22,1 % (рис. 3).

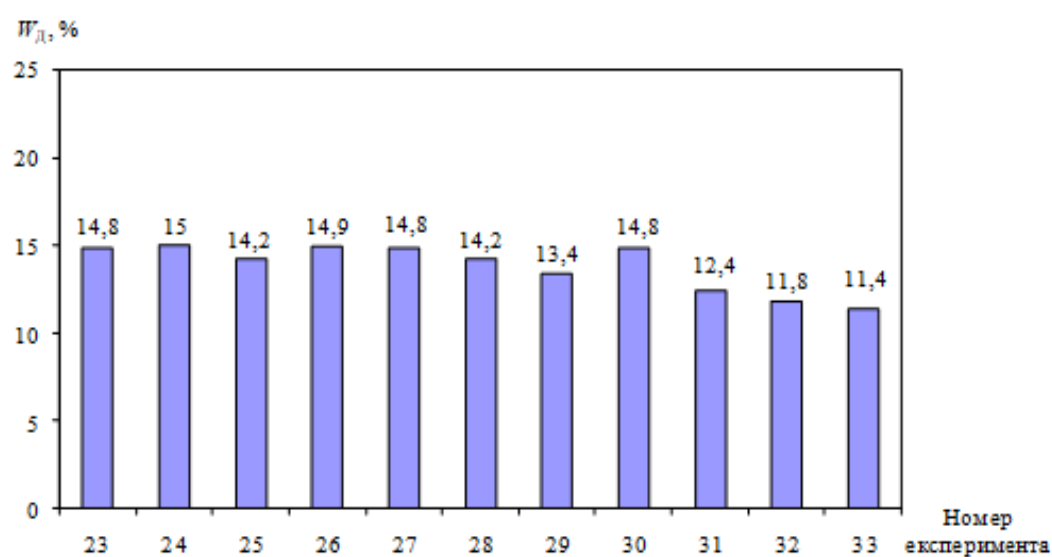
Експериментальні дані отримані у різних умовах навколишнього середовища: температура повітря T_p становила від 5,2 °C до 32,2 °C (рис. 4) та його відносна вологість W_p – від 25 % до 98 % (рис. 5).



а)

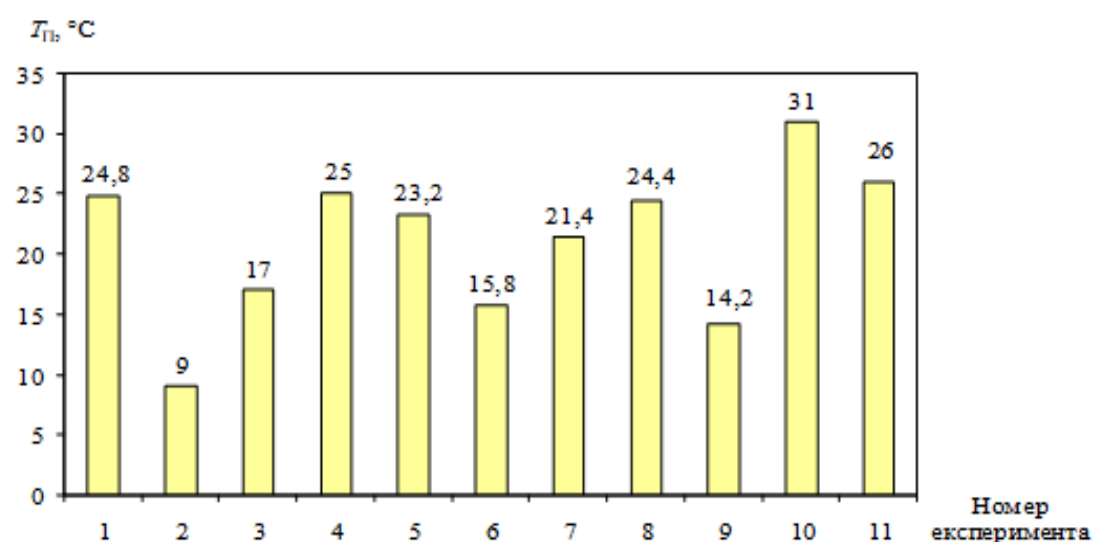


б)

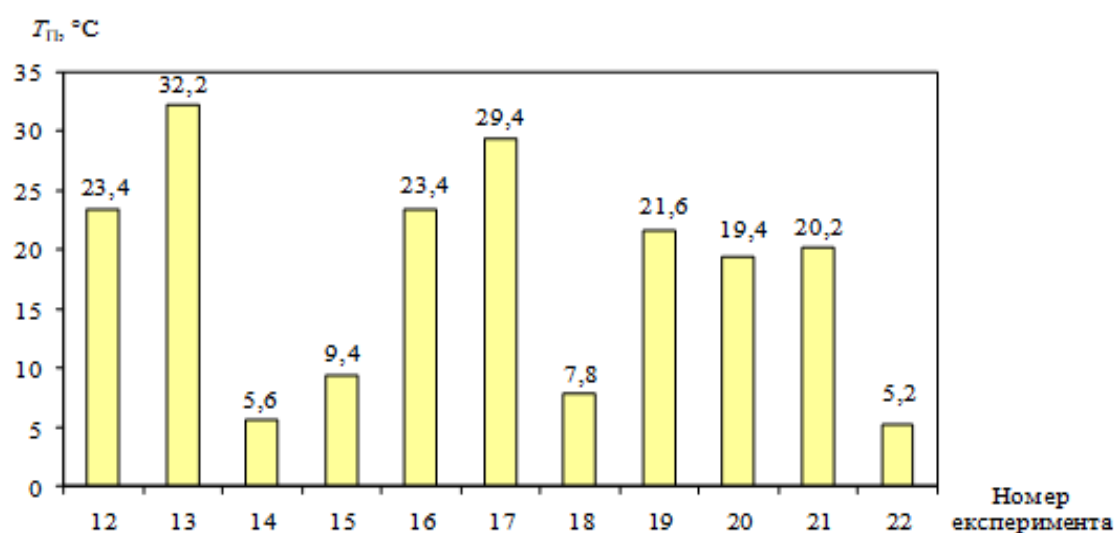


в)

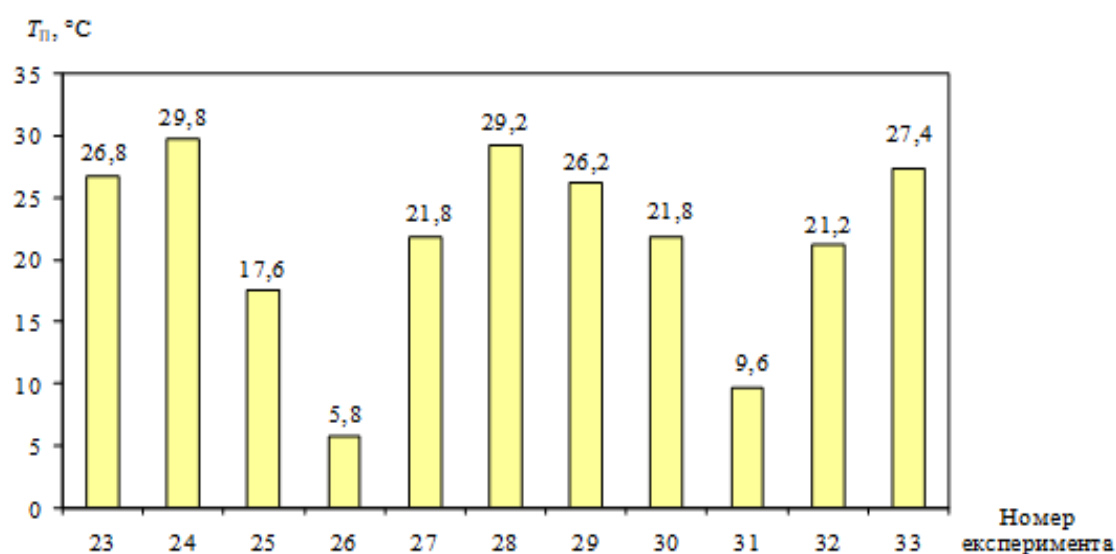
Рисунок 3 – Діаграма значень відносної вологості деревини модельного вогнища пожежі



a)

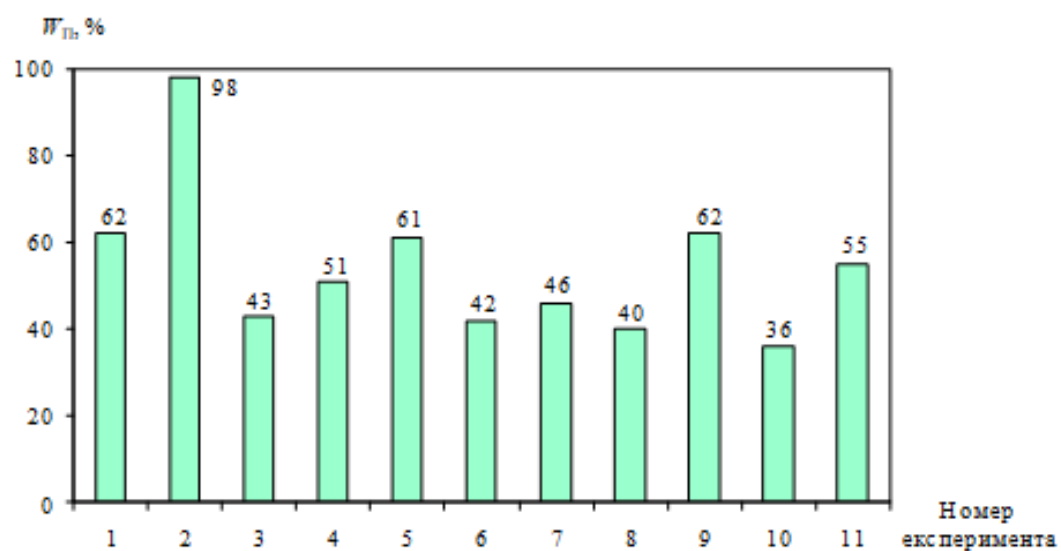


б)

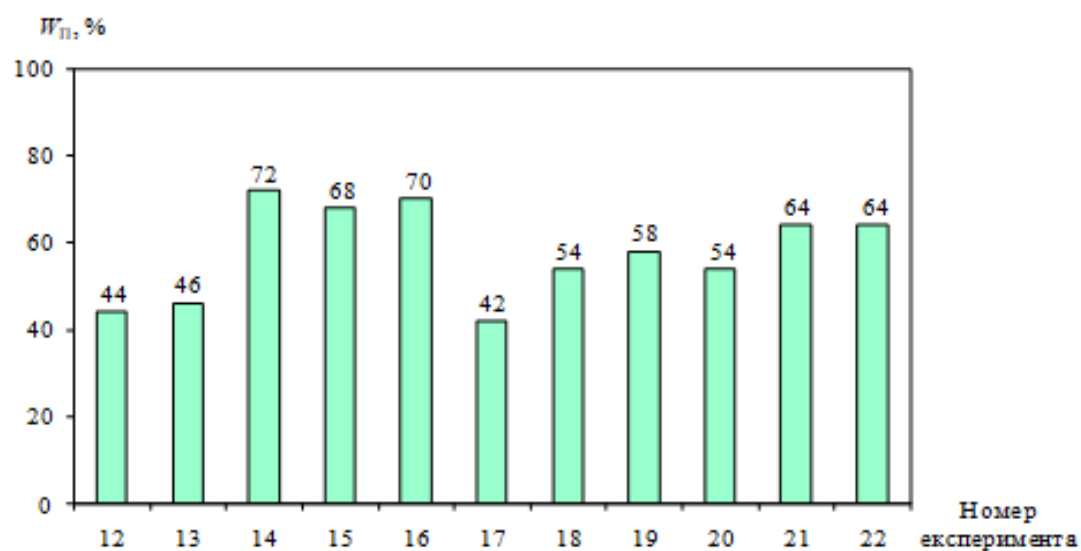


в)

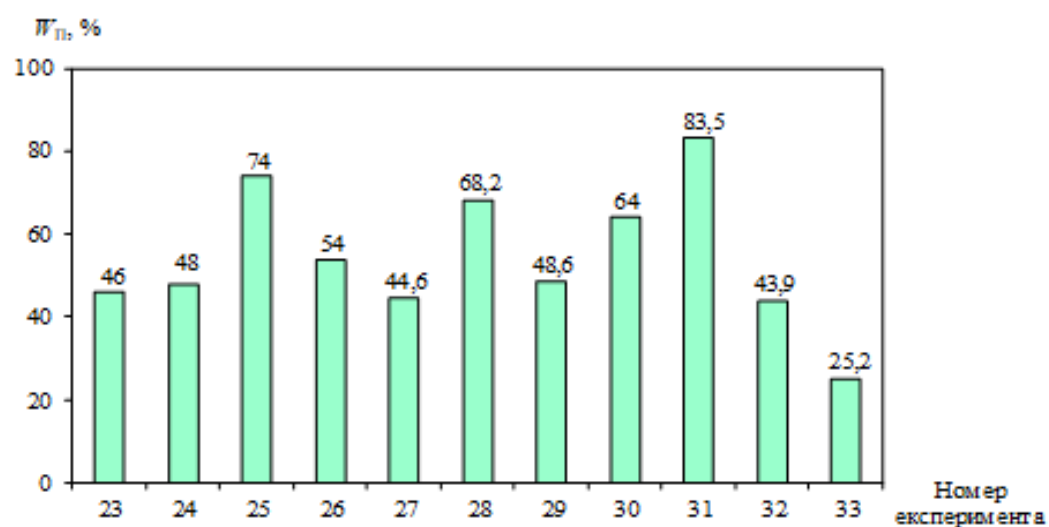
Рисунок 4 – Діаграма значень температури повітря



a)



б)



в)

Рисунок 5 – Діаграма значень відносної вологості повітря

Можливість застосування ТОС для оздоблення фасадів будинків різних за призначенням, висотою (поверховістю) та ступенем їх вогнестійкості визначається залежно від результатів випробувань, одержаних за цією методикою та показників горючості матеріалів

теплоізоляційного та опоряджувального шарів цієї ТОС, які визначаються згідно з пожежно-технічною класифікацією ДБН В.1.1-7.

На рисунку 6 наведено залежності температур T_s , T_{min} , T_{max} від часу вогневого впливу для проміжку часу 30 хв [12].

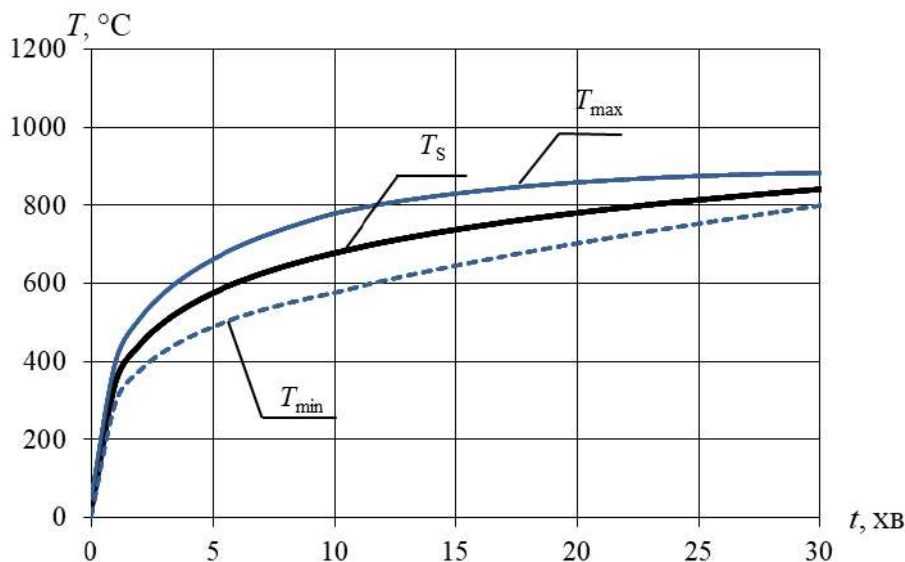


Рисунок 6 – Залежності T_s , T_{min} , T_{max} від часу вогневого впливу

Із вищезазначеного можна зробити висновок про те, що у разі застосування модельного вогнища пожежі, конструкція якого відповідає ДСТУ Б В.1.1-18 [22], для створення стандартного температурного режиму за ДСТУ Б В.1.1-4 [12] у приміщенні висотою 5,6 м, площею підлоги 13,5 м², з віконним прорізом розмірами (1,2 м x 2,4) м необхідно застосовувати деревину, яка має відносну вологість не більше ніж 15,0 %, і такі умови проведення випробувань: температура повітря – не менша ніж 5 °C, відносна вологість повітря – не більша ніж 85 %.

Цей висновок ґрунтується на тому, що значення відхилення температурного режиму в приміщенні від стандартного температурного режиму є незначними і ними можна знехтувати, враховуючи невизначеність залежності між температурою продуктів горіння в приміщенні і вологістю деревини брусків модельного вогнища.

Під час випробування вогонь, який поширюється з приміщення фрагмента будинку крізь віконний проріз, здійснює тепловий вплив на зовнішню поверхню системи фасадної теплоізоляції. Протягом 30 хв випробування вимірюють температуру у приміщенні, біля зовнішньої поверхні і всередині (в шарі утеплювача) системи фасадної теплоізоляції.

Тривалість випробування, яка становить 30 хв, можна обґрунтувати, виходячи із максимального значення нормованої межі вогнестійкості для

зовнішніх не несучих стін, яке наведено в ДБН В.1.1-7 [2]. У цих будівельних нормах наведено, що для будинків I, III і IIIб ступенів вогнестійкості межа вогнестійкості зовнішніх не несучих стін має бути не менша ніж 30 хв, а для будинків інших ступенів вогнестійкості – не менша ніж 15 хв.

В методиці [11] зазначено, що за результатами вимірювання температур проводять порівняння максимальних значень температури в утеплювачі, визначені для контрольних точок, з температурою займання утеплювача, а за відсутності даних щодо цієї температури займання, приймають температуру 400 °C. Вважаємо за доцільне для підвищення достовірності результатів випробувань підкреслити, що максимальні значення температури в утеплювачі можна також прирівнювати до експериментально-визначених температур його займання.

Також, з метою підвищення достовірності результатів випробувань, зокрема щодо способу фіксації факту поширення чи непоширення вогню по зовнішній поверхні системи фасадної теплоізоляції, доцільним є уточнити та доповнити критерії їх віднесення до таких, що не поширюють полум'я поверхнею.

Нижче у таблиці 2 наведено порівняння критеріїв віднесення систем до таких, що не поширюють вогонь поверхнею згідно із [11] та критерії, які доцільно передбачити для таких

систем, враховуючи при цьому пропонувані критерії для системи класифікації фасадних систем

в країнах ЄС [23], а також досвід випробувань ТОС в Україні.

Таблиця 2

Критерії для систем фасадної теплоізоляції, що не поширюють вогонь

Критерії згідно із [11]	Запропоновані критерії
1	2
ТОС не поширює вогонь , якщо не відбулося поширення полум'я по зовнішній поверхні ТОС та для всіх термопар, що розташовані усередині ТОС температура не перевищувала 400 °С	Збірна система фасадної теплоізоляції не поширює вогонь , якщо не відбулося вертикального та горизонтального поширення вогню по її зовнішній поверхні та в середині
Поширення полум'я зовнішньою поверхнею визначається за даними фото- відеозйомки шляхом фіксації поширення полум'я по зовнішній поверхні ТОС за межі безпосереднього контакту вогнища з ТОС	Поширення вогню зовнішньою поверхнею системи у вертикальному напрямку визначається: 1) за даними фото- відеозйомки шляхом фіксації вертикального поширення вогню по зовнішній поверхні системи за межі безпосереднього контакту вогнища з системою, а також вимірюванням температури біля поверхні системи на висоті 3,5 м над вогневою камерою, значення якої не повинні перевищувати 500 °С у будь-який момент часу випробування; 2) на зовнішній поверхні системи на висоті 3,5 м над вогневою камерою не повинно бути безперервного полуменевого горіння упродовж більше ніж 30 с та/або пошкоджень системи; 3) у верхній частині зразка (верхній торець системи) у будь-який момент часу випробування не повинно бути вогню
	Поширення вогню зовнішньою поверхнею системи у горизонтальному напрямку визначається: 1) за даними фото-відеозйомки шляхом фіксації горизонтального поширення вогню по зовнішній поверхні системи за межі безпосереднього контакту вогнища з системою, а також вимірюванням температури біля поверхні системи в крайніх лівих точках на стіні А, значення якої не повинні перевищувати 500 °С у будь-який момент часу випробування; 2) на правому та лівому краях системи на стіні А не повинно бути вогню у будь-який момент часу випробування
Поширення полум'я усередині ТОС визначається за значеннями температури на термопарах, розміщених усередині ТОС	Поширення вогню усередині системи у вертикальному напрямку визначається: 1) вимірюванням температури усередині системи над віконним прорізом, значення якої не повинні перевищувати 400 °С у будь-який момент часу випробування Поширення вогню усередині системи у горизонтальному напрямку визначається: 1) вимірюванням температури усередині системи з лівого краю на стіні Б, значення якої не повинні перевищувати 400 °С у будь-який момент часу випробування

З метою запровадження європейської практики щодо розширеної сфери застосування отриманих даних в ході проведення випробувань фасадних систем, доцільним є зазначити, що результати випробування не поширюються на збірні системи фасадної теплоізоляції, які мають конструктивні відмінності від збірної системи фасадної теплоізоляції, зразок якої було випробувано, крім таких:

– результати випробування поширюються на збірні системи фасадної теплоізоляції, в яких **товщина шару утеплювача** з теплоізоляційного матеріалу не більша за товщину шару утеплювача, який використовували у зразку для випробування;

– результати випробування поширюються на збірні системи фасадної теплоізоляції, в яких застосовують теплоізоляційний матеріал, що має значення **густини** за ДСТУ Б В.2.6-189 [24] **питомої теплоти згоряння** за ДСТУ EN ISO 1716 [8] не більші, а **температуру займання** за ДСТУ 8829 [7] не нижчу ніж у теплоізоляційного матеріалу, який використовували у зразку для випробування;

– результати випробування збірної системи фасадної теплоізоляції, в конструкції зразка якої використано **протипожежний пояс** та (або) обрамлення віконного прорізу на фасаді фрагмента будинку, виконані з негорючого теплоізоляційного матеріалу за ДСТУ 8829 [7], поширюються на

збірні системи фасадної теплоізоляції, в яких застосовують протипожежні пояси, що розташовані між собою на відстані не більше ніж 3,5 м, та (або) обрамлення віконних прорізів на фасаді фрагмента будинку, виконані з негорючого теплоізоляційного матеріалу за ДСТУ 8829 [7], **довжина, ширина і глибина** яких не менші ніж у протипожежного поясу та (або) обрамлення віконного прорізу, які використовували у зразку для випробування;

– результати випробування збірної системи фасадної теплоізоляції, в конструкції зразка якої використано **протипожежний пояс** та (або) обрамлення віконного прорізу на фасаді фрагмента будинку, виконані з негорючого теплоізоляційного матеріалу за ДСТУ 8829 [7], поширюються на збірні системи фасадної теплоізоляції, в яких застосовують протипожежні пояси, що розташовані між собою на відстані не більше ніж 3,5 м, та (або) обрамлення віконних прорізів на фасаді фрагмента будинку, виконані з негорючого теплоізоляційного матеріалу за ДСТУ 8829 [7], **густина** якого не менша ніж у теплоізоляційного матеріалу, який використовували у зразку для випробування;

– результати випробування збірної системи фасадної теплоізоляції, в конструкції зразка якої **використано протипожежний пояс** та (або) обрамлення віконного прорізу на фасаді фрагмента будинку, **не поширюються на збірні системи фасадної теплоізоляції без протипожежних поясів** та (або) обрамлення віконних прорізів;

– результати випробування, отримані із використанням зразка збірної системи фасадної теплоізоляції **без протипожежного поясу** та (або) обрамлення віконного прорізу, **поширюються на збірні системи фасадної теплоізоляції з протипожежним поясом** та (або) обрамленням віконного прорізу, виконані з негорючого теплоізоляційного матеріалу за ДСТУ 8829 [7].

Висновки. В результаті проведеного аналізу вимог пожежної безпеки збірних систем фасадної теплоізоляції зовнішніх стін будинків і споруд та методів їх оцінювання встановлено, що:

– незважаючи на відносно низьку частоту виникнення пожеж фасадів, як в Україні, так і у світі, проте пов'язані з ними наслідки, з точки зору масштабів пожеж, травм і загибелі людей, можуть бути значними;

– збірні конструкції фасадів, в яких застосовуються горючі теплоізоляційні утеплювачі та горючі опоряджувальні матеріали, підвищують ризик виникнення пожеж та поширювання вогню по поверхні будівель і споруд на значну площу.

В ході обґрунтування процедури і умов проведення випробувань збірних систем фасадної

теплоізоляції з опорядженням штукатурками та дрібноштучними елементами на поширення вогню:

– визначено граничні значення вологості деревини у модельному вогнищі пожежі, температури і вологості повітря зовні фрагмента будинку, за яких під час випробувань систем фасадної теплоізоляції на поширення вогню температурний режим у вогневій камері фрагмента будинку з пожежним навантаженням відповідає стандартному температурному режиму. Показано, що для створення цього режиму у приміщенні необхідно застосовувати деревину, яка має відносну вологість не більше ніж 15,0 %, і такі умови проведення випробувань: температура повітря має бути не менше ніж 5 °С, відносна вологість повітря має бути не більше ніж 85 %;

– обґрунтовано параметри випробувального обладнання і процедуру проведення випробувань збірних систем фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками на поширення вогню;

– обґрунтовано тривалість випробування, яка становить 30 хв, виходячи із максимального значення нормованої межі вогнестійкості для зовнішніх не несучих стін, згідно з вітчизняними будівельними нормами;

– показана необхідність поділу систем фасадної теплоізоляції на такі два класи: “збірна система фасадної теплоізоляції, що не поширює вогонь” та “збірна система фасадної теплоізоляції, що поширює вогонь”, при цьому, з метою підвищення достовірності результатів випробувань, запропоновано деталізовані критерії оцінювання;

– встановлено правила визначення розширеної сфери застосування результатів випробувань збірної системи фасадної теплоізоляції.

Список літератури:

1. Обґрунтування умов і процедури натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню («фасади – натурні випробування»): звіт про НДР (остаточний) / Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ); кер. Т.М. Скоробагатько; викон.: О.В. Добростан [та ін.]. К., 2020. 230 с. № держреєстрації 0119U102437.

2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. К.: Мінрегіон України, 2017. 35 с.

3. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. К.: Мінрегіон України, 2018. 19 с.

4. ДСТУ Б В.2.6-34:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги. [Чинний від 2009-06-01]. К.: Мінрегіонбуд, 2009. 19 с.

5. ДСТУ Б В.2.6-35:2008 Конструкції будинків

і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-06-01]. К.: Мінрегіонбуд, 2009. 35 с.

6. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. Чинний від 2009-06-01. К.: Мінрегіонбуд, 2009. 43 с.

7. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Чинний від 2020-01-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 146 с.

8. ДСТУ EN ISO 1716:2019 Випробування виробів щодо реакції на вогонь. Визначення величини теплоти згоряння (теплотворна здатність) (EN ISO 1716:2018, IDT; ISO 1716:2018, IDT). [Чинний від 2020.01.01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 25 с.

9. ДСТУ EN ISO 1182:2016 Випробування виробів щодо реакції на вогонь. Випробування на негорючість (EN ISO 1182:2010, IDT). [Чинний від 2016-09-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 40 с.

10. ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96) Захист від пожежі. Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість. [Чинний від 1998-01-01]. К.: Держкоммістобудування України, 1997. 34 с.

11. Методика натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню. К.: УкрНДПБ МНС України, 1999, 2010. 18 с.

12. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. [Чинний від 1999-03-01]. К.: Державний комітет будівництва, 1998. 47 с.

13. ДСТУ Б В.1.1-21-2009 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Метод великомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-2:2002, MOD). [Чинний від 2009-08-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 24 с.

14. ДСТУ Б В.1.1-22-2009 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Метод середньомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-1:2002, MOD). [Чинний від 2009-08-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 15 с.

15. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 року № 1764.

16. Яковчук Р., Кузик А., Ємельяненко С. і Скоробагатко Т. Механізм поширення пожежі поверхнею конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою. Пожежна безпека.

2019. №34. С. 96-103. doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.16.

17. Ballo Y., Yakovchuk R., Nizhnyk V., Borysova A. Determining the effect of fire from external air conditioning units on buildings' façades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, 3 (10 (117)), 72–79. DOI: doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259533.

18. Яковчук Р.С. Дослідження впливу зовнішніх вертикальних огорожувальних конструкцій на поширення вогню поверхнею стін із фасадною теплоізоляцією. Пожежна безпека, 2021. №38, С. 38-48. doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.38.2021.06.

19. Балло Я. В., Яковчук Р. С., Кагітін О. І., Стилик І. Г. Аналіз основних методів оцінювання поширення пожежі по фасадах будівель. Пожежна безпека, 2022, №41, С. 20-30. doi.org/10.32447/20786662.41.2022.03.

20. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі. Зміна № 1 (EN 1991-1-2:2002, IDT+EN 1991-1-2:2002/AC:2013, IDT+NA:2013). [Чинний від 2014-07-01]. К.: Мінрегіон України, 2013. 59 с.

21. Новак С.В., Згуря В.І., Мазілін О.М., Папуша Р.Г. Застосування модельних вогнищ пожежі із деревини для забезпечення стандартного температурного режиму в приміщеннях. Науковий Вісник УкрНДПБ. К.: УкрНДПБ, 2009. №2(20). С. 99-105.

22. ДСТУ Б В.1.1-18:2007 Споруди та фрагменти будівель. Метод натурних вогневих випробувань. Загальні вимоги. [Чинний від 2008-04-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2007. 16 с.

23. Циганков, А., Ніжник, В., Фешук, Ю., Балло, Я. Аналіз європейського досвіду нормування вимог до конструкцій фасадної теплоізоляції в будівлях. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2021 (1(11), 11–21. doi.org/10.33269/nvcz.2021.1(11).11-21.

24. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будинків. Чинний від 2014-01-01. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 48 с.

References:

1. Substantiation of conditions and procedure for full-scale fire tests of thermal insulation and finishing systems of external walls of buildings and structures for fire spread ("facades - full-scale tests"): report on research (final) / Institute of Public Administration and Scientific Research of Civil Protection (IPA SRC); supervisor T.M. Skorobahatko; executor: O.V. Dobrostan [et al. K., 2020. 230 с. State registration number 0119U102437.

2. DBN V.1.1-7:2016 Fire safety objects of construction. General requirements. (2016). Kiev:

Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukr.).

3. DBN V.2.6-33:2018 Constructions of heat insulated external walls. Requirements for the designing. (2018). Kiev: "Ukrarkhbudinform" (in Ukr.).

4. DSTU B V. 2.6-34:2008 Constructions of houses and buildings. Constructions of external walls with front thermal insulation. Classification and general technical requirements. (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

5. DSTU B V. 2.6-35:2008 Constructions of houses and buildings. Exterior wall constructions with facade thermal insulation and finishing with industrial elements with ventilated air layer. General technical conditions (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

6. DSTU B V. 2.6-36:2008 Construction of buildings and structures. Construction of the external walls with facade insulations and plaster. General technical requirements (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

7. DSTU 8829:2019 Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their definition. Classification. (2019). (in Ukr.).

8. DSTU EN ISO 1716:2019 Testing products for reaction to fire. Determination of the calorific value (heating value) (EN ISO 1716:2018, IDT; ISO 1716:2018, IDT). (2019), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

9. DSTU EN ISO 1182:2016 Testing of products for reaction to fire. Tests for non-combustibility (EN ISO 1182:2010, IDT). (2016), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

10. DSTU B V.1.1-2-97 Fire protection. Building materials. Flammability test method. (1997). (in Ukr.).

11. Procedure of fire tests of heat insulating and finishing façade systems for the external walls of buildings and constructions for fire spread, developed by UkrFSRI of the MOE of Ukraine, 2010.

12. DSTU B V.1.1-4-98* Fire protection. Building structures Methods of fire resistance testing. General requirements. - Valid from 1999-03-01. K.: State Committee of Construction, 1998. 47 p.

13. DSTU B V.1.1-21-2009 Constructions of external walls with front thermal insulation. Large-scale fire test method (ISO 13785-2: 2002, MOD). (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

14. DSTU B V.1.1-22-2009 Constructions of external walls with front thermal insulation. Medium-scale fire test method (ISO 13785-1: 2002, MOD). (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).

15. Technical Regulations for Construction Products, Buildings and Structures. Approved by

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 20, 2006, No. 1764.

16. Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Yemelyanenko, S., & Skorobagatko, T. (2019). Fire spread mechanism on surface of construction fit with façade heat insulation based on combustible insulant and finished with plaster. *Fire Safety*, (34), pp. 96-103. (in Ukr.) doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.16.

17. Ballo Y., Yakovchuk R., Nizhnyk V., Borysova A. (2022). Determining the effect of fire from external air conditioning units on buildings' façades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (117)), 72–79. doi: doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259533.

18. Yakovchuk, R. (2021). Study of the effect of external vertical enclosing structures on the spread of fire through the surface of walls with facade thermal insulation. *Fire safety*, 38, 38-48.

doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.38.2021.06.

19. Ballo, Y., Yakovchuk, R., Kahitin, O., & Stylik, I. (2022). Analysis of the main methods for assessing the spread of fire along building facades. *Fire safety*, 41, 20-30.

doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.03.

20. DSTU-N B EN 1991-1-2:2010 Eurocode 1: Effects on structures. Part 1-2. General actions. Actions on structures in case of fire. Amendment No. 1 (EN 1991-1-2:2002, IDT+EN 1991-1-2:2002/AC:2013, IDT+NA:2013). Effective from 2014-07-01. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2013. 59 p.

21. Application of model fire foci made of wood to ensure a standard temperature regime in the premises / S.V. Novak, V.I. Zgurya, O.M. Mazilin, R.G. Papusha // *Scientific Bulletin of UkrNDIPB*. K.: UkrNDIPB, 2009. №2(20). C. 99 - 105.

22. DSTU B V.1.1-18:2007 Structures and fragments of buildings. Method of full-scale fire tests. General requirements. Valid from 2008-04-01. K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2007. 16 p.

23. Tsygankov, A., Nizhnyk, V., Feshchuk, Y., & Ballo, J. (2021). Analysis of the European experience of standardization of requirements for facade insulation structures in buildings. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, (1(11), 11-21. doi.org/10.33269/nvez.2021.1(11).11-21.

24. DSTU B B.2.6-189:2013 Methods of selection of heat-insulating material for building insulation. Effective from 2014-01-01. K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2013. 48 p.

© О. І. Кагітін, Р. Б. Веселівський, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 22.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



О. І. Лавренюк, Р. І. Гушак, Б. М. Михалічко

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-2896> – О. І. Лавренюк

<https://orcid.org/0009-0006-4818-2503> – Р. І. Гушак

<https://orcid.org/0000-0002-5583-9992> – Б. М. Михалічко



olaw@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ КУПРУМ(II) ФЛУОРИДУ НА ГОРЮЧИСТЬ МЕТАЛКООРДИНОВАНИХ ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ

Вступ. Одним із найважливіших показників, за якими оцінюють пожежовибухонебезпечність полімерних матеріалів в умовах транспортування, зберігання чи експлуатації, є горючість. Оскільки більшість синтетичних полімерів мають органічну будову, то створити абсолютно негорючий полімерний матеріал практично неможливо. Проте пожежі, зазвичай, виникають внаслідок дії джерел запалювання низької потужності. Тому надзвичайно важливим є зниження горючості полімерних матеріалів, що відобразиться в утрудненні їх займання та поширення полум'я. Високою ефективністю щодо зниження горючості епоксіамінних композицій володіє низка антипіренів-затвердників, отриманих на основі неорганічних солей перехідних металів з амініними затвердниками епоксидних смол. Тому проведення системних досліджень впливу таких антипіренів на пожежну небезпеку матеріалів на основі епоксидних смол є надзвичайно актуальним та дасть змогу розширити асортимент доступних реакційноздатних антипіренів та розробити технологію отримання важкогорючих епоксиполімерних матеріалів.

Мета. Експериментально дослідити закономірності впливу реакційноздатного антипірену купрум(II) флуориду на горючість металкоординованих епоксіамінних композицій.

Методи. Горючість епоксіамінних композицій оцінювали за максимальним приростом температури, втратою маси зразка та часом досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння, які визначали згідно з ДСТУ 8829:2019 (п. 7.3).

Результати. Введення в епоксіамінну композицію антипірену купрум(II) флуориду призводить до помітної зміни показників групи горючості, а саме до зменшення максимального приросту температури, втрати маси та збільшення часу досягнення максимальної температури. Найбільш стійкою до горіння виявилася композиція з вмістом запропонованого антипірену 10 мас.ч. на 100 мас.ч. зв'язуючого ЕД/пера-CuF₂(10). За показниками групи горючості вона відноситься до горючих важкозаймистих матеріалів. Порівняно з немодифікованою композицією ЕД/пера максимальний приріст температури в процесі горіння модифікованої епоксіамінної композиції ЕД/пера-CuF₂(10) зменшується на 63°C, втрата маси – на 12,4 %, а час досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння, навпаки, зростає на 92 с.

Висновки. Результати проведених досліджень свідчать про високу ефективність застосування нового реакційноздатного антипірену купрум(II) флуориду з метою зниження горючості епоксіамінних композицій. Це, насамперед, зумовлено утворенням міцних координаційних зв'язків між негорючою неорганічною сіллю та горючим органічним затвердником епоксидних смол. На руйнування цих зв'язків необхідно затратити додаткову енергію, що призводить до зниження інтенсивності виділення летких горючих продуктів розкладання.

Ключові слова: зниження горючості, епоксіамінні композиції, антипірен-затвердник, купрум(II) флуорид.

О. І. Lavrenyuk, R. I. Hushchak, B. M. Mykhalichko

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

FEATURES OF THE INFLUENCE OF COPPER (II) FLUORIDE ON THE COMBUSTIBILITY OF METAL-COORDINATED EPOXY-AMINE COMPOSITES

Introduction. Combustibility is one of the most important indices used to assess the fire and explosion risk of polymer materials under the conditions of transportation, storage, or operation. Since most synthetic polymers have an organic structure, it is almost impossible to create a completely non-combustible polymer material. However, fires are usually caused by low power ignition sources. Therefore, it is extremely important to reduce the combustibility of polymer materials, which will be reflected in the difficulty of their ignition and flame propagation. A number of flame retardant-hardeners obtained based on

inorganic salts of transition metals with amine hardeners of epoxy resins are of high efficiency in reducing the combustibility of epoxy-amine composites. Therefore, carrying out systematic studies of the effect of such flame retardants on the fire risk of materials based on epoxy resins is extremely relevant and will make it possible to widen the range of available reactive flame retardants and develop the technology for obtaining flame-resistant epoxy polymer materials.

Purpose. The work aims to experimentally investigate the regularities of the influence of reactive flame retardant - copper(II) fluoride - on the combustibility of metal-coordinated epoxy-amine composites.

Methods. The combustibility of epoxy-amine composites was assessed by the maximum temperature increase, sample mass loss, and time to reach the maximum temperature of gaseous combustion products, which were determined by DSTU 8829:2019 (p. 7.3).

Results. The introduction of copper(II) fluoride into the epoxy-amine composite of flame retardant results in to a noticeable change in the parameters of the combustibility group, that is, a decrease in the maximum temperature increase, mass loss and an increase in the time to reach the maximum temperature. The most resistant to burning turned out to be the composition with the content of the proposed flame retardant of 10 mass parts per 100 mass parts of binding ED/pepa-CuF₂(10). According to the indicators of the combustibility group, it belongs to combustible materials. Compared to the unmodified ED/pepa composite, the maximum temperature increase during combustion of the modified ED/pepa-CuF₂(10) epoxy-amine composite decreases by 63°C, the mass loss – by 12.4%, and the time to reach the maximum temperature of gaseous combustion products, on the contrary, increases by 92 seconds.

Conclusion. The results of the carried out studies show the high efficiency of the use of the new reactive flame retardant copper(II) fluoride to reduce the combustibility of epoxy-amine composites. This is primarily due to the formation of strong coordination bonds between the non-combustible inorganic salt and the combustible organic hardener of epoxy resins. It is necessary to spend additional energy on the destruction of these bonds, which results in a decrease in the intensity of the release of volatile combustible decomposition products.

Keywords: reduction of combustibility, epoxy-amine composites, flame retardant-hardener, copper(II) fluoride.

Постановка проблеми. Одним із найважливіших показників, за якими оцінюють пожежовибухонебезпечність полімерних матеріалів в умовах транспортування, зберігання чи експлуатації, є група горючості. Саме завдяки цій кваліфікаційній характеристиці можна виявити схильність полімеру до займання та поширення горіння. Оскільки більшість синтетичних полімерів мають органічну будову, то створити абсолютно негорючий полімерний матеріал, який неспроможний займатися та підтримувати горіння в умовах пожежі, практично неможливо. Проте пожежі, зазвичай, виникають внаслідок дії джерел запалювання низької потужності. Тому надзвичайно важливим є зниження горючості полімерних матеріалів, що відобразатиметься в утрудненні їх займання та поширення полум'я.

Процес горіння полімерів, як і більшості твердих горючих матеріалів, розпочинається зі стадії ендотермічного розкладання зразка, яке супроводжується виділенням летких газоподібних продуктів та твердого карбонізованого залишку. Якщо концентрація горючих газоподібних продуктів розкладання полімерного матеріалу перевищує нижню концентраційну межу поширення полум'я, то виникає полум'яне горіння. В іншому випадку відбувається тління, яке протікає на поверхні розділу фаз. Тому схильність до горіння полімерних матеріалів та характер перебігу цього процесу істотно залежать як від якісного, так і від кількісного складу продуктів, які виділяються внаслідок термічного розкладання. [1]. Зокрема, при збільшенні частки негорючих газоподібних продуктів розкладання та твердого карбонізованого залишку горючість синтетичних полімерів помітно

знижується. Отже, знизити горючість полімерних матеріалів можна шляхом цілеспрямованого впливу на перебіг процесу термоокисної деструкції полімеру, що дасть змогу підвищити інтенсивність виділення негорючих летких продуктів та карбонізованого залишку [2, 3].

Збільшити інтенсивність утворення негорючих газоподібних продуктів можна завдяки введенню в полімер речовин, спроможних розкладатися за невисоких температур з виділенням, як правило, вуглекислого газу, водяної пари, амоніаку тощо. До зростання виходу карбонізованого залишку призводять процеси, які сприяють структуруванню полімерного матеріалу (зшивання, циклізація тощо). Окрім того, горючість полімерів також знижується за наявності в полімері зв'язків з достатньо великою енергією розриву (C=O, O–H, C=N, P=O, B=N, P=N, Si–O), на руйнування яких та газифікацію необхідно затратити значну теплову енергію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що залежно від кінцевого призначення, забезпечення вимог щодо технологічних та фізико-механічних властивостей матеріалів, їх вартості тощо задля зниження горючості полімерних матеріалів на основі епоксидних смол застосовують різноманітні методи. При розробці епоксиолімерних матеріалів зниженої горючості найбільш оперативним та економічно вигідним способом є використання антипіренів адитивного типу. Проте такі антипірени мають низку серйозних недоліків, що негативно позначилося на їх практичному використанні.

Значно ефективнішим є застосування реакційноздатних антипіренів, застосування яких пов'язане зі зміною елементного складу та хімічної

структури епоксиполімерів. Серед великого різноманіття антипіренів цього класу особливу зацікавленість викликають сполуки перехідних металів. Зокрема, відомо про спроби використання як антипіренів полімерних матеріалів на основі епоксидних смол різноманітних солей, до складу яких входять органічні кислотні залишки, поєднані з катіонами – атомами перехідних металів.

Автори роботи [4] підтвердили, що ацетати перехідних металів порівняно з традиційними фосфор- чи галогенвмісними антипіренами мають значні переваги. Помітне зниження горючості епоксиполімерів спостерігається при невеликому вмісті антипіренів, що, безперечно, не призводить до погіршення фізико-механічних характеристик матеріалів на їх основі. Так, в результаті досліджень було встановлено, що при введенні в епоксиполімер 0,1 мас. % хром ацетату кисневий індекс зростає від 26,1% до 33,3%. Проте при використанні такої ж кількості нікель ацетату значення кисневого індексу навпаки знижується до 24,6%.

Відомо [5] про використання в епоксіамінних композиціях як металовмісних антипіренів цинк ацетат дигідрату, кобальт ацетат тетрагідрату, двошарового гідроксид кобальт-алюміній додеканоату, кобальт(II, III) оксиду. Але, як виявилось, двошаровий гідроксид та метал оксид погано розподіляються в полімерній матриці, тому ефективність їх використання як антипіренів невисока. Введення в епоксидні композиції 7% мас. гідратованих солей, а саме цинк ацетат дигідрату, кобальт ацетат тетрагідрату призводить до суттєвого зниження горючості. А ефективність цих антипіренів пов'язують з формуванням на поверхні полімерного матеріалу неорганічного шару метал оксиду. Завдяки такій будові поверхневого шару знижується інтенсивність виділення летких горючих продуктів розкладання та зменшується потік тепла до полімеру, що ускладнює його розкладання.

Неабиякий інтерес викликає застосування в епоксидних композиціях металофосфорних гібридних наноматеріалів, а зокрема, алюміній фосфінату та фосфонату, залізо/алюміній фосфінату та фосфонату, цинк фосфінату та фосфонату. При введенні в епоксидну смолу алюміній фосфінату та залізо/алюміній фосфонату підвищується стійкість до горіння, про що свідчить зростання кисневого індексу до 29,8%. Передбачено, що такий ефект досягається завдяки утворенню в процесі термоокисної деструкції епоксидних композицій стабільних зв'язків P–O та Fe–O, які суттєво сповільнюють виділення летких горючих продуктів розкладання [6].

В роботі [7] з метою зниження горючості полімерних матеріалів на основі епоксидних смол запропоновано використовувати інтумесцентний

макромолекулярний антипірен Zn-MIFR, який за будовою є біциклічною макромолекулою з вмістом фосфору та кремнію. Використання такого антипірену з вмістом цинку 3% мас. в епоксидних композиціях вихід карбонізованого залишку становить 20,5%, рейтинг згідно з UL 94 – V-0, а кисневий індекс дорівнює 27,5 %. Результати термогравіметричного аналізу свідчать про те, що початок розкладання такої модифікованої композиції зміщений в область нижчих температур порівняно з композицією без антипірену, а вихід цинку та фосфору в залишку зростає. Це призводить не лише до зниження горючості композиції, а і сприяє зменшенню інтенсивності димовиділення.

В останні роки зростає популярність багатофункціональних добавок, які одночасно виконують роль як антипіренів, так і спінювачів, пластифікаторів, структуроутворювачів, затвердників, поверхнево активних речовин тощо. Високо ефективними щодо зниження горючості епоксіамінних композицій є низка антипіренів-затвердників, отриманих на основі неорганічних солей перехідних металів з амінними затвердниками епоксидних смол [8, 9]. Тому проведення системних досліджень впливу таких антипіренів на пожежну безпеку матеріалів на основі епоксидних смол є надзвичайно актуальним та дасть змогу розширити асортимент доступних реакційноздатних антипіренів та розробити технологію отримання важкогорючих епоксиполімерних матеріалів.

Мета роботи. Експериментально дослідити закономірності впливу реакційноздатного антипірену купрум(II) флуориду на горючість металкоординованих епоксіамінних композицій.

Експериментальна частина.

Для отримання епоксіамінних композицій як зв'язуюче використовували епоксидіановий олігомер марки ЕД-20, амінний затвердник – поліетиленполіамін (рера) та реакційноздатний антипірен – купрум(II) флуорид. Модифіковані епоксіамінні композиції готували у такій послідовності. Купрум(II) флуорид просували до моменту повного видалення кристалізаційної води зі складу солі та поміщали в ексікатор [10]. Змішували відповідні наважки зв'язуючого та затвердника. До отриманої суміші додавали висушений купрум(II) флуорид. Окрім того готували так звану вихідну немодифіковану епоксіамінну композицію (ЕД/рера) без додавання антипірену. Приготовані композиції заливали у форми з алюмінієвої фольги та витримували за кімнатної температури. Повне затверднення композицій відбувалося впродовж 24 год. В табл. 1 наведене позначення, якісний та кількісний склад отриманих композицій.

Горючість епоксіамінних композицій оцінювали за максимальним приростом температури ($\Delta t_{\max}$), втратою маси зразка (Δm) та часом досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння (τ), які визначали згідно з ДСТУ 8829:2019 (п. 7.3). Для кожної композиції виготовляли по три зразки висотою

(150 ± 3) мм, шириною (60 ± 1) мм та товщиною ($5 \pm 0,5$) мм. Дослідні зразки перед проведенням випробувань витримували у вентильованій сушильній шафі за температури (60 ± 5)°C впродовж 20 год, після чого охолоджували до кімнатної температури, не виймаючи їх із шафи. Потім зразки поміщали в склотканинний мішечок.

Таблиця 1

Композиції	Мольне співвідношення			Масове співвідношення		
	ЕД-20	пера	CuF ₂	ЕД-20	пера	CuF ₂
ЕД/пера	2,5	1	0	100	12	0
ЕД/пера-CuF ₂ (10)	2,5	1	1	100	12	10
ЕД/пера-CuF ₂ (30)	2,5	1	3	100	12	30
ЕД/пера-CuF ₂ (40)	2,5	1	4	100	12	40

Виклад основного матеріалу. Результати горючості матеріалів на основі епоксіамінних композицій відображені на рис. 1–3.

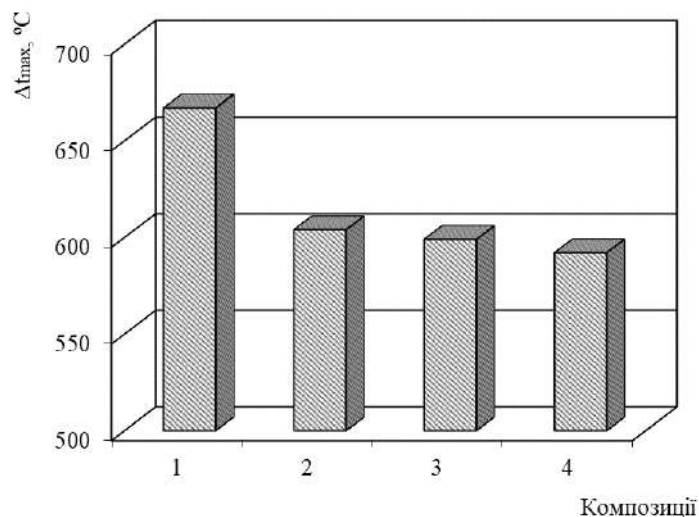


Рисунок 1 – Максимальний приріст температури при горінні зразків на основі епоксіамінних композицій: 1 – ЕД/пера; 2 – ЕД/пера-CuF₂(10); 3 – ЕД/пера-CuF₂(30); 4 – ЕД/пера-CuF₂(40)

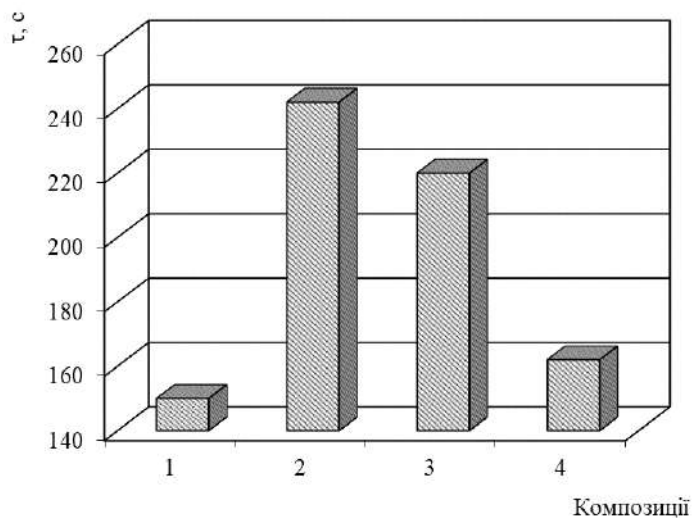


Рисунок 2 – Час досягнення максимальної температури при горінні зразків на основі епоксіамінних композицій: 1 – ЕД/пера; 2 – ЕД/пера-CuF₂(10); 3 – ЕД/пера-CuF₂(30); 4 – ЕД/пера-CuF₂(40)

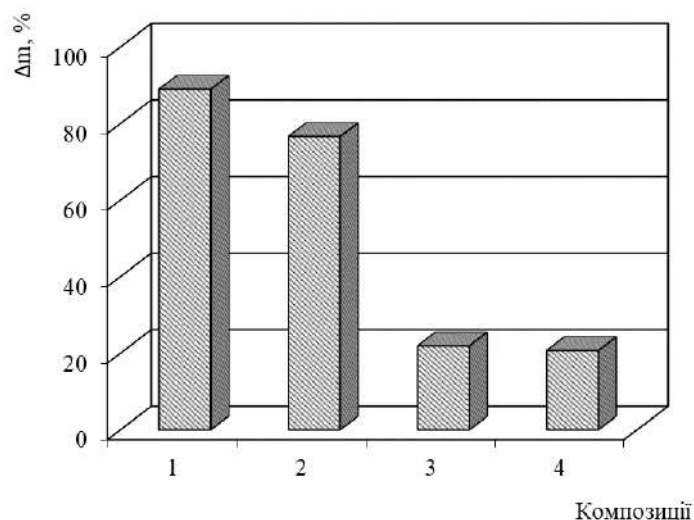


Рисунок 3 – Втрати маси при горінні зразків на основі епоксіамінних композицій:
1 – ЕД/епа; 2 – ЕД/епа- $\text{CuF}_2(10)$; 3 – ЕД/епа- $\text{CuF}_2(30)$; 4 – ЕД/епа- $\text{CuF}_2(40)$

Аналіз отриманих даних вказує на те, що, згідно з ДСТУ 8829:2019, за показниками групи горючості немодифікована епоксіамінна композиція належить до горючих матеріалів. А саме максимальний приріст температури під час горіння такої композиції значно перевищує 60°C і становить 667°C , втрата маси зразка більша за 60% і дорівнює 89%. Час досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння такої композиції становить 150 с, тобто в межах від 30 с до 240 с, що дає змогу класифікувати її як матеріал середньої займистості. Внаслідок візуального спостереження за перебігом горіння виявлено, що зразки на основі немодифікованої композиції при дії полум'я палиника легко займалися, а після припинення дії полум'я продовжували інтенсивно горіти до моменту вимушеного гасіння. Причому горіння супроводжувалося виділенням великої кількості диму.

Введення в епоксіамінну композицію антипірену купрум(II) флуориду призводить до помітної зміни показників групи горючості, а саме до зменшення максимального приросту температури (рис. 1), втрати маси (рис. 3) та збільшення часу досягнення максимальної температури (рис. 2). Так, максимальний приріст температури в процесі горіння епоксіамінної композиції з вмістом купрум(II) флуориду 10 мас.ч. на 100 мас.ч. зв'язуючого ЕД/епа- $\text{CuF}_2(10)$ порівняно з немодифікованою композицією ЕД/епа зменшується на 63°C , втрата маси – на 12,4 %, а час досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння, навпаки, зростає на 92 с. За показниками групи горючості така композиція відноситься до горючих важкозаймистих матеріалів.

Внаслідок збільшення вмісту антипірену в епоксіамінних композиціях, а саме до 30 мас.ч. та

40 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру, спостерігається подальше зниження максимального приросту температури та стрімке стрибкоподібне зниження втрати маси до 21,9 % та 20,7 %. Поряд з цим відбувається зменшення часу досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння композицій. Враховуючи те, що втрата маси композицій ЕД/епа- $\text{CuF}_2(30)$ та ЕД/епа- $\text{CuF}_2(40)$ під час горіння менша за 60%, матеріали на основі таких композицій, згідно з ДСТУ 8829:2019, можна було б вважати важкогорючими. Але за значенням максимального приросту температури досліджувані зразки не відповідають вимогам, які висуваються до важкогорючих матеріалів. Тому матеріали на основі композицій ЕД/епа- $\text{CuF}_2(30)$ та ЕД/епа- $\text{CuF}_2(40)$ можна віднести до найближчої небезпечнішої за горючістю групи, а саме горючих матеріалів. За часом досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння, який не перевищує 240 с, композиції належать до матеріалів середньої займистості.

Висновки. Результати проведених досліджень свідчать про високу ефективність застосування нового реакційноздатного антипірену купрум(II) флуориду з метою зниження горючості епоксіамінних композицій. Це, насамперед, зумовлено утворенням міцних координаційних зв'язків між негорючою неорганічною сіллю та горючим органічним затвердником епоксидних смол. На руйнування цих зв'язків необхідно затратити додаткову енергію, що призводить до зниження інтенсивності виділення летких горючих продуктів розкладання.

Список літератури:

1. Kiliaris P., Papaspyrides C.D. Polymers on Fire. Polymer Green Flame Retardants. 2014. P. 1–43.
2. Kashiwagi T. Polymer combustion and flammability – Role of the condensed phase.

Symposium (International) on Combustion. 1994. Vol. 25 (1). P. 1423–1437.

3. Schartel B., Wilkie C.A., Camino G. Recommendations on the scientific approach to polymer flame retardancy: Part 2 – Concepts. Journal of Fire Sciences. 2016. Vol. 35 (1). P. 3–20.

4. Григоренко О.М. Підвищення ефективності протипожежного захисту деревини з використанням епоксидних композицій зі зниженим димоутворенням: монографія. Х.: НУЦЗУ, КП “Міська друкарня”, 2014. 96 с.

5. Manzi-Nshuti C., Wu Y., Nazarenko S. A Comparative Study of the Fire Retardant Effect of Several Metal-Based Compounds Added to an Epoxy-Amine Thermoset Resins. In Fire and Polymers VI: New Advances in Flame Retardant Chemistry and Science; Morgan A. et al.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, 2012. P. 83–96.

6. Liu L., Huang Y., Yang Y., Ma J., Yang J., Yin Q. Preparation of metal-phosphorus hybridized nanomaterials and the action of metal centers on the flame retardancy of epoxy resin. Journal of Applied Polymer Science. 2017. Vol. 134 (48). P. 45445.

7. Gao M., Sun Y.-J. Epoxy resins treated with metal-containing flame retardant. Advanced Materials Research. 2012. Vol. 466–467. P. 495–499.

8. Пархоменко В.-П.О., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М. Роль антипірена-затвердника у формуванні самозгасаючих епоксіамінних композицій. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2017. №1 (3). С. 84–89.

9. Пархоменко В.-П.О., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М. Визначення групи горючості епоксіамінних композицій, модифікованих солями купруму(II). Проблеми пожежної безпеки. 2017. Вип. 41. С. 124–128.

10. Кочубей В.В., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М., Чопик Н.В. Використання купруму(II) флуориду для підвищення термічної стабільності та стійкості до займання епоксиполімерів. Пожежна безпека. 2023. № 42. С. 50–55.

References:

1. Kiliaris, P. and Papaspyrides, C.D. (2014) Polymers on Fire. Polymer Green Flame Retardants. P. 1–43.

2. Kashiwagi, T. Polymer combustion and flammability – Role of the condensed phase. (1994) Symposium (International) on Combustion. Vol. 25 (1). P. 1423–1437.

3. Schartel, B., Wilkie, C.A. and Camino, G. (2016) Recommendations on the scientific approach to polymer flame retardancy: Part 2 – Concepts. Journal of Fire Sciences. Vol. 35 (1). P. 3–20.

4. Grigorenko, O.M. (2014) Improving the efficiency of fire protection of wood using epoxy compositions with reduced smoke formation: monograph. Kharkiv: NUCZU, KP “City Printing House”, 96 p.

5. Manzi-Nshuti, C., Wu, Y. and Nazarenko, S. (2012) A Comparative Study of the Fire Retardant Effect of Several Metal-Based Compounds Added to an Epoxy-Amine Thermoset Resins. In Fire and Polymers VI: New Advances in Flame Retardant Chemistry and Science; Morgan A. et al.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, P. 83–96.

6. Liu, L., Huang, Y., Yang, Y., Ma, J., Yang, J. and Yin, Q. (2017) Preparation of metal-phosphorus hybridized nanomaterials and the action of metal centers on the flame retardancy of epoxy resin. Journal of Applied Polymer Science. Vol. 134 (48). P. 45445.

7. Gao, M. and Sun, Y.-J. (2012) Epoxy resins treated with metal-containing flame retardant. Advanced Materials Research. Vol. 466–467. P. 495–499.

8. Parkhomenko, V.-P.O., Lavrenyuk, O.I. and Mykhalichko, B.M. (2017) The role of flame retardant-hardener in the formation of self-extinguishing epoxyamine compositions. Scientific bulletin: Civil protection and fire safety. №1 (3). P. 84–89.

9. Parkhomenko, V.-P.O., Lavrenyuk, O.I. and Mykhalichko, B.M. (2017) Determination of the combustibility group of epoxy-amine composites modified with copper(II) salts. Problems of fire safety. Issue. 41. P. 124–128.

10. Kochubey, V.V., Lavrenyuk, O.I., Mykhalichko, B.M. and Chopyk, N.V. (2023) Copper(II) fluoride using to increase the thermal stability and flame resistance of epoxy polymers. Fire Safety. № 42. P. 50–55.

© О. І. Лавренюк, Р. І. Гушак,
Б. М. Михалічко, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 23.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



О. В. Лазаренко, В.-П. О. Пархоменко, А. В. Беседа

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0500-0598> – О. В. Лазаренко

<https://orcid.org/0000-0001-7431-4801> – В.-П. О. Пархоменко

<https://orcid.org/0009-0004-6252-1431> – А. В. Беседа



pvpo2016@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАШТУВАННЯ ПАРКУВАЛЬНОГО МІСЦЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЮ ГОРІННЯ НА ЗАКРИТОМУ ПАРКІНГУ

Вступ. Електромобілі та інші види транспорту на електричному ході все сильніше та ґрунтовніше входять в життя людей. Одночасно з беззаперечними перевагами такого виду транспорту зростає прихована загроза та постають нові виклики перед суспільством. Сучасний практичний досвід та неодноразові наукові дослідження показують, що гасіння акумуляторної батареї електромобіля супроводжується значними складнощами та вимагає особливого тактичного підходу. Все частіше в великих містах задля зручності та забезпечення комфортного перебування облаштовують багаторівневі підземні та надземні паркінги, що своєю чергою створює нові виклики та потребує вносити зміни до чинних та розробляти нові нормативно-правові документи.

Мета та задачі дослідження. Метою цієї роботи є представлення концепції облаштування паркувального місця для електромобіля на багаторівневих надземних та підземних паркінгах. Відповідно до поставленої мети в роботі визначено такі задачі: проаналізувати сучасний досвід гасіння електромобілів та сучасні напрямки запобігання виникненню подібних пожеж, розробити та обґрунтувати концепцію паркувального місця для електромобіля.

Методи. Для досягнення поставлених задач дослідження в роботі проаналізовано закордонний досвід гасіння акумуляторних батарей електромобілів та нормативно-правових документів, які регламентують облаштування паркувальних місць. Використовуючи отримані дані було проведено розрахунок оптимальних параметрів паркувального місця для електромобіля та запропоновано систему дренажного пожежогасіння з відповідними характеристиками.

Результати. За результатами дослідження запропоновано концепцію облаштування паркувального місця для електромобіля з загальною площею 28 м² (з розрахунку 4×7 метри), одночасно з тим паркувальне місце облаштовується пологим з'їздом під кутом 100. В якості системи пожежогасіння акумуляторної батареї пропонується розмістити 28 зрошувачів (вмонтованих в підлогу) з загальною витратою води 217 л/хв. Додатково, для забезпечення остаточного охолодження акумуляторної батареї та запобігання розповсюдженню горіння пропонується облаштувати паркувальне місце спеціальними обмежувальними бортиками висотою 250 мм задля створення умов наповнення всього об'єму паркувального місця водою у разі спрацювання стаціонарної системи пожежогасіння або подачі води оперативно-рятувальними підрозділами.

Висновки. Запропонована концепція та визначені геометричні параметри паркувального місця для електромобіля дозволяють сформувати та надалі реалізувати принципово нові підходи до облаштування та формування концепції безпеки закритих паркінгів. Подальші дослідження повинні бути зосереджені на проектуванні та створенні відповідного експериментального стенду з можливостями дослідження запропонованих значень та визначення доцільності запропонованого методу. Експериментальні дослідження перш за все повинні обґрунтувати оптимальну висоту обмежувального бортика паркувального місця та ефективність використання відповідної кількості зрошувачів для охолодження акумуляторної батареї електромобіля.

Ключові слова: електромобіль, паркінг, паркувальне місце, горіння електромобіля.

О. В. Лазаренко, В.-П. О. Пархоменко, А. В. Беседа

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

JUSTIFICATION OF ELECTRIC CAR PARKING SPACE PARAMETERS FOR PREVENTING THE SPREAD OF COMBUSTION IN A CLOSED PARKING LOT

Introduction. Electric cars and other types of electric vehicles are increasingly and thoroughly entering people's lives. Simultaneously with the indisputable advantages of this type of transport, a hidden threat is growing and new challenges are

emerging for society. Modern practical experience and repeated scientific studies show that extinguishing the battery of an electric car is accompanied by significant difficulties and requires a special tactical approach. Increasingly, multi-level underground and above-ground parking lots are being built in large cities for the sake of convenience and ensuring a comfortable stay, which in turn creates new challenges and requires changes to the existing ones and the development of new regulatory and legal documents.

The purpose and objectives of the study. This work aims to present the concept of arranging a parking place for an electric car in multi-level above-ground and underground parking lots. By the set goal, the following tasks are defined in the work: to analyse the modern experience of extinguishing electric cars and current directions for preventing the occurrence of such fires, and to develop and substantiate the concept of a parking place for an electric vehicle.

Methods. To achieve the objectives of the research, the work carried out a theoretical analysis of the existing foreign experience in extinguishing the batteries of electric vehicles and regulatory documents that regulate the arrangement of parking spaces. Using the obtained data, the optimal parameters of the parking space for an electric car were calculated and a drencher fire extinguishing system with appropriate characteristics was proposed.

Results. According to the results of the research, the concept of arranging a parking place for an electric car with a total area of 28 m² (based on 4×7 meters) is proposed, at the same time, the parking place is equipped with a gentle slope at an angle of 100. As a battery fire extinguishing system, it is proposed to place 28 sprinklers (mounted to the floor) with a total water consumption of 217 l/min. Additionally, to ensure the final cooling of the battery and prevent the spread of fire, it is proposed to equip the parking lot with special limiting sides 250 mm high. It will create conditions for filling the entire volume of the parking lot with water when the stationary fire extinguishing system is activated or operational rescue units supply water.

Conclusions. The proposed concept and defined geometric parameters of the parking place for an electric car allow to form and subsequently implementation of fundamentally new approaches to the arrangement and formation of the concept of security of closed parking lots. Further research should be focused on the design and creation of a suitable experimental bench with the possibility of investigating the proposed values and determining the feasibility of the proposed method. Firstly, experimental studies should justify the optimal height of the curb of the parking space and the effectiveness of using the appropriate number of sprinklers for cooling the battery of the electric vehicle.

Keywords: electric car, parking, parking place, electric car burning.

Вступ. Кожного року електромобілі все глибше та ґрунтовніше входять в життя людей. Все частіше вулицями вітчизняних та закордонних міст можна побачити транспортні засоби на електричному ході, зокрема електромобілі, які ззовні нічим не відрізняються від звичних нам автомобілів на двигунах внутрішнього згорання і лише окремі позначення на кузові електромобіля «говорять» нам про те, що цей транспортний засіб працює виключно на електродвигуні та акумуляторній батареї.

На жаль, досвід сьогодення показує, що електромобілі не є цілком безпечним видом транспорту, а основною їхньою особливістю є те, що вони можуть самовільно займатися та горіти впродовж тривалого часу. Лімітовані статистичні дані засвідчують [1, 2], що станом на кінець літа 2023 року сталося близько 488 загорань електромобілів. При цьому, варто зазначити, що 95% всіх загорань супроводжувалося інтенсивним факельним горінням акумуляторної літій-іонної батареї. Додатково, не менш важливим фактором є те, що 56 % зареєстрованих загорань трапилося під час того як авто було припарковано на паркінгу і відповідно 25% випадків паркінг був закритого типу (гаражі, багаторівневі паркінги).

Попередній практичний досвід та різноманітні наукові дослідження показують, що гасіння електромобіля потребує залучення значних матеріальних ресурсів та часових показників [3, 4]. Саме тому, сьогодні провідні науково-дослідні установи у сфері забезпечення пожежної безпеки

здійснюють дослідження та розробляють інструкції та технічні засоби які б допомогли суспільству більш якісно та швидко здійснювати якісне та безпечне гасіння електромобілів.

Постановка проблеми. Виходячи зі статистичних даних та цілком логічних потреб, питання облаштування безпечного місця перебування електроавтомобіля є актуальною практичною та науковою задачею сьогодні. На жаль, беручи до уваги небезпеку горіння електромобіля та відсутність відповідних систем безпеки, сьогодні в деяких країнах Європейського Союзу існує заборона на паркування таких автомобілів. Все більше країн здійснюють розробку нормативно-правових документів, які б регламентували та обумовлювали певні конструктивні особливості підземних та надземних багаторівневих паркінгів [5] для різних видів автомобілів на альтернативних джерелах енергії, зокрема для електромобілів. Так в Україні вже прийнято Державний стандарт України [6] який регламентує протипожежний захист систем зарядки електромобілів та одночасно з тим регламентує певні конструктивні особливості паркувального місця на паркінгах. Розробка та введення в дію подібного стандарту є важливим, однак лише першим кроком в реалізації концепції безпечного облаштування паркінгів для електромобілів.

Одним з важливих елементів забезпечення пожежної безпеки будь-якої будівлі є її облаштування стаціонарними конструктивними елементами запобігання поширенню пожежі

(протипожежні перешкоди, стіни), первинними засобами виявлення (пожежна сигналізація) та гасіння (системи автоматичного гасіння). Так в роботі [7] досить вдало показано зону можливої небезпеки під час горіння окремого електромобіля на закритій автостоянці. Наведений розрахунок показує, що в разі пожежі електромобіля розповсюдження горіння по всій площі автостоянки можлива в лічені хвилини за умови відсутності спеціальних засобів запобігання та обмеження розповсюдження пожежі.

Саме тому метою цієї роботи є представлення концепції облаштування паркувального місця електромобіля на багаторівневих та підземних паркінгах.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- проаналізувати сучасний досвід гасіння електромобілів та сучасні напрямки запобігання виникненню подібних пожеж;

- розробити та обґрунтувати концепцію паркувального місця для електромобіля.

Виклад основного матеріалу. Провідні виробники електромобілів в останні роки все більше та частіше притримуються однакових підходів щодо розміщення основних вузлів електромобіля. Так, зокрема, акумуляторну літій-іонну батарею фактично в 98% відсотків випадків розміщують у днищі автомобіля (рис.1), переважно в центральній або задній його частині [8], залежно від розмірів та габаритів автомобіля.



Рисунок 1 – Приклади розміщення акумуляторної літій-іонної батареї в електромобілях провідних виробників світу: а) – Ніссан; б) – Фольцваген; в) – БМВ; г) – Тесла

Як видно з рис.1. місце розміщення акумуляторної батареї практично не відрізняється в жодних з марок електромобілів, відмінності лише становлять тип літій-іонного акумулятора (циліндричний, призматичний, пакетний) та сама конфігурація батареї, що в загальному не впливає на процес її горіння.

Закордонний досвід та статистика пожеж [9, 10] свідчить про те, що у разі займання акумуляторної батареї необхідно здійснювати безпосередньо її охолодження водними струменями протягом певного проміжку часу (не менше 30 хвилин). Однак, навіть після довготривалого охолодження існують випадки повторного займання акумуляторної літій-іонної батареї під час транспортування такого електромобіля на евакуаторі або його стоянки на майданчику. Тому в низці держав дотримуються про необхідність обов'язкового занурення автомобіля у воду або його тримання у

спеціальному контейнері з можливістю постійного охолодження водою [3]. Хоча, варто зазначити, що останнім часом в ЄС переконуються в тому, що через необхідність залучення значної кількості сил і засобів для гасіння одного електромобіля в деяких випадках варто притримуватися тактики його самовигорання, якщо це не призводить чи не призведе надалі до погіршення загальної ситуації. Але зазначена тактика гасіння абсолютно не прийнятна у випадку загорання електромобіля на закритих багаторівневих паркінгах.

Таким чином вже сьогодні існують концепти та лунають різноманітні пропозиції щодо облаштування паркувальних місць на паркінгах для електроавтомобілів під певним ухилом. Облаштування такого ухилу дасть змогу у разі подачі води на гасіння здійснити її накопичення та створить передумови для постійного охолодження акумуляторної батареї.

Враховуючи запропоновану концепцію паркувального місця для електромобіля надалі планується надати більш детальну характеристику, геометричні параметри та інженерну деталізацію паркувального місця, що сприятиме швидкому гасінню самого електромобіля в разі його загорання та обмеженню розповсюдження полум'я по всій площі паркінгу.

Відповідно до [11], нормативна площа на одне паркувальне місце становить 13,75 (2,5×5,5) м² або 19,25 (3,5×5,5) м² залежно від певних умов. Однак, враховуючи необхідність улаштування ухилу на паркувальному місці та створення умов для наповнення його водою до певного рівня, пропонується збільшити загальну площу паркувального місця для електромобіля до 28 м² з розрахунку 4×7. Також, розміри запропонованого паркувального місця, взято із

розрахунку габаритних характеристик одного із найпоширеніших та найдовших у своєму класі електромобілів сьогодення – Tesla model S [13]. Додатково, паркувальне місце облаштовується пологим з'їздом під кутом 100. Запровадження відповідних параметрів надасть можливість комфортного заїзду електромобіля на паркувальне місце та зручної висадки та посадки пасажирів і водія. Висоту обмежувальних бортиків пропонується запроєктувати не менше ніж 0,25 м, що забезпечить мінімальну необхідну висоту рівня води та перекриє максимальну висоту дорожнього просвіту (кліренсу) будь-якого сучасного пасажирського електромобіля на сьогодні. Детальна схема запропонованої концепції паркувального місця електромобіля зображена на рис 2.



Рисунок 2 – Загальна схема облаштування паркувального місця для електромобіля на закритому паркінгу

Заповнення паркувального місця електромобіля вище рівня розміщення акумуляторної батареї унеможливить її подальше горіння та забезпечить рівномірне її охолодження.

Враховуючи, що основний осередок займання у разі горіння електромобіля розміщений у нижній частині його кузова, цілком логічно припустити, що традиційні установки пожежогасіння в такому випадку будуть неефективними. Це також підтверджується

практичним досвідом гасіння подібних загорань. Отже для забезпечення ефективного гасіння, охолодження акумуляторної батареї та відповідно наповнення паркувального місця водою пропонується розмістити дренчерну установку пожежогасіння безпосередньо по всій площі паркувального місця під автомобілем.

Для прикладу пропонується використати дренчерні насадки [12] такої конфігурації з відповідними характеристиками (табл.1).

Таблиця 1
Основні характеристики насадки-розпилювача для охолодження та гасіння акумуляторної батареї електромобіля

					
Максимальний кут розпилення	Мінімальний кут розпилення	Максимальна площа розсіювання (мм)	Мінімальна площа розсіювання (мм)	Продуктивність, л/хв	Максимальний тиск на насадку
1150	400	1750	400	6	2

* - всі показники зазначені при тиску 0,3 МПа

Порядок приведення в дію дренчерної установки пожежогасіння може бути як автоматичному, так і в ручному режимі. Інженерне виконання подібної насадки зі зносостійких матеріалів дасть змогу забезпечити її надійне та стає функціонування за необхідних умов.

Взявши до уваги габаритні розміри електромобіля та паркувального місця пропонуємо здійснити монтаж насадок-розпилювачів у кількості 28 штук (4×7). Даний розрахунок взятий відповідно до розмірів Tesla model S [13], (4976×1963×1435 мм) і відповідно розрахунок запропонованої кількості насадок-розпилювачів для дренчерної установки має вигляд $(4,976 \times 1,963)/0,4 = 25$ шт. Враховуючи різноманіття та тенденції автомобілебудування пропонується збільшити цю кількість до 28 штук.



Рисунок 3 – Принципова схема розміщення дренчерної установки пожежогасіння на паркувальному місці електромобіля

Отримане значення витрати забезпечить заповнення необхідного об'єму води на паркувальному місці впродовж 41 хв. Такий тривалий час заповнення може вплинути на розповсюдження пожежі, тому пропонується у відповідності до тактико-технічних характеристик збільшити тиск на насадці до 0,5 МПа, що збільшить загальну витрату на насадку до 7,75 л/хв. Відповідно загальна витрата всіх насадок становитиме 217 л/хв, а загальний час заповнення водою паркувального місця (загальним об'ємом 6940 літрів) становитиме 32 хв.

Висновок. Представлена концепція та визначені геометричні параметри паркувального місця для електромобіля дасть змогу сформулювати та надалі реалізувати принципово нові підходи до облаштування та формування концепції безпеки закритих паркінгів. Одночасно з цим це створює передумови для подальшого внесення змін до чинних та створення нових нормативних документів.

Цілком очевидним є той факт, що запропонована концепція потребує перш за все подальшого вдосконалення та перевірки в умовах повномасштабних експериментальних досліджень з подальшим коригуванням та уточненням

Запропоноване розміщення насадок-розпилювачів зображено на рис. 3. Це дасть можливість повноцінно перекрити всю площу днища електромобіля для гарантованого охолодження батареї та заповнення об'єму водою паркувального місця, що забезпечить ефективне гасіння літій-іонної батареї такого транспортного засобу. Запропоноване розміщення дренчерної установки пожежогасіння буде ефективним завдяки тому, що, відстань від насадки-розпилювача до днища електромобіля буде незначною та вогнегасні засоби будуть подаватись під тиском, сила тяжіння не буде значною мірою впливати на дальність подачі вогнегасних засобів. Їх витрата, при запропонованому розміщенні дренчерів буде становити 2,8 л/с (168 л/хв).

запропонованих параметрів та величин. Саме тому, подальші дослідження повинні бути зосереджені на проектуванні та створенні відповідного експериментального стенду з можливостями дослідження запропонованих значень та визначення доцільності запропонованого методу. Експериментальні дослідження перш за все повинні обґрунтувати оптимальну висоту обмежувального бортика паркувального місця та ефективність використання відповідної кількості зрошувачів для охолодження акумуляторної батареї електромобіля.

Список літератури:

1. Гаврилюк А., Васильєва О. (2023). Аналіз стану протипожежного захисту електромобілів. Пожежна безпека, 42, 32-42.
2. Статистичні дані виникнення пожеж електромобілів. Режим доступу: <https://cutt.ly/YwU1C8r0>
3. Пархоменко В.-П., Лазаренко О., Сукач Р. (2023). Аналіз обладнання для гасіння електромобілів та розробка рекомендацій з їх гасіння. Пожежна безпека, 42, 74-84.
4. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Режим доступу:

www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf.

5. Interim guidance to support parking and/or charging of electric vehicles and the installation of electric vehicle chargepoints in covered car parks (2023). Режим доступу: <https://cutt.ly/ZwU1oqMy>

6. ДСТУ 9222:2023 Пожежна безпека. Протипожежний захист систем зарядки електромобілів. Основні положення.

7. Gavryliuk, A., Yakovchuk, R., Chalyy, D., Lemishko, M., & Tur, N. (2023). Determination of fire protection distances during a tesla model s fire in a closed parking lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (122), 39-46. doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277999

8. Shashank Arora, Weixiang Shen, Ajay Kapoor (2016). Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 60, 1319-1331 doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

9. Elena Funk, Konrad Wilkens Flecknoe-Brown (2023). Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure. *Fire Safety Journal*, Volume 14, 103920. doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

10. Magnus Arvidson, Orjan Westlund (2023). Water Spray Fire Suppression Tests Comparing Gasoline-Fuelled and Battery Electric Vehicles. *Fire Technology*, Issue 5, 24 p. doi.org/10.1007/s10694-023-01473-w

11. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів.

12. Каталог зрошувачів для дренчерних систем охолодження та пожежогасіння. Режим доступу: www.ikeuchi.eu/wp-content/uploads/2018/11/Hydraulic-Nozzles-Catalog-EN-IKEUCHI.pdf

13. Tesla Model S. Матеріали з Вікіпедії [електронний ресурс]: <https://cutt.ly/UwU1XkIK>

References:

1. Gavryliuk A., Vasylieva O. (2023). Analysis of the state of fire protection of electric vehicles. *Fire safety*, 42, 32-42.

DOI: doi.org/10.32447/20786662.42.2023.04

2. Statistical data on the occurrence of electric vehicle fires. Access mode: <https://cutt.ly/YwU1C8r0>

3. Parkhomenko V.-P., Lazarenko O., Sukach R.

(2023). Analysis of equipment for extinguishing electric vehicles and development of recommendations for extinguishing them. *Fire safety*, 42, 74-84.

DOI: doi.org/10.32447/20786662.42.2023.09

4. Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles (2020). Safety Report. Access mode: nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf.

5. Interim guidance to support parking and/or charging of electric vehicles and the installation of electric vehicle charge points in covered car parks (2023). Access mode: <https://cutt.ly/ZwU1oqMy>

6. DSTU 9222:2023 Fire safety. Fire protection of electric vehicle charging systems. Substantive provisions.

7. Gavryliuk, A., Yakovchuk, R., Chalyy, D., Lemishko, M., & Tur, N. (2023). Determination of fire protection distances during a tesla model S fire in a closed parking lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (122), 39-46. doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277999

8. Shashank Arora, Weixiang Shen, Ajay Kapoor (2016). Review of mechanical design and strategic placement technique of a robust battery pack for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 60, pp. 1319-1331

DOI:doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

9. Elena Funk, Konrad Wilkens Flecknoe-Brown (2023). Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure. *Fire Safety Journal*, Volume 14, 103920.

DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103920

10. Magnus Arvidson, Orjan Westlund (2023) Water Spray Fire Suppression Tests Comparing Gasoline-Fuelled and Battery Electric Vehicles. *Fire Technology*, Issue 5, 24 p.

doi.org/10.1007/s10694-023-01473-w

11. DBN V.2.3-15:2007 Transport facilities. Parking lots and garages for cars.

12. Catalog of sprinklers for drencher cooling and fire extinguishing systems. Access mode: www.ikeuchi.eu/wp-content/uploads/2018/11/Hydraulic-Nozzles-Catalog-EN-IKEUCHI.pdf

13. Tesla Model S. Materials from Wikipedia [electronic resource]:<https://cutt.ly/UwU1XkIK> .

© О.В. Лазаренко, В-П. О. Пархоменко, А. В. Беседа, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 15.09.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



В. І. Луц, Ю. І. Панчишин

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5931-3181> – В. І. Луц

<https://orcid.org/0000-0001-8056-2326> – Ю. І. Панчишин



y.panchyshyn@ldubgd.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ГАЗОДИМОЗАХИСНИКА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗМАГАННЯ НА КРАЩУ ЛАНКУ ГАЗОДИМОЗАХИСНОЇ СЛУЖБИ

Вступ. Під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (далі – НС) пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України використовують апарати на стисненому повітрі (далі – АСП) утворюючи ланки газодимозахисної служби (далі – ГДЗС) для роботи в непридатному для дихання середовищі (далі – НДС) на місці виклику. Оскільки, при горінні різних матеріалів та рідин виділяються токсичні продукти горіння які здатні завдати шкоди здоров'ю та життю людини та навіть призвести до летальних випадків.

Відповідно, для виконання завдань за призначенням особовий склад ГДЗС повинен бути у постійній фізичній та психологічній готовності. Це досягається під час практичних занять, роботою на пожежах та НС, під час яких організм газодимозахисника піддається значним фізичним навантаженням та психологічному стресу.

Постановка проблеми. Підготовка газодимозахисників ДСНС України є одним з ключових завдань пожежно-рятувальної служби, оскільки це запорука успішного виконання оперативних завдань за призначенням в умовах НДС. Тренування газодимозахисників відбувається в різних умовах, а саме: на свіжому повітрі – 1 раз на місяць; в теплодимокамері (далі – ТДК) – 1 раз на квартал. Щорічно в кожному гарнізоні та навчальних закладах ДСНС України проводяться змагання «На кращу ланку газодимозахисної служби» (далі – змагання), під час яких газодимозахисники показують своє вміння, майстерність і навички, а також фізичну та психологічну готовність до виконання завдань за призначенням.

Під час проведення змагання у гарнізонах та навчальних закладах ДСНС України використовується різний навчально-методичний підхід і відповідно на газодимозахисника діють різні ступені навантаження.

Мета. Здійснення аналізу роботи газодимозахисників ДСНС України під час виконання завдань за призначенням та розроблення методичних рекомендацій для проведення змагання «На кращу ланку ГДЗС».

Основні результати та методи досліджень. Здійснено аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України, розроблено методичні рекомендації для проведення змагання «На кращу ланку ГДЗС». Під час досліджень було досягнуто таких результатів, а саме:

- проаналізовано роботу ланок ГДЗС підрозділів ДСНС України під час виконання завдань за призначенням та здійснено розрахунки часу виконання оперативних завдань;
- досліджено, відношення часу, витрати повітря від ступеня навантаження газодимозахисника під час виконання вправ;
- обґрунтовано необхідні вправи для проведення змагання;
- розроблено методичні рекомендації, які б регламентували порядок проведення змагання.

Висновок. Отже, провівши аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України та проаналізувавши роботу ланок ГДЗС пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України, здійснивши розрахунок часу оперативних завдань визначено, що він становить в середньому 25 хвилин. На основі проведених розрахунків залежності витрати повітря від ступеня навантаження на газодимозахисника під час виконання вправ було отримано, що за 1 хвилину газодимозахисник витрачає 61-62 л/хв повітря, що відповідає важкому ступеню навантаження. Обґрунтовано необхідні вправи, які відповідають ступеням навантаження до роботи ланки ГДЗС під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків НС. Розроблено методичні рекомендації, які регламентують порядок проведення змагання «На кращу ланку ГДЗС». Враховуючи вище вказане, можна вважати, що застосування запропонованих рекомендацій проведення змагання дасть змогу якісно покращити практичну підготовку газодимозахисника під час виконання завдань за призначенням.

Ключові слова: газодимозахисник, апарат на стисненому повітрі, вправи, завдання, змагання.

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

Introduction. When extinguishing fires and liquidating the consequences of emergencies (hereinafter referred to as emergencies), the fire and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine use self-contained breath apparatus (SCBA), forming the SCBA units of firefighters (SCBA units) to work in an unsuitable breathing environment for (UBE) at the place of event. Since, during the burning of various materials and liquids, toxic combustion products are released that can harm human health and life, as well as even lead to fatalities.

Accordingly, to perform the assigned tasks, the personnel of the State Emergency Service of Ukraine (SES) must be in constant physical and psychological readiness. This is achieved during practical classes and works on fire extinguishing and emergencies, during which firefighters are exposed to significant physical stress and psychological stress.

Formulation of the problem. The training of SCBA units of the SES is one of the key tasks of the fire and rescue service, as it is the key to the successful performance of operational tasks as assigned in the conditions of UBE. The training of SCBA units takes place in different conditions, namely: in the fresh air - once a month; and in the thermal smoke chamber - 1 time per quarter. Every year in each department and educational institution of the SES, the competition "For the best SCBA units» is held. During this, the firefighters show their ability, mastery and skills, as well as physical and psychological readiness to perform assigned tasks.

During the competition in the departments and educational institutions of the SES, a different educational and methodological approach is used and, accordingly, different degrees of load are applied to the firefighters.

Purpose. Analysis of the work of SCBA units of the SES during the performance of assigned tasks and the development of methodological recommendations for the "To the best SCBA units of the SES" competition.

Results. An analysis of the training of SCBA units of the SES was carried out; methodical recommendations were developed for holding the competition "On the best SCBA units of the SES". During the research, the following results were achieved, namely:

- the work of the SCBA units of the SES was analysed in the performance of assigned tasks and calculations of the time of execution of operational tasks were carried out;
- a study was carried out regarding time, and airflow to the dependence of the degree of load of the SCBA units during the exercise;
- justified necessary exercises for holding the competition;
- methodical recommendations were developed, which would regulate the procedure for conducting the competition.

Conclusion. So, after analysing the training of SCBA units of the SES and analysing their work, calculating the time of operational tasks, which is an average of 25 minutes. Based on the calculations regarding time and air consumption depending on the degree of load on the smoke detector during exercises, it was found that in 1 minute the firefighter in SCBA consumes 61-62 l/min of air, which corresponds to a heavy load. Reasonably necessary exercises that correspond to the degree of load to the work of the SCBA units during fire extinguishing and liquidation of the consequences of emergencies. Methodological recommendations have been developed that regulate the procedure for holding the competition "For the best SCBA units of the SES".

Taking into account the above, it can be assumed that applying the proposed recommendations and holding the competition will make it possible to qualitatively improve the practical training of SCBA units during the performance of assigned tasks.

Keywords: firefighters, self-contained breath apparatus, exercises, tasks, competitions.

Вступ. Гасіння пожеж та ліквідацію надзвичайних ситуацій (далі – НС) сьогодні важко уявити без використання ланок газодимозахисної служби (далі – ГДЗС) оскільки в процесі еволюції людство винайшло багато різних матеріалів, що використовуються в побуті та на виробництві, при горінні яких виділяються токсичні продукти горіння, які здатні отруїти організм людини – майже миттєво. Тому, пожежні-рятувальники повинні працювати в апаратах на стисненому повітрі (далі – АСП), щоб уникнути шкоди своєму здоров'ю та життю.

Для виконання завдань за призначенням, особовий склад ГДЗС повинен бути у постійній фізичній та психологічній готовності. Це досягається тренуваннями та практичною

роботою на пожежах та НС, під час яких організм газодимозахисника піддається значним фізичним навантаженням та психологічному стресу. Для того, щоб психічна та фізична системи організму працювали у звичній для них роботі, газодимозахисники, включені у АСП, проходять тренування: на свіжому повітрі – 1 раз на місяць; у теплотинокамері (далі ТДК) – 1 раз на квартал, а також щорічно в кожному гарнізоні та навчальних закладах ДСНС України проводяться змагання «На кращу ланку газодимозахисної служби» [1].

Постановка проблеми. Підготовка газодимозахисників ДСНС України є одним з ключових завдань пожежно-рятувальної служби, оскільки це запорука успішного виконання оперативних завдань за призначенням в умовах

непридатного для дихання середовища (далі – НДС). Тренування газодимозахисників відбувається в різних умовах, а саме: на свіжому повітрі, в теплокамері, в димокамері, а результатом наполегливої праці є належний професійний рівень під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків НС.

З метою вдосконалення підготовки газодимозахисників щорічно в гарнізонах оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України проводяться змагання «На кращу ланку ГДЗС» (далі – змагання). Під час яких газодимозахисники показують своє вміння, майстерність і навички, а також фізичну та психологічну готовність до виконання завдань за призначенням. Під час змагання виконується комплекс різноманітних вправ, які відповідають роботі ланки ГДЗС на пожежі та НС.

Проведений аналіз підготовки газодимозахисників у гарнізонах ДСНС України показує різний навчально-методичний підхід, до Положень та інших керівних документів проведення змагання [1, 2].

Метою роботи, є аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України та розроблення методичних рекомендацій для проведення змагання.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

1) проаналізувати роботу ланок ГДЗС підрозділів ДСНС України під час виконання завдань за призначенням та здійснити розрахунки часу виконання оперативних завдань;

2) провести дослідження щодо залежності часу, витрати повітря від ступеня навантаження газодимозахисника під час виконання вправ;

3) обґрунтувати необхідні вправи для проведення змагання;

4) розробити методичні рекомендації, які б регламентували порядок проведення змагання.

Об'єкт досліджень – підготовка та тренування газодимозахисників ДСНС України.

Предмет досліджень – чинники, які впливають на ефективність підготовки та тренувань газодимозахисників.

Виклад основного матеріалу. Підготовка газодимозахисників є основою якісної роботи оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України під час виконання оперативних завдань та завжди має бути на високому рівні. Для того, щоб підготувати пожежного-рятувальника до роботи на пожежах та НС в умовах НДС необхідно навчити його виконувати вправи в АСП на свіжому повітрі, теплокамері та димокамері. Методика та аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України та шляхи підвищення її ефективності детально висвітлені в попередній роботі [2], але методика проведення змагання станом на сьогодні залишається не вивченою, тобто кожен гарнізон і навчальні заклади ДСНС України проводять змагання на свій розсуд та за своєю методикою. Схема періодичності практичної підготовки газодимозахисника, показана на рис.1.

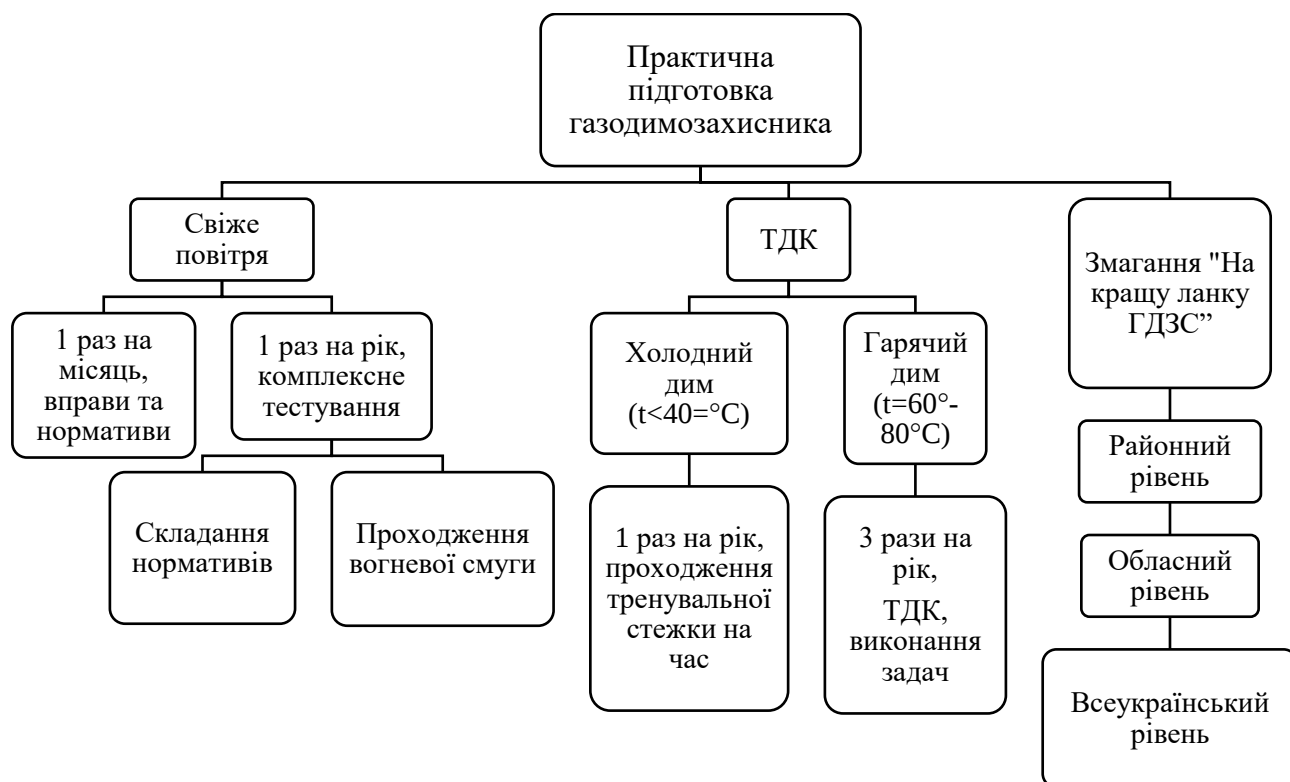


Рисунок 1 – Практична підготовка газодимозахисника

Згідно з даними діяльності пожежно-рятувальних підрозділів в 2022 році (далі – огляду діяльності), протягом року пожежно-рятувальними підрозділами та аварійно-рятувальними формуваннями центрального підпорядкування

ДСНС було здійснено виїзди на пожежі, надзвичайні ситуації, аварії, катастрофи, стихійні лиха, з яких на кожній п'ятій події було утворено ланку ГДЗС для успішної ліквідації пожежі або НС. Статистичні дані наведені в таблиці 1 [3].

Таблиця 1

Огляд діяльності пожежно-рятувальних підрозділів в 2022 році

Ліквідовано пожеж, НС ланками ГДЗС (кількість)	Загальний час роботи в ЗІЗОД (хвилини)	Середній час роботи в ЗІЗОД (хвилини)	Кількість ланок ГДЗС, щозалучалися до гасіння пожеж					
			одна ланка	час роботи в ЗІЗОД, хвилин	середній час роботи в ЗІЗОД, хвилини	дві та більше ланок	час роботи в ЗІЗОД, хвилини	середній час роботи в ЗІЗОД, хвилини
9775	243423	25	8 595	178 888	21	1 180	64 535	55

Відповідно, до вище наведеної статистики, кількість пожеж та НС в переважній більшості ліквідовано за участю однієї ланки ГДЗС, а середній час її роботи становить 25 хвилин.

Згідно з Настановою ГДЗС та попередньою роботою, тренування газодимозахисників повинні відбуватись в умовах максимально

наближених до пожежі та НС із відповідним фізичним та психологічним навантаженням. На сьогодні приблизно 50% робіт виконуються газодимозахисниками під час пожежі середнього ступеня важкості, 38% робіт становить важка робота та 10% дуже важка робота як показано на рис. 2 [2].

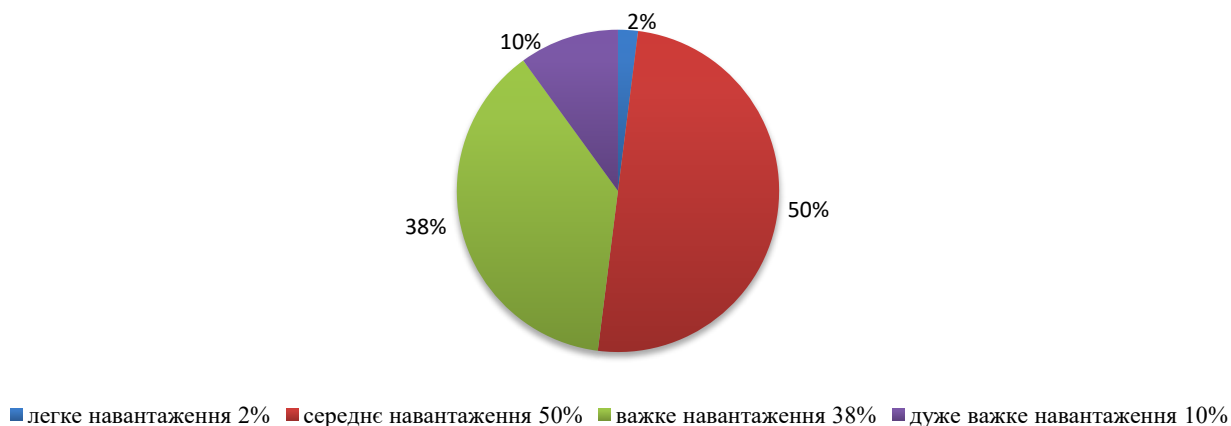


Рисунок 2 – Діаграма навантаження на газодимозахисника під час роботи на пожежі

В 2022 році в пожежно-рятувальних підрозділах та формуваннях ДСНС України чисельність газодимозахисників становить 21318 осіб. В основному в оперативному розрахунку знаходяться АСП провідних світових виробників, а саме: Drager, MSA Safety, Propak, Постауер, що становить 11514 шт. або 99% від загальної кількості АСП [3]. Відповідно, якщо розглядати ступені навантаження на газодимозахисника із витратою повітря в АСП та частотою серцевих скорочень (далі ЧСС), ми отримаємо таку залежність (табл.2) [2].

Таблиця 2

Залежність легеневої вентиляції та ЧСС від ступеня важкості роботи

Ступені важкості	Легенева вентиляція, л/хв	ЧСС, уд./хв
Легкий	15-20	85-100
Середній	30-40	101-125
Важкий	55-60	126-150
Дуже важкий	75-80	151-170

З технічних характеристик АСП закордонних виробників, які експлуатуються в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України, бачимо, що продуктивність легеневих автоматів цих апаратів приймається на рівні 40 л/хв і це обумовлено їхніми дослідженнями та стандартизовано [4]. Відповідно, легеневу вентиляцію при легкому, середньому, важкому та дуже важкому ступенях навантаження будемо приймати 20, 40, 60 та 80 л/хв. На основі вище наведених даних технічних характеристик АСП можна зробити розрахунки часу роботи при виконанні вправ одним газодимозахисником та ланкою ГДЗС з різними ступенями навантаження за формулою 1 з визначення середнього часу роботи в задимленому середовищі ланкою ГДЗС та формулою 2 з визначення середнього значення загального часу захисної дії АСП [1,5].

$$\tau_{\text{роб.}} = \frac{P_{\text{роб.}} - P_{\text{рез.}}}{7} \quad (1)$$

де: $\tau_{(\text{роб.})}$ – середнє значення часу роботи ланки в задимленому середовищі, хв;
 $P_{\text{роб.}}$ – робочий тиск, атм.;
 $P_{(\text{рез.})}$ – тиск резерву, атм.;
 7 – усереднене значення витрати повітря газодимозахисником при роботі в апараті за одну хвилину (бар/хв).

$$\tau_{\text{роб.}} = \frac{P_{\text{поч.}}}{7} \quad (2)$$

де: $\tau_{(\text{роб.})}$ – середнє значення загального часу захисної дії апарата, хв;
 $P_{(\text{поч.})}$ – початковий тиск в балоні апарата газодимозахисника, атм.;
 7 – усереднене значення витрати повітря газодимозахисником при роботі в апараті за одну хвилину (бар/хв).

Для прикладу, якщо взяти АСП типу Drager з об'ємом повітря в балоні 6 л та максимальним тиском наповнення 300 атм. можна зробити такі розрахунки, а саме:

$$\tau_{\text{роб.}} = \frac{350-50}{7} = 35 \text{ хв} \quad \text{– середнє значення часу роботи ланки ГДЗС в НДС}$$

$$\tau_{\text{зах.дїї}} = \frac{300}{7} = 42 \text{ хв} \quad \text{– середнє значення часу роботи ланки ГДЗС в НДС}$$

Якщо врахувати навантаження, яке діє на газодимозахисників під час роботи на пожежі та залежність легеневої вентиляції від ступеня важкості роботи, то отримаємо зовсім інше значення часу захисної дії АСП та роботи в ньому.

Відповідно, для визначення запасу повітря в АСП використовується закон Бойля-Маріотта, за формулою 3 визначаємо час роботи в АСП при різних ступенях навантаження [6].

$$V_{\text{пов.}} \cdot P_{\text{атм.}} = N_{\text{б.}} \cdot V_{\text{б.}} \cdot P_{\text{поч.}} \quad (3)$$

де: $P_{\text{атм.}}$ – атмосферний тиск;
 $P_{\text{поч.}}$ – мінімальний тиск повітря в балоні (балонах)

апарата одного з газодимозахисників ланки ГДЗС при включенні;

$N_{\text{б.}}$ – кількість балонів;

$V_{\text{б.}}$ – місткість балона (балонів) з повітрям (л).

Тоді,

$$V_{\text{пов.}} = \frac{N_{\text{б.}} \cdot V_{\text{б.}} \cdot P_{\text{поч.}}}{P_{\text{атм.}}} \quad (4)$$

З урахуванням формули (4) отримуємо:

$$\tau_{\text{роб.}} = \frac{N_{\text{б.}} \cdot V_{\text{б.}} \cdot P_{\text{поч.}}}{Q_{\text{л.в.}} \cdot P_{\text{атм.}}} \quad (5)$$

де: $V_{\text{б.}}$ – об'єм повітря в балоні захисного дихального апарата (л);

$P_{\text{поч.}}$ – початковий тиск в балоні апарата газодимозахисника, атм.;

$Q_{\text{л.в.}}$ – витрата повітря (легенева вентиляція) (л/хв);

$N_{\text{б.}}$ – кількість балонів;

$P_{\text{атм.}}$ – атмосферний тиск.

Отже, на основі формули 5 необхідно розрахувати час захисної дії АСП при різних ступенях навантаження та залежності легеневої вентиляції, а саме:

– $\tau_{\text{роб.}} = 6 * 300 / 40 = 45$ хв – час роботи в АСП при середньому ступені навантаження;

– $\tau_{\text{роб.}} = 6 * 300 / 60 = 30$ хв – час роботи в АСП при важкому ступені навантаження;

– $\tau_{\text{роб.}} = 6 * 300 / 80 = 22$ хв – час роботи в АСП при дуже важкому ступені навантаження.

Отже, на основі проведених розрахунків бачимо, що чим вищий ступінь навантаження, тим менший час роботи в АСП. Але слід взяти до уваги те, що газодимозахисники виконують роботу при різних ступенях навантаження. На основі отриманих розрахунків можна порівняти вихідні дані, отримані з формули 1, та середні арифметичні дані, отримані за допомогою формули 5, тобто середнє значення часу роботи ланки ГДЗС в НДС – 35 хвилин (формула 1), але якщо враховувати статистичні дані, які наведені в табл. 1 де в переважній більшості пожежі були ліквідовані 1 ланкою ГДЗС, то середній час роботи становить 25 хвилин. Відповідно, можна зробити висновок, що загальний час для проведення змагання повинен становити в середньому 25 хвилин, де мають виконувати вправи з різними ступенями навантаження, як зазначено на рис. 2

На основі проведених розрахунків необхідно обрати вправи для проведення змагання, які б враховували легеневу вентиляцію АСП та ступінь важкості роботи газодимозахисників під час роботи на пожежі та ліквідації НС. Тому пропонуються вправи, які найбільше

застосовуються газодимозахисниками в практичній професійній діяльності [7], а саме:

- проведення газодимозахисником оперативної перевірки в АСП – легке навантаження;
- в'язання подвійної рятувальної петлі на потерпілого газодимозахисником, включеним в АСП, – середнє навантаження;
- відкриття дверей за допомогою кувалди – дуже важке навантаження;
- в'язання рятувальної мотузки за конструкцію газодимозахисником, включеним в АСП, – середнє навантаження;
- підйом по висувній драбині у вікно 3-го поверху навчальної вежі газодимозахисником, включеним в АСП, – важке навантаження;
- підйом з рукавної лінії та стволом по висувній драбині у вікно 3-го поверху навчальної

вежі газодимозахисником, включеним в АСП, – дуже важке навантаження;

– підйом вантажу за допомогою рятувальної мотузки у вікно 3-го поверху навчальної вежі газодимозахисником, включеним в АСП, – дуже важке навантаження;

– перенесення потерпілого на свіже повітря в складі ланки ГДЗС – дуже важке навантаження.

На змаганнях серед курсантів навчальних взводів 3-го курсу Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (далі – ЛДУ БЖД) під час виконання командного комплексу ланками ГДЗС було проведено практичні дослідження по середньому витраченому часу та даних таблиці 2 для виконання кожної вище наведеної вправи, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати досліджень вправ при різних ступенях навантаження
витрати повітря та часу виконання

п/п	Назва вправи	Ступінь навантаження	Час виконання вправи (хв)	Витрата повітря (л/хв)
1	Оперативна перевірка	Легке	1	20
2	В'язання подвійної рятувальної петлі на потерпілого газодимозахисником, включеним в АСП	Середнє	2	80
3	Силовa вправа «Колесо»	Дуже важке	5	400
4	В'язання рятувальної мотузки за конструкцію газодимозахисником, включеним в АСП	Середнє	1	40
5.1	Підйом з рукавної лінії та стволом по висувній драбині у вікно 3-го поверху навчальної вежі газодимозахисника, включеного в АСП	Дуже важке	1	80
5.2	Підйом по висувній драбині у вікно 3-го поверху навчальної вежі газодимозахисника, включеного в АСП	Важке	1	60
6	Підйом вантажу за допомогою рятувальної мотузки у вікно 3-го поверху навчальної вежі газодимозахисника, включеного в АСП	Дуже важке	2	160
7	Переміщення між етапами ланки ГДЗС	Середнє	2	80
8	Загалом		15	920

Отже, відповідно до таблиці 3, під час виконання командного комплексу вправ з різними ступенями навантаження було витрачено 15 хв та загальною витратою повітря 920 л/хв в АСП. Відповідно, за 1 хв було витрачено в середньому 61 – 62 л/хв повітря, що відповідає важкому ступеню навантаження та відповідає даним навантаження на газодимозахисника під час роботи на пожежі та ліквідації наслідків НС.

Станом на сьогодні стали дуже популярними та ефективними у професійній діяльності проведення змагань «Firefighter Combat Challenge» серед пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України. Цей вид змагань був започаткований у США в 1975 році в якості пілотного проекту з визначення рівня

фізичної придатності претендента на здобуття професії пожежного [8]. За короткий термін часу вони себе виправдали та отримали зелене світло на постійне використання. В 2017 році відбувся 1 чемпіонат України зі змагань «Firefighter Combat Challenge», після чого значною мірою змінився тренувальний підхід до методики підготовки газодимозахисників в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України. Враховуючи матеріально-технічну базу підрозділів ДСНС України важко було здійснити тренування газодимозахисників за американською методикою, тому були внесені зміни з врахуванням матеріальної бази підрозділів ДСНС України.

Відповідно, основною метою і завданням

проведення змагань серед газодимозахисників підрозділів ДСНС України є і формування у особового складу високих психологічних і психофізичних якостей, які необхідні для виконання командних робіт в екстремальних умовах; підвищення професійної майстерності; формування відповідального ставлення до роботи особового складу в НДС; підтримання постійно в справному стані обладнання ГДЗС; удосконалення практичних навичок та фізичної витривалості під час виконання нормативних вправ в АСП; закріплення на практиці знань з проведення першочергових реанімаційних заходів під час порятунку потерпілого.

Отже, для виконання оперативних завдань ланкою ГДЗС в НДС необхідно, щоб кожен газодимозахисник знав в першу чергу теоретичну частину підготовки газодимозахисника, а саме: будову АСП, порядок проведення перевірок (перевірки №1 та оперативної), дотримання Правил безпеки праці (далі – ПБП) при роботі в АСП [9], проведення розрахунків по часу і тиску роботи в АСП. Відповідно, знаючи теоретичну частину її необхідно освоїти в практичній діяльності. Практична частина складається з виконання таких вправ, які в оперативній діяльності найчастіше виконують газодимозахисники, рис. 3.



Рисунок 3 – Основні складові проведення змагання «На кращу ланку ГДЗС»

Аналізуючи методику проведення змагань в різних гарнізонах України, слід зауважити, що більшість проводить змагання з індивідуальним, окремим виконанням вправ кожним газодимозахисником, а не командою, як при виконанні оперативних завдань на пожежах чи НС. При такому підході до проведення змагань важливі організаційні моменти злагодженої роботи ланки ГДЗС відсутні, а як відомо основою досягнення успіху виконання оперативного завдання є виключно злагоджена командна робота ланки ГДЗС, а не кожного індивідуально.

Тому пропонуємо такий підхід та методику проведення змагання, яка була розроблена та застосована в практичній діяльності під час змагань з курсантами 3-го курсу Навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки на базі навчального спортивного комплексу ЛДУ БЖД у 2022 році.

Методика проведення змагань полягає в наступному, а саме: до участі в змаганнях

допускаються газодимозахисники, які пройшли медичний огляд, інструктаж з дотримання ПБП, а також представник команди зобов'язаний представити суддівській бригаді заявку учасників змагань встановленого зразка, завірену лікарем, особисті картки газодимозахисників. Крім того, кожен газодимозахисник має мати службове посвідчення, захисний одяг загального призначення, особисту маску та АСП. Склад команди складається з 4 чоловік, а саме: командира ланки, 2 газодимозахисників та постового на посту безпеки. Змагання складаються з 2 етапів, а саме з теоретичної та практичної частин.

Перший етап – це теоретична частина, а саме тестові завдання (відповіді на 10 питань даються протягом 3-х хвилин). Відповіді на тестові завдання виконуються командою в складі 4 чоловік. За кожну правильну відповідь в тестах віднімається 10 с від загального часу другого етапу. За кожну не правильну відповідь в тестах додається 10 с до загального часу другого етапу.

Другий етап – це практична частина, яка складається з 2 частин: командний комплекс вправ та оперативне розгортання, які виконує ланка ГДЗС з метою проведення розвідки в НДС та порятунку потерпілого.

Командний комплекс вправ виконує ланка ГДЗС таким чином:

- команда (ланка ГДЗС) в складі 4 чол. в захисному одязі та спорядженні розташовується перед стартовою лінією, за командою судді «Увага, РУШ!» кожен учасник команди одягає АСП та проводить оперативну перевірку АСП з обов'язковою доповіддю (Приклад: «Петрук до роботи готовий, тиск 300»!) командиру ланки ГДЗС, після чого командир ланки ГДЗС подає команду «За мною РУШ!». На відстані до 10 м від стартової лінії знаходяться потерпілі та біля них рятувальні мотузки попередньо підготовлені газодимозахисниками команди;

- кожен газодимозахисник включений в АСП виконує в'язання подвійної рятувальної петлі на потерпілого, після виконання вправи за дозволом судді ланка продовжує рух до іншого виконання завдання (вправа вважається виконаною за умови виконання завдання всіма газодимозахисниками). На відстані до 10 м від цього етапу розташоване колесо з кувалдою;

- ланка ГДЗС виконує силову вправу з переміщення автомобільного колеса (R20 275/50, вагою 20 кг) за допомогою кувалди (вагою 8 кг) на відстань 20 м. Вправа виконується таким чином: газодимозахисник завдає ударів по колесу, тримаючи кувалду двома руками, при відчутті втому передає кувалду іншому газодимозахиснику ланки ГДЗС. Вправа вважається виконаною, якщо вся площина колеса перетнула фінішну лінію і за командою судді ланка ГДЗС продовжує рух до виконання іншого завдання. На відстані до 10 м від цього етапу розміщено рятувальні мотузки на металевій конструкції (поруччя);

- кожен газодимозахисник виконує в'язання рятувальної мотузки за конструкцію одним з чотирьох способів (на свій вибір). Після виконання вправи кожным газодимозахисником за командою судді ланка ГДЗС продовжує рух до виконання наступного завдання. На відстані до 10 м від цього етапу розташована навчальна вежа, до якої приставлено 2 пожежні ручні висувні драбини у вікно 3-го поверху, біля 1-ої висувної драбини розміщена рукавна лінія зі стволом (рукавна лінія змотана в «гармошку»), біля 2-ої висувної драбини розміщено рукавну скатку для підйому її у вікно 3-го поверху за допомогою мотузки;

- ланка ГДЗС виконує одночасно 2 вправи, по 2 чоловіки, а саме: вправу, підйом по висувній драбині з рукавною лінією (рукавна лінія зі стволом складається з 2 пожежних напірних рукавів діаметром 51 мм та ств. «Б») та вправу, підйом по висувній драбині без рукавної лінії зі стволом, але при підйомі на поверх газодимозахисник здійснює підйом рукавної скатки (2 напірних рукава діаметром 77мм) за допомогою рятувальної мотузки. Вправа виконується таким чином, підйом по висувних драбинах здійснюють 2 газодимозахисники ланки ГДЗС, а 2 інших газодимозахисники здійснюють страхування (страхування висувних драбин для безпечного підйому по них газодимозахисників) газодимозахисника який, підіймається по висувній драбині. Вправа вважається виконаною, коли 2 газодимозахисники стоять (двома ногами) на 3-му поверсі навчальної вежі, а саме: 1 газодимозахисник з рукавною лінією та стволом, а 2-ий газодимозахисник з рукавною скаткою, яка лежить на площині поверхубіля нього. За командою судді вправувважється виконаною та час зупиняється. Виконання командного комплексу зображено на рис. 5.

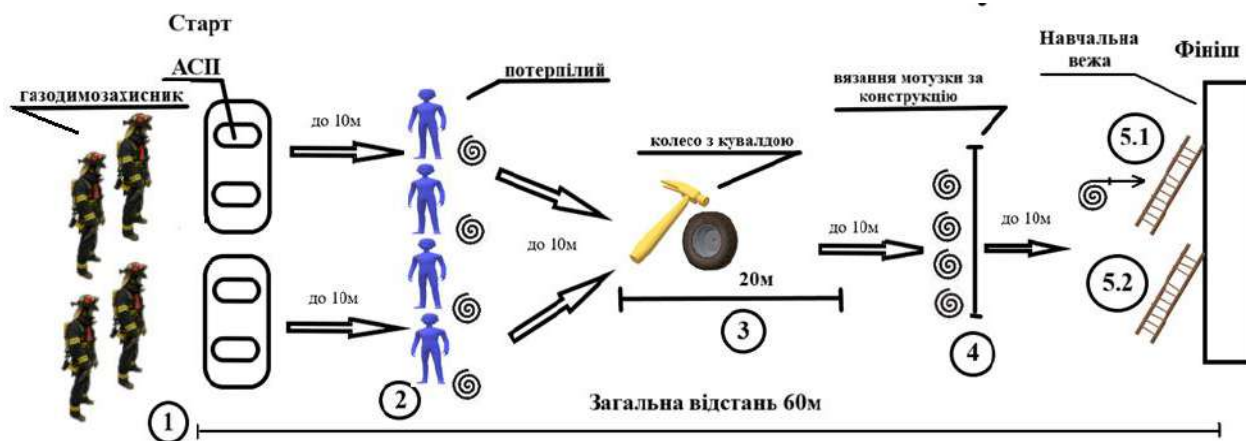


Рисунок 5 – Схема руху ланки ГДЗС під час виконання командного комплексу

Таким чином, на виконання командного комплексу ланкою ГДЗС було в середньому витрачено 15 хв, відповідно, якщо $\tau_{\text{роб.}} = 32 \text{ хв}$ (середнє значення часу при різних ступенях навантаження роботи ланки ГДЗС в НДС), тоді для виконання 2-го етапу проведення оперативного розгортання залишається 17 хвилин, що повністю задовільняє умови виконання даного оперативного завдання. Оперативне розгортання проводиться від автоцистерни без встановлення на вододжерело в складі ланки ГДЗС зі стволом першої

допомоги для проведення розвідки в попередньо задимлених приміщеннях (задимлення середнє, видимість 3-6 м) для знаходження потерпілого (манекен вагою 80 кг), винесення його на свіже повітря та надання йому домедичної допомоги. Реанімаційні заходи проводяться на спеціальному манекені потерпілого, який буде розміщений біля манекена, якого знайшла та винесла ланка ГДЗС з задимлених приміщень. Приклад схеми проведення оперативного розгортання зображено на рис. 6 [10].

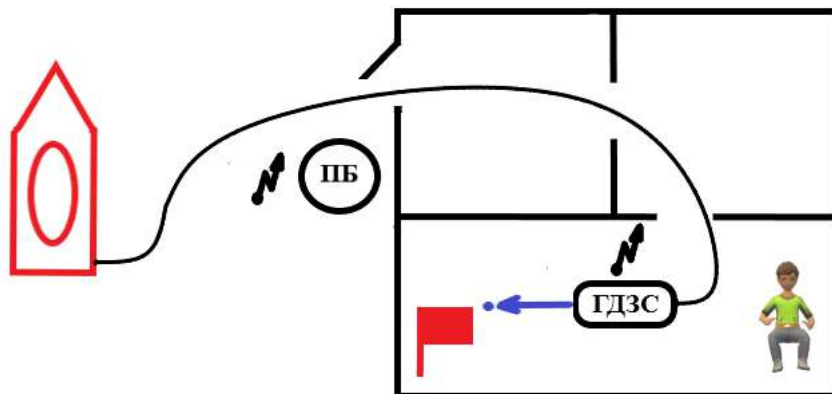


Рисунок 6 – Приклад схеми оперативного розгортання

Умови виконання оперативного розгортання та проведення реанімаційних заходів на манекені-потерпілому. Автомобіль стоїть на технічному майданчику навчально-спортивного комплексу біля входу в приміщення (розміром 6 х 6 м) навчальної вежі. Відділення шикуються в кількості 4 чоловік з яких 3-и газодимозахисники і 1-ий постовий на посту безпеки (постовий на посту безпеки, командир ланки та два газодимозахисники) в захисному одязі та спорядженні біля осі заднього колеса автоцистерни (далі – АЦ). Рукавна лінія складена у «гармошку» з приєднанням до неї стволом «Б» (2 пожежних напірних рукава Ø51 мм та ствол «Б» з'єднанні між собою) розміщена біля правого заднього відсіку АЦ. Вправа виконується в такій послідовності: суддя подає команду «Увага, РУШ!». Після подачі команди судді командир ланки ГДЗС доводить оперативне завдання особовому складу та дає команду підлеглим для проведення оперативної перевірки в АСП, постовий на посту безпеки фіксує показники газодимозахисників (тиск в АСП) та здійснює необхідні розрахунки. За цей час ланка ГДЗС бере необхідне спорядження та за командою командира ланки ГДЗС здійснює пошук потерпілого, веде радіозв'язок з постовим на посту безпеки. Знайшовши потерпілого ланка ГДЗС виносить його на свіже повітря і кладе у визначеному місці. Суддя фіксує час та зупиняє

його за умови, що уся ланка ГДЗС перебуває на свіжому повітрі. Після чого 2 газодимозахисники проводять реанімацію потерпілого на спеціальному манекені. Реанімаційні дії на манекені здійснюються в такому порядку: штучне дихання та непрямий масаж серця (3 повних цикли, кожен цикл не більше ніж 18-20 секунд) [11].

Під час проведення оперативного розгортання та пошуку потерпілого в середньому ланками ГДЗС витрачено 10 хвилин. Таким чином на виконання 2 практичного етапу змагання в середньому було витрачено 25 хвилин, що повністю задовільняє запропоновану методику підготовки газодимозахисників під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків НС. По завершенню змагання визначення переможців здійснюється за найменшим витраченим часом. Визначення найкращого результату здійснюється таким чином: час витрачений на виконання «командного комплексу» + час витрачений на оперативне розгортання = загальний час «+/-» час за теоретичну частину = загальний час команди (кінцевий результат).

Відповідно командна першість визначається за найменшим витраченим загальним часом.

Висновок. Проведено аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України та проаналізовано роботу ланок ГДЗС пожежно-

рятувальних підрозділів ДСНС України. На основі цього розраховано час виконання оперативних завдань, який в середньому становить 25 хвилин. На основі проведених розрахунків залежності часу, витрати повітря від ступеня навантаження на газодимозахисника під час виконання вправ було отримано, що за 1 хвилину газодимозахисник витрачає 61-62 л/хв повітря, що відповідає важкому ступеню навантаження. Обґрунтовано необхідні вправи, які відповідають ступеням навантаження під час роботи ланки ГДЗС у процесі гасіння пожеж та ліквідації наслідків НС. Розроблено методичні рекомендації, які регламентують порядок проведення змагання «На кращу ланку ГДЗС». Враховуючи вище вказане можна вважати, що застосовуючи запропоновані рекомендації проведення змагання дасть змогу якісно покращити практичну підготовку газодимозахисника під час виконання завдань за призначенням.

Список літератури:

1. Наказ МНС України № 1342 від 16.12.2011 «Про затвердження Настанови з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України».

URL: zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1342735-11#Text

2. Луц В.І., Пархоменко Р.В., Луц І.В. Аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України та шляхи підвищення її ефективності. Пожежна безпека: Збірник наукових праць ЛДУБЖД, 2017. № 30. С. 114-125.

URL: journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/download/20/17/

3. Огляд за напрямком діяльності державних пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС у 2022 році [електронний ресурс]. Режим доступу: службова інформація ДСНС, надана через АСКОД.

4. ДСТУ EN 137:2002 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Апарати дихальні автономні резервуарні зі стиснення повітря. Вимоги, випробування, маркування» (EN 137:1993, ITD). URL: online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68382

5. Луц В.І., Лазаренко О.В. Пам'ятка для газодимозахисника. Львів: ЛДУ БЖД, 2015. С. 68. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua

6. Ковалишин В.В., Луц В.І., Пархоменко Р.В. Основи підготовки газодимозахисника: навчальний посібник. Львів: ЛДУ БЖД, 2015. С. 379. Режим доступу: sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/2170

7. Наказ МВС №511 від 16.06.2017р. «Про затвердження Порядку організації службової підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту».

URL: zakononline.com.ua/documents/show/383372___758874

8. Firefighter's Combat Challenge [електронний ресурс]. URL: en.wikipedia.org/wiki/Firefighter%27s_Combat_Challenge

9. Наказ МНС України від 07.05.2007 року №312 «Про затвердження Правил безпеки праці в органах та підрозділах МНС України». URL: nuczu.edu.ua/images/topmenu/osvitnya_diyalnosti/slugbova_pidgotovka/normativno_pravovi_akti_nakazi/PRAVIL_Ohor-Pr_MNS.pdf

10. Наказ МНС України від 26.04.2018 року №340 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж». URL: zakon.rada.gov.ua/go/z0801-18

11. Наказ МОЗ України від 09.03.2022 року №441 «Про затвердження порядків надання домедичної допомоги особам при невідкладних станах». URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0356-22#Text

References:

1. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine from December 16, 2011 №1342 An instruction to organize use SCBA in the units of the Rescue Service of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Ukraine. Access mode: zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1342735-11#Text

2. Lushch V.I., Parkhomenko R.V., & Lushch I.V.. (2017) Analysis of the training of gas and smoke protection officers of the State Emergency Service of Ukraine and ways to increase its efficiency. Fire Safety, 30. 114-125.

3. Overview of the direction of activity of state fire and rescue units of the State Emergency Service in 2022 year Access mode: service information of the State Emergency Service, provided through ASKOD.

4. DSTU EN 137:2002 "Individual respiratory protective equipment. Self-contained tank breathing apparatus with air compression. Requirements, tests, marking" (EN 137:1993, ITD). Access mode: online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68382

5. Lushch V.I., Lazarenko O.V. (2015). A note for the firefighter with SCBA [Pamiatka dlia hazodymozakhysnyka]. LSULS, 68 p. Access mode: sci.ldubgd.edu.ua

6. Kovalishyn V.V., Lushch V.I., & Parkhomenko R.V. (2015) Basics of gas and smoke protection training, Lviv: LSU BZD. Access mode: sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/2170

7. Order of the Ministry of Internal Affairs No. 511 dated June 16, 2017. "On the approval of the Procedure for the Organization of Service Training of Private and Executive Staff of the Civil Protection Service."

Access mode: zakononline.com.ua/documents/show/383372__758874

8. Firefighter's Combat Challenge. Access mode: en.wikipedia.org/wiki/Firefighter%27s_Combat_Challenge

9. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine from April 7, 2007 №312 On Approval of Safety Rules in the bodies and subdivisions of the Ministry of Emergencies of Ukraine. Access mode: nuczu.edu.ua/images/topmenu/osvitnya_diyalnosti/slugbova_pidgotovka/normativno_pravovi_akti_nakazi/PRAVIL_Ohor-Pr_MNS.pdf

10. Order of the Ministry of Internal Affairs of

Ukraine from April 26, 2018 №340 « Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine from April 26, 2018, №340 «On Approval of the Statute of Actions during emergencies governing bodies and subdivisions of Operations and Rescue Service of Civil protection during Fire Fighting».

Access mode: zakon.rada.gov.ua/go/z0801-18

11. Order of the Ministry of Health of Ukraine dated March 9, 2022 No. 441 "On approval of procedures for providing pre-medical assistance to persons in emergency situations".

Access mode: zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0356-22#Text

© В. І. Луц, Ю. І. Панчишин, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 04.10.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



I. А. Оношко¹, А. П. Кушнір¹, С. Я. Вовк¹, В. А. Кобко²

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

²Одеський державний університет внутрішніх справ, м. Одеса, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5793-1680> – І. А. Оношко

<https://orcid.org/0000-0002-6946-8395> – А. П. Кушнір

<https://orcid.org/0000-0001-5278-3754> – С. Я. Вовк

<https://orcid.org/0000-0002-3586-8219> – В. А. Кобко



andrekuishnir@ukr.net

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ АВІАЦІЙНИХ АНГАРІВ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ

Проблема. Швидко виявлення загорання у разі пожежі та її гасіння має вирішальне значення для захисту авіаційних ангарів. Економічні втрати від пожежі можуть бути на мільярди доларів. Літак внаслідок пожежі може отримати пошкодження менш, ніж за хвилину від початку пожежі. Тому час виявлення пожежі є критичним параметром в системі забезпечення протипожежного захисту ангарів. Крім того є безліч можливих факторів, які можуть спричинити помилкове спрацювання системи і, тим самим, спричинити помилкову активацію системи пожежогасіння. Тому не зважаючи на неймовірний розвиток сучасних технологій і усе різноманіття систем виявлення пожеж – забезпечення пожежної безпеки авіаційних ангарів є актуальною задачею.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз можливостей підвищення протипожежного захисту авіаційних ангарів шляхом вдосконалення технологічних систем виявлення пожежі, а саме, використанням інтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я та відеосистем виявлення пожежі.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та задач дослідження було використано теоретичні методи дослідження, що передбачало аналіз наукових публікацій та чинної нормативної бази за напрямком дослідження.

Основні результати дослідження. Точкові теплові і димові пожежні сповіщувачі не використовуються для захисту авіаційних ангарів. Великі відкриті зони з великою висотою не дають змоги їм виявити загорання на ранній стадії. Висота літаків та стратифікація також можуть перешкоджати використанню лінійних димових пожежних сповіщувачів. Для захисту як цивільних, так і військових ангарів використовуються пожежні сповіщувачі полум'я. Проведені дослідження доводять, що пожежні сповіщувачі полум'я з трьома інфрачервоними сенсорами забезпечують найкращий результат розпізнавання пожежі в широкому діапазоні проведених тестових сценаріїв пожеж. І хоча багатоспектральні ІЧ ПС полум'я мають багато переваг, вони мають і певні ключові недоліки, головним чином пов'язані з помилковими спрацюваннями від джерел завад, не пов'язаних з реальною пожежею. Вони можуть спрацьовувати через гаряче CO₂ у повітрі, випромінювання чорного тіла від літаків або службових транспортних засобів, електромагнітне випромінювання тощо. Щоб мінімізувати кількість помилкових спрацювань системи необхідно використати нові технологічні рішення. Одними із таких рішень є використання високоінтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я та пожежних відеосповіщувачів. Проведені дослідження для захисту інших об'єктів показали, що пожежні відеосповіщувачі виявляли пожежу майже в кожному випробуванні порівняно із іншими типами пожежних сповіщувачів і помилковість спрацювання від додаткових джерел завад була мінімальною.

Висновки. Згідно з проведеними дослідженнями та стандартами для захисту як цивільних, так і військових ангарів, в системах пожежної сигналізації необхідно використовувати оптичні триспектральні інфрачервоні пожежні сповіщувачі полум'я. Ризики, пов'язані з використанням традиційних оптичних пожежних сповіщувачів полум'я, демонструють потребу в розробці більш ефективних системи виявлення пожежі з меншим ризиком помилкового спрацювання. Одним із перспективних способів підвищення надійності та зменшення часу виявлення загорання є використання високоінтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я побудованих на основі нечіткої логіки, нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі. Іншим перспективним напрямком для раннього виявлення загорань є використання пожежних відеосповіщувачів. Використання пожежних відеосповіщувачів є чудовою альтернативою традиційній системі пожежної сигналізації з пожежними сповіщувачами. Однак для забезпечення ефективного захисту авіаційних ангарів та літаків за допомогою пожежних відеосповіщувачів необхідно провести додаткові дослідження, які дадуть відповіді на питання про швидкість виявлення загорання, ймовірність помилкових спрацювань від різних

джерел завад, а також місця їх встановлення. Слід відмітити ще одну проблему використання пожежних відеоспівіснучачів, а саме: відсутність в повній мірі необхідної нормативної документації. Міжнародні стандарти не дають відповіді на усі запитання щодо їх проектування і використання.

Ключові слова: авіаційний ангар, пожежні співіснучачі, пожежні відеоспівіснучачі, відеосистеми виявлення пожежі.

I. A. Onoshko¹, A. P. Kushnir¹, S. Ya. Vovk¹, V. A. Kobko²

¹*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

²*Odesa State University of Internal Affairs, Odesa, Ukraine*

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF INCREASING AIRCRAFT HANGAR'S FIRE SAFETY BY MEANS OF IMPROVING HIGH-TECHNOLOGICAL FIRE DETECTION SYSTEMS

Introduction. Fast detection of fire ignition and its fast suppression is vitally important for the aircraft hangar's safety. Financial losses due to a fire can reach billions of dollars. An aircraft can be damaged in less than a minute after a fire starts, so the time of fire detection is an extremely important parameter in an aircraft hangar fire protection system. In addition, many possible factors can cause the system failure or malfunction and, thereby, cause the fire suppression system to false alarm. Therefore, despite the incredible development of modern technologies and the diversity of fire detection systems, ensuring the fire safety of aircraft hangars is an urgent task.

Purpose. The purpose is to analyse the possibilities of improving the fire protection of aircraft hangars by improving technological fire detection systems, namely, the possibility of usage of intelligent flame detectors and video fire detection systems.

Methods. To achieve the set purpose and objectives of the research, theoretical research methods were used, which included the analysis of scientific publications and the existing regulatory framework in the field of research.

Results. Dotted heat and smoke fire detectors are not used to protect aircraft hangars. Large open areas with high altitude do not allow them to detect ignition at an early stage. Aircraft altitude and stratification can also prevent the use of linear smoke detectors. Fire detectors are used to protect both civilian and military hangars. Conducted studies prove that flame detectors with three infrared sensors provide the best fire detection results in a wide range of fire test scenarios. Although multispectral IR flame detectors have many advantages, they also have certain key disadvantages, mainly related to false positives from sources of interference unrelated to the actual fire. These can be triggered by hot CO₂ in the air, blackbody radiation from aircraft or service vehicles, electromagnetic radiation, etc. To minimise the number of false positives in the system, it is necessary to use new technological solutions. One such solution is the usage of highly intelligent flame detectors and video fire detectors. Studies conducted for the protection of other objects have shown that video fire detectors detected fire in almost every research compared to other types of fire detectors and false alarms from additional sources of interference are minimal.

Conclusions. According to the conducted studies and standards, for the protection of both civilian and military hangars, it is necessary to use optical three-spectral infrared fire detectors in fire alarm systems. The risks associated with the usage of traditional optical fire detectors demonstrate the need for the development of more effective fire detection systems with a lower risk of false alarms. One of the best ways to improve reliability and reduce fire detection time is the usage of highly intelligent flame detectors built based on fuzzy logic, neural network and fuzzy neural network. Another promising direction for early detection of fires is the usage of video fire detectors. The usage of video fire detectors is an excellent alternative to replace a traditional fire alarm system with a flame detector. However, to ensure effective protection of aircraft hangars and aircrafts with the help of PVA, it is necessary to conduct additional studies that will allow answering the questions about the speed of fire detection, the probability of false alarms from various sources of interference, as well as the place of its installation. Another problem with the usage of video fire detectors should be noted is the lack of national regulatory documentation. International standards do not provide answers to all questions regarding their design and ways of usage.

Keywords: aircraft hangar, fire detector, video fire detector, video fire detector systems.

Постановка проблеми. Одними із найскладніших об'єктів в аспекті протипожежного захисту є ангари для зберігання та технічного обслуговування літаків. Саме ангари ще на стадії проектування становлять серйозні виклики проєктантам та замовникам будівництва. Швидке виявлення загорання у разі пожежі та її гасіння має вирішальне значення для захисту життя людей, майна та повітряних суден. Забезпечення високого рівня протипожежного захисту ангарів, які можуть охоплювати тисячі квадратних метрів, потребує використання високоточних технологічних системи виявлення загорання, які здатні розрізнити справжню

пожежу і оманливі явища, не пов'язані з пожежею на початковому етапі виникнення загорання, щоб можна було вжити швидких заходів для її локалізації.

Економічні втрати від пожежі можуть бути на мільярди доларів – від незначного пошкодження частини приміщень, до повної втрати ангару та літаків, які там зберігаються чи обслуговуються, оскільки вартість самих літаків, які перебувають в ангарах може перебільшувати в декілька разів вартість самого ангару. Наприклад, для зберігання повітряних суден типу Northrop Grumman B-2 Spirit необхідні спеціальні системи кондиціонування, які забезпечують відповідний захист, що впливає на

вартість ангару. Окрім того, один Boeing 737, згідно з офіційною інформацією, може коштувати від 49,5 до 85 млн доларів США, орієнтовна вартість одного F-35A Lightning II приблизно 102 млн доларів США, Lockheed Martin F-22 “Raptor” – від 135 до 180 млн доларів США, Northrop Grumman B-2 Spirit – приблизно 2,1 млрд доларів США.

Літак внаслідок пожежі може отримати пошкодження менш, ніж за хвилину від початку пожежі. Так, обшивка фюзеляжу літака може бути пошкоджена вже через 45 секунд після першого контакту з вогнем. Пінні системи пожежогасіння великої кратності, які зазвичай використовуються для захисту ангарів, можуть заповнити ангар піною на висоту невеликого літака не скоріше, ніж за дві хвилини. Тому час виявлення пожежі є критичним параметром в системі забезпечення протипожежного захисту ангарів. На додаток до швидкості розповсюдження пожежі ще є безліч можливих факторів, які можуть спричинити помилкове спрацювання системи виявлення пожежі і, тим самим, спричинити помилкову активацію систем пожежогасіння, що, у свою чергу, може мати матеріальні або трагічні наслідки.

На ефективну роботу системи виявлення загорання в авіаційному ангарі впливає ряд факторів, а саме: випромінювання від літаків/двигунів; електромагнітні та радіочастотні завади; гарячі викиди CO₂ з вихлопними газами двигунів; сонячні промені, що проникають крізь відчинені великі розсувні двері; можливість попадання полум'я крізь відчинені великі розсувні двері в зону контролю пожежних сповіщувачів (ПС) від рухомих і стоячих літаків на злітно-посадковій смугі з увімкненими реактивними двигунами; зміна інтер'єру внаслідок переміщення літаків; велика зона виявлення, крила літаків та перешкоди створюють значні завади для виявлення загорання; технічне обслуговування, яке може включати зварювання або шліфування. Також з огляду на кількість рухомих об'єктів і сонячне світло, що проникає крізь двері ангару, є багато відбиваючів гарячих поверхонь, з якими система виявлення пожежі (далі – СВП) повинна «рахуватись».

Отже, вище згаданий негативний вплив багатьох чинників в авіаційному ангарі відіграє вирішальну роль у виборі відповідної технології та СПВ, яка б могла сигналізувати про це на ранніх стадіях. Однак не зважаючи на найімовірний розвиток сучасних технологій і усе різноманіття систем виявлення пожеж – забезпечення пожежної безпеки авіаційних ангарів залишається актуальною задачею.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Про необхідність обладнання авіаційних ангарів певними системами протипожежного захисту вказано в стандартах NFPA 409, NAS 3306 [1, 2].

Авіаційні ангари, згідно з міжнародною класифікацією, різняться за розміром, типом і кількістю літальних апаратів, а також за типами наявних систем. Згідно з NFPA 409 [1] і Міжнародним Будівельним Кодексом, авіаційні ангари класифікують на чотири групи залежно від конструкції та розмірів ангарів, будівельних матеріалів конструкції, висоти дверей для доступу та типів небезпечних матеріалів, що там розміщені. Кожна СВП повинна враховувати усі ці унікальні характеристики об'єкта та вимоги до нього. Тому один тип СВП очевидно не може бути застосований для всіх типів ангарів, так само як один певний тип системи пожежогасіння.

NFPA 409 [1] передбачає захист ангарів і визначає необхідні типи системи пожежогасіння, які необхідно використовувати в кожній групі ангарів. NFPA 409 посилається на стандарт NFPA 72 [3], в якому чітко зазначено, вибрані пожежні сповіщувачі (далі – ПС) для авіаційних ангарів повинні відповідати призначенню будівлі, виявляти загорання реактивного палива і розміщуватись виключно на основні розрахунку ризиків, проведеного кваліфікованими особами. У 2022 р до NFPA 409 були внесені певні зміни в частині, що стосується вимог до систем пінного пожежогасіння для авіаційних ангарів II групи. Ця зміна стала результатом численних досліджень аналізу ризиків, які показали, що авіаційні ангари II групи не потребують наднадійних систем пінного пожежогасіння [4]. Обов'язково слід зазначити, що на сьогодні в Україні немає чинних норм проектування саме авіаційних ангарів, а норми пожежної безпеки для існуючих ангарів датуються 80-ми роками минулого сторіччя.

Військові ангари повинні відповідати нормативному документу ETL 02-15 [5], який своєю чергою посилається на NFPA 409 [1], а також на UFC 4-211-01 [6]. В роботі [7] Роберт Ганьон описує 12-етапний метод проектування протипожежного захисту ангарів для літаків. В роботі [8] автори зазначають, що для забезпечення ефективного захисту ангарів та літаків, військово-морські сили визнали потребу в розробці та впровадженні унікальних стандартів протипожежного захисту ангарів. Ці стандарти мають забезпечити надійні та легкі в обслуговуванні системи протипожежного захисту, які запобігають пошкодженню конструкції ангара та літака у разі пожежі. Розробка та впровадження таких стандартів відбувається на основі досліджень, які враховують специфіку військових літаків та їх використання.

Ще в 1997 р. автори [9] провели дослідження, які оцінювали загрозу пожежі, пов'язану з використанням пального під час технічного обслуговування літака в ангарі, та її наслідки. Під час випробувань були враховані джерела

займання пального, розливання пального, розповсюдження полум'я, оскільки забезпечення ефективності систем протипожежного захисту було фундаментальною метою у забезпеченні безпеки та захисту ангарів та літаків [8]. В роботі [10] запропонована система пожежогасіння нового покоління. Так, в цій роботі зазначено, що традиційні системи пінного пожежогасіння, які включають сопла аспіраційного типу та піногенератори типу повітродувки, мають кілька потенційних обмежень, включаючи низьку якість піни, через використання забрудненого димом повітря для утворення піни. Крім того, поточні системи піни не здатні забезпечити піну з високою швидкістю впорскування. Автори запропонували для утворення піни використовувати стиснене повітря, оскільки отримана піна буде мати високу якість і значну швидкість впорскування, а також потребуватиме значно меншої кількості води та концентратів піни, що призводить до зниження вартості. Дослідження показали, що така система пожежогасіння досягає 90% контролю над пожежею за 30 с і гасіння за 60 с.

В роботі [11] автори провели аналіз переваг і недоліків використання систем пінного пожежогасіння піною різної кратності, водяних систем пожежогасіння та способів подачі піни і води. Автори відмітили довгостроковий негативний вплив пер- та поліфторалкільних речовин, які використовуються для утворення піни різної кратності.

В роботі [12] автори наголошують на відсутності аналізу альтернативних методів протипожежного захисту авіаційних ангарів для можливого впровадження в NFPA 409 [1]. Автори вважають, що хоча такі системи, як тонкороспилена вода, піна зі стисненим повітрям та інші технічні рішення, і пропонуються для захисту – їх ефективність до кінця не досліджено. Таким чином, автори пропонують альтернативний метод оцінки, який можна використовувати щоб оцінити ефективність інших запропонованих технологій систем пожежогасіння за певним сценарієм виникнення і розвитку пожежі в авіаційному ангарі та провести подальші дослідження для їх вдосконалення.

У більшості випадків усі системи протипожежного захисту приводяться в дію СВП. Як уже зазначалося вище, авіаційні ангари є складними об'єктами де складно швидко виявити загорання і надзвичайно складно зробити це надійно, з мінімальною кількістю помилкових спрацювань системи від ознак, які не пов'язані з пожежею. Тому вкрай важливо розробляти нові технологічні СВП, які дають змогу надійно і швидко виявляти загорання на дуже великих площах ангарів.

Мета і задачі дослідження

Метою статті є аналіз можливостей підвищення протипожежного захисту авіаційних ангарів шляхом вдосконалення технологічних систем виявлення пожежі, а саме, використанням інтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я та відеосистем виявлення пожежі.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- провести аналіз різних аспектів проблем виявлення пожеж в авіаційних ангарах різними типами пожежних сповіщувачів;
- провести аналіз нормативних документів щодо вимог оснащення авіаційних ангарів СВП;
- провести аналіз запропонованих СВП з врахуванням останніх досягнень науки і техніки;
- проаналізувати запропоновані шляхи покращення ефективності функціонування СВП для протипожежного захисту авіаційних ангарів;
- здійснити вивчення нормативних документів щодо оснащення ангарів відеосистемами виявлення пожежі.

Результати роботи. Як уже було зазначено вище, через ряд факторів, виявити загорання в ангарах на ранній стадії традиційними системами пожежної сигналізації (СПС) є проблематично. Великі відкриті зони з великою висотою, можуть спричинити розрідження диму. В результаті чого концентрація диму при досягненні встановлених на стелі точкових димових ПС може бути малою для їх спрацювання, а різниця температур може спричинити термічне відшарування диму від стелі. Крім того, точкові димові ПС не є ідеальними через проблеми з обслуговуванням і витратами. Це стосується також і теплових ПС. Їх взагалі не рекомендується встановлювати вище 8 м [13, 14]. Термічне розшарування також перешкоджає тепловому потоку досягнути ПС. Ці сповіщувачі мають найбільшу інерційність і тому їх не можна використовувати для захисту ангарів.

В статті [15] запропонована інтелектуальна СВП для ангарів. Вона побудована з використанням сенсорів диму MQ-2 та тепла LM35 за допомогою мікропроцесора ARTMEGA328 на базі ARDUINO. Оптимізація всіх конструкцій схеми була виконана з використанням PROTEUS. В роботі наведено алгоритм роботи цієї системи. Як стверджують автори, результати дослідження показали високу ефективність запропонованої СВП. Однак, як випливає із самої статті, запропонована система аналізує лише наявність диму та тепла і працює як порогова система. СПС побудована з використанням теплових і димових ПС не ефективна для захисту самого ангару. Для доведення протилежного, автори не дослідили запропоновану систему для виявлення загорань в ангарі. Однак, використання при побудові

алгоритмів роботи ПС теорії нечіткої логіки та нейронних мереж для виявлення загорання дає змогу підвищити протипожежний захист ангарів. Ця інтелектуальна СПС може бути використана для захисту допоміжних приміщень ангарів. Так у роботі [16] для захисту допоміжних приміщень використано димові ПС, у кімнаті з обладнанням ліфта – тепловий ПС, а для самого ангару – оптичні ПС полум'я.

Лінійні ПС дуже часто використовуються для захисту великих відкритих просторів завдяки здатності виявляти загорання на великих відстанях і захищати великі території за допомогою обмеженої кількості сповіщувачів. Їх можна використовувати в декілька ярусів на проміжних висотах. Однак висота літаків та стратифікація також можуть перешкоджати використанню лінійних димових ПС.

Виявлення диму також можна здійснювати шляхом активного відбору проб повітря аспіраційними димовими ПС. Аспіраційні димові сповіщувачі використовують передові технології виявлення пожежі і використовуються там, де необхідне раннє виявлення загорання. Їх ще називають системами раннього виявлення. Система працює за принципом постійного забору повітря з контрольованого середовища через ряд повітряно-забірних отворів та подавання в центральну панель, де повітря аналізується на наявність частинок диму за допомогою вбудованого високочутливого димового ПС або спеціальних камер [17]. Аспіраційні димові сповіщувачі зазвичай мають широкий діапазон чутливості та виявляють найперші ознаки пожежі на ранній стадії, що дає час для оцінки ризику та вжиття відповідних заходів для захисту людей та майна. Вони мають ряд переваг: можливість використання в недоступних або важкодоступних місцях з ефективним способом забезпечення високочутливого захисту; завдяки використанню відповідних фільтрів в трубах, та точності налаштування чутливості датчика забезпечується ефективний захист приміщень з підвищеним вмістом пилу і забруднюючих частинок; можливість ефективного використання в будівлях, що охороняються і в будівлях, де достатньо складно встановлювати точкові ПС тощо.

Однак вони мають і свої недоліки: немає можливості визначити місце загорання; відбір повітря з приміщення, що захищається, забезпечується електромеханічним обладнанням; повітря всмоктується через невеликі отвори, розташовані по всій довжині труби, тому відбувається зниження концентрації диму завдяки розбавленню чистим повітрям, що всмоктується з інших частин приміщення, достатньо великих; через зниження концентрації продуктів горіння, для налаштування потрібного рівня чутливості на

окремій ділянці системи необхідно значно підвищувати чутливість датчика, а не потрібної окремої ділянки; несправність одного з найбільш важливих елементів системи, наприклад, датчика або всмоктуючого вентилятора, призведе до повної втрати захисту приміщення.

На сьогодні аспіраційні системи для захисту авіаційних ангарів не використовуються. Однак, беручи до уваги їхні переваги, можливо надалі необхідним буде провести дослідження ефективності цих систем для можливого їх використання.

Оптичні ПС полум'я роками використовуються для захисту як цивільних, так і військових ангарів. Вони добре підходять для захисту авіаційних ангарів, якщо взяти до уваги їх висоту і специфічні умови, які там є. Згідно з дослідженнями та стандартами [1, 5, 6], для захисту авіаційних ангарів в СПС необхідно використовувати ПС полум'я, які реєструють електромагнітне випромінювання на певних довжинах хвиль, що генерується як відкритим полум'ям, так і тліючим вогнищем. ПС полум'я з широкими горизонтальним та вертикальним кутами огляду та діапазоном виявлення 40 метрів або більше можуть виявляти невеликі пожежі у великій частині ангару за 10 або менше секунд [18].

У авіаційному ангарі СПС з ПС полум'я повинна: швидко реагувати на пожежі, мати високу стійкість до джерел випромінювання, які не пов'язані з пожежею, крім полум'я (наприклад, електромагнітних та радіочастотних джерел, гарячих викидів CO₂, зварювання тощо), забезпечити повне покриття авіаційного ангару. Одночастотні ІЧ ПС полум'я, які в основному виявляють полум'я в діапазоні 4,2÷4,6 мікрона, реагують на гарячий CO₂. Вони можуть спрацьовувати на вихлопи двигунів або генераторів, що може бути значною проблемою, коли реактивні двигуни перевіряють на обладнанні для технічного обслуговування, яке можуть використовувати в ангарах. Ще ETL 02-15 [5] 2002 року вимагав, щоб для захисту авіаційних ангарів використовувалися ультрафіолетові (УФ)/інфрачервоні (ІЧ)- або багаточастотні (багатоспектральні) ІЧ ПС полум'я. Однак, в п. 3.6.19.11.1 UFC 4-211-01 [6] 2018 року вже говориться лише про використання триспектральних ІЧ ПС полум'я. В п. 3.6.19.11.4 UFC 4-211-01 [6] зазначено, що ПС полум'я, повинен відповідати критеріям ефективності, викладеним у розділах 5, 6 і 7 цього документа. Усі ПС полум'я у зоні кута огляду, повинні виявляти загорання палива розміром 610 мм× 610 мм протягом 30 секунд.

Ще в 1999 р. в роботі [19] були проведені випробування для оцінки рівня ефективності комерційних оптичних ПС полум'я, призначених

для використання в ангарах ВМС США. Автори стверджують, що вимога ВМС щодо використання лише оптичних ПС в УФ/ІЧ діапазоні [20] не є виправданою з огляду на сучасні технології. Використання ІЧ-сенсорів з подвійним (потрійним) спектром може забезпечити покращене виявлення та стійкість до хибних тривог порівняно з наявними ІЧ- та УФ/ІЧ-сенсорами. Проведені дослідження доводять, що ПС полум'я з трьома ІЧ-сенсори забезпечує найкращий результат розпізнавання пожежі в широкому діапазоні проведених тестових сценаріїв пожеж [18]. Сповіщувачі з УФ/ІР сенсорами та з 2-ІР сенсорами показали змішані результати залежно від сценаріїв пожежі та умов тестування. ПС полум'я з трьома ІЧ-сенсори під час випробувань реагували на дуже обмежену кількість завад. Найбільші недоліки мають сповіщувачі з UV/IR сенсорами.

І хоча багатоспектральні ІЧ ПС полум'я мають багато переваг, вони мають і певні ключові недоліки, головним чином пов'язані з помилковими спрацюваннями. Авіаційні ангари мають дуже великі двері, які часто залишають відкритими під час роботи, через які сонячні промені напряму потрапляють в ангар. Хоча сонячні промені, як правило, не призводять до помилкових спрацювань багатоспектральних ПС полум'я порівняно з УФ/ІЧ ПС полум'я. Для цього багатоспектральні ПС полум'я використовують частоти "захисної смуги", щоб відрізнити справжнє полум'я від джерел завад. На жаль, захисні смуги в повній мірі не захищають від променів сонця, тому ПС зазнають значної десенсибілізації (зменшення чутливості) за наявності сонячного світла, модульованого чи ні [21]. Їх робота значно погіршується. ПС будуть ефективні лише на набагато менших відстанях, коли сонце перебуває в межах "поля зору" сповіщувача. Також коли широкі, високі ангарні двері відкриті, в поле зору ПС полум'я може потрапляти злітно-посадкова смуга. Полум'я з реактивних двигунів або випромінювання від вже вимкнутих реактивних двигунів літаків, які розташовані на злітно-посадковій смузі, може спричинити помилкове спрацювання багатоспектрального ПС полум'я. У роботі [22] автори стверджують, що сніг та туман можуть утворювати поверхню для відбивання сонячного світла, яке через відкриті двері ангару може проникати в ангар і також негативно впливати на роботу ПС полум'я, зменшуючи їх чутливість. Туман також поглинає ІЧ-випромінювання, від якого залежить робота ПС полум'я.

Традиційні оптичні ПС полум'я ідентифікують полум'я, реагуючи на наявність гарячого CO₂ у повітрі. Але в авіаційному ангарі, де часто використовуються реактивні двигуни, це навряд чи ідеальний метод виявлення загорання. ПС полум'я можуть помилково спрацювати через

випромінювання чорного тіла від літаків або службових транспортних засобів. Крім того, ангари піддаються радіочастотам від авіоніки, наземних радарів аеропорту та різних пристроїв зв'язку, що також може спричинити помилкове спрацювання такого ПС.

Ризики, пов'язані з використання традиційних оптичних ПС полум'я, демонструють потребу в розробці більш ефективних СПС з меншим ризиком спрацювання від джерел завад, не пов'язаних з реальною пожежею. Для цього необхідно використовувати нові технологічні рішення. Одним із перспективних способів підвищення надійності та зменшення часу виявлення загорання є використання в СПС високоінтелектуальних ПС полум'я, які здатні розрізняти реальні пожежі від оманливих явищ, не пов'язаних з пожежею. Особливо важливу роль в цьому відіграють розроблені алгоритми роботи ПС, зокрема алгоритми обробки та інтерпретації вихідних сигналів з сенсорів. Сигнали з сенсорів об'єднуються, розкладаються на математичні компоненти, які обробляються згідно із запрограмованими алгоритмами. Набутий досвід розробника дає можливість реалізувати технології виявлення загорання і побудувати ПС полум'я на основі нечіткої логіки [23-28], нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі (нейро-фаззи системи) [29-31].

Щоб побудувати ПС на основі нечіткої логіки необхідно знати як змінюються ознаки пожежі у часі залежно від типу пожежі, тобто необхідно мати досвід, щоб формувати функції належності та базу правил. Складність використання нейронної мережі для об'єднання даних, отриманих з декількох сенсорів, полягає в проектуванні кількості вузлів у прихованому шарі. Наразі не існує методу вибору кількості вузлів у прихованому шарі, однак вибір кількості вузла пов'язаний з нормальною роботою всієї мережі. Тому вибір прихованих вузлів шару є вирішальним. Також важливою задачею є вибір методу навчання. Нечітка нейронна мережа дає змогу компенсувати недоліки нечіткої логіки та нейронної мережі. Загальною перевагою таких систем є автоматична і достатньо швидка ідентифікація бази правил, встановлення параметрів та типу функцій належності. На відміну від традиційних нейронних мереж, параметри в таких системах мають чітке фізичне пояснення.

У роботі [25] запропоновано інтелектуальний багатоспектральний ПС з інфрачервоним та ультрафіолетовим датчиками з використанням блоку нечіткої корекції, синтезованого на основі теорії нечіткої логіки. Результати імітаційних досліджень показали, що блок нечіткої корекції розрізняє різні етапи зміни довжини хвилі інфрачервоного та ультрафіолетового

випромінювання і частоти мерехтіння. Блок формує необхідний вихідний сигнал на основі скомпільованої бази правил. Це дає можливість з високою точністю виявити пожежу без помилкової тривоги.

У роботі [27] розроблено ПС полум'я, який використовує нечітку вейвлет-систему або техніку нечіткої системи з багаторазовою роздільною здатністю для розрізнення пожежі та можливих завад. Після огляду зв'язку між моделлю Такагі-Сугено та сплайн-моделюванням автор показує, як можна розробити нечітку систему за допомогою методу кількох рішень на основі даних із застосуванням техніки вейвлетів.

У роботі [28] для розробки триканального інфрачервоного сповіщувача полум'я використано вдосконалену самоорганізовану радіальну базисну функцію нейронної мережі, що інтегрує нечіткість Такагі-Сугено. Результати дослідження показують, що сповіщувач розпізнає інфрачервоне випромінювання від пожежі та завад, спричинених зовнішніми джерелами.

Попри те, що згідно з дослідженням та UFC 4-211-01 [6] для захисту ангарів повинні використовуватися багатоспектральні ПС полум'я, на сьогодні з'явилися нові технології виявлення загорання. Вихід за рамки традиційних СПС з ПС полум'я дає змогу покращити ефективність роботи системи шляхом зменшення часу виявлення загорання і ймовірності помилкового спрацювання. Багатоспектральний ПС полум'я донедавна вважався найкращим ПС для забезпечення пожежної безпеки ангарів і наразі він є домінуючим. Однак, на сьогодні він не є найкращим для усіх випадків застосувань і не може задовільнити усі вимоги, які висуваються до СВП.

Найбільш перспективним напрямком для раннього виявлення загорань є використання СВП на основі комп'ютерного зору з використанням відеоаналітики, оскільки вони виявляють саме загорання, а не її ознаки. Так звані відеосистеми виявлення пожежі (далі – ВСВП). В основі відеоаналізу пожеж лежить процес розпізнавання початку загорання. Ця технологія візуального виявлення загорання, яка по суті використовує комп'ютерні програмні забезпечення для аналізу відеопотоків даних пропонує переваги над типовими СПС та набуває все більшого визнання та використання. Технології, які аналізують зображення, настільки точні, що можуть відрізнити дим від пари, полум'я пожежі від полум'я з реактивного двигуна. Вона найкращим чином підходить для захисту великих об'єктів і приміщень з високими стелями [32, 33].

ВСВП мають ряд переваг над традиційними СПС, включаючи швидке та надійне виявлення загорання в зонах з високим рівнем ризику

виникнення пожежі, дають можливість контролювати велику територію, приміщення з високими стелями, забезпечують ефективний захист у складних умовах тощо. Є можливість переглядати зображення з камер для підтвердження факту загорання. Дистанційний перегляд відеопотоку в реальному часі дає змогу персоналу швидко підтвердити або спростувати факт пожежі в разі спрацювання системи, визначити місце пожежі, ініціювати пуск або не допустити спрацювання системи пожежогасіння. Записані відеоподії можна переглянути та встановити походження і причину пожежі, причину помилкового спрацювання, щоб запобігти таким подіям в майбутньому. Це особливо корисно, враховуючи, що пожежі, як правило, знищують велику частину доказів того, як виникла пожежа та що її спричинило. Причини багатьох пожеж залишаються нез'ясованими на невизначений час просто через відсутність остаточних доказів.

Корпорація Schirmer Engineering отримала від компанії AxonX замовлення провести незалежне дослідження і перевірити технологію Fike Video Analytics пожежного відеосповіщувача (далі – ПВС) з іншими технологіями виявлення загорання. Дослідження включало 63 тести для порівняння ефективності та швидкості реагування ПВС, з точковими іонізаційним і фотоелектричним димовими ПС, лінійними тепловим та димовим ПС, а також аспіраційними ПС [34]. ВСВП виявляла пожежу в кожному випробуванні. В 61 із 63 тестів вона виявляла загорання. Аспіраційний ПС реагував на всі пожежі, але він реагував значно повільніше в усіх тестах, крім одного.

В ISO 7240-29:2017 [35] зазначено, що ПВС бувають трьох типів: типу А – димовий ПВС; тип В – ПВС полум'я; тип АВ – ПВС, який виявляє як дим, так і полум'я. Однак розробляються алгоритми роботи і проводяться дослідження, які дають змогу виявляти загорання за температурою повітря. Для захисту від проникнення пилу та води визначено два ступені захисту корпусу. Для сповіщувачів, придатних для встановлення в приміщенні або на відкритому просторі, визначено три діапазони температур навколишнього середовища.

Сьогодні пропонуються різні способи реалізації ВСВП, зокрема використання: програмно-серверної відеоаналітики (центрального аналізуючого комп'ютера), камер з вбудованими алгоритмами розпізнавання загорання (ПВС) і комбінованого рішення (розподілена відеоаналітика). Для захисту авіаційних ангарів можна використовувати як програмно-серверну відеоаналітику, так і СВП побудовану на ПВС.

Серверна відеоаналітика передбачає централізовану обробку відеоданих на сервері.

Як правило, програмне забезпеченням, яке встановлене на сервері, аналізує відеопотік від декількох стандартних камер, які вже встановлені на об'єкті разом із цифровим відеореєстратором для виявлення ознак пожежі. Основними перевагами серверної відеоаналітики є можливість комбінування алгоритмів відеоаналітики на одній апаратній платформі, висока точність роботи алгоритмів і широка сумісність з камерами. Головним недоліком такої відеоаналітики є необхідність безперервної передачі відео від джерела відеоданих на сервер, що створює навантаження на канали зв'язку. Також якщо, наприклад, відеореєстратор або програмне забезпечення виходить з ладу, вся система протипожежного захисту стає неефективною. Інша проблема полягає в тому, що не всі камери мають достатню роздільну здатність і вони зазвичай не підключаються вогнестійкими кабелями, а це означає, що система може не відповідати нормативним вимогам. Однак, в авіаційних ангарах вже можуть використовуватися камери для охорони з великою роздільною здатністю.

Другий спосіб побудови ВСВП полягає у використанні спеціальних камер – ПВС, із інтегрованими аналітичними алгоритмами з можливостями аналізу відеозображення. Процесор камери виконує додаткові функції, пов'язані з аналізом відео і передає результати разом з відеопотоком. Такі ПВС, зазвичай під'єднуються через IP-мережу до мережевого відеореєстратора, розташованого на станції моніторингу, де отримане зображення можна використовувати для цілей безпеки і безпосередньо до пожежного приймально-контрольного приладу (ППКП). Якщо камера виявляє пожежу, вона надсилає сигнал тривоги до ППКП так само, як і звичайний ПС. Головними перевагами такої відеоаналітики є висока відмовостійкість та зменшення навантаження на канали зв'язку і на сервер обробки відеоданих. У порівнянні з серверною відеоаналітикою, вбудована відеоаналітика збільшує в 10 разів ефективність використання каналів зв'язку і серверів. Оскільки ПВС встановлюються з урахуванням вимог протипожежного захисту, то для підключення до ППКП можна використовувати вогнестійкі кабелі. Недоліком є неможливість використання уже змонтованих камер, що значно впливає на вартість.

Розподілена відеоаналітика є гібридним рішенням між серверною і вбудованою відеоаналітикою, в якому обробка розподілена між джерелом відеоданих та центральним сервером. Наприклад, в системах багатокамерного стеження, виявлення події проводиться в джерелі відеоданих, а зіставлення результатів між кількома джерелами – на сервері.

Алгоритми виявлення загорання використо-

вують різні методи для визначення характеристик полум'я та диму та можуть базуватися на спектральних, просторових або часових властивостях; вони включають оцінку зміни кольорів, яскравості, контрасту, вмісту країв, руху, динамічних частот, а також узгодження візерунків і кольорів, обчислення ступеня інтенсивності тощо [36, 37]. Аналіз алгоритмів виявлення загорання потребує окремих досліджень.

Загальна чутливість ПВС залежить від візуального зображення і на неї можуть впливати фонові зображення, кольори стін і предметів, освітлення та діяльність в ангарі, кліматичні умови тощо. Розуміння та запобігання помилковим спрацюванням системи є ключовим елементом продуктивності ПВС через варіацію в алгоритмах сповіщувача. Місце встановлення впливає на продуктивність системи, залежно від виробника. Потенційними джерелами завад можуть бути рухомі об'єкти, зміни навколишнього освітлення, джерела тепла, пара, пил, забруднення лінз або конденсат тощо. Димові ПВС потребують мінімального рівня освітлення, щоб виявити дим та бути ефективними. Також, для підвищення чутливості можна використовувати інфрачервоні джерела світла або інфрачервоні чутливі камери [32]. Вони виявляють пожежу в основному за характеристиками диму, такими як форма, рух, колір і розмитість. ПВС полум'я виявляють пожежу на основі вимірювання енергії випромінювання або за характеристиками полум'я, такими як колір, форма, частота, хроматична аберація, інтенсивність полум'я тощо. Вони можуть виявити пожежі як при світлі, так і у темряві, але не можуть ефективно виявити тліючі пожежі, доки не з'явиться полум'я [38]. ПВС диму та полум'я можуть виявляти всі типи пожеж за характеристиками диму чи полум'я.

В роботі [32] автори для підвищення чутливості запропонували і досліджують нову ВСВП з ПВС полум'я/диму, який складається з кольорової камери, інфрачервоної камери та інфрачервоного джерела світла. Завдяки інфрачервоному джерелу світла ВСВП продемонструвала свою здатність працювати в різних складних умовах навколишнього середовища і виявляти різні типи пожеж. Кут огляду та положення камери ПВС мали суттєвий вплив на продуктивність ВСВП у виявленні невеликих прихованих пожеж. Однак в роботі запропонований ПВС не порівнювався з іншими типами ПВС, а наявність інфрачервоного джерела світла ускладнює його будову.

В роботі [18] автор зазначає, що продуктивність СВП можна покращити за допомогою альтернативних технологій виявлення полум'я на основі використання ПВС. ПВС полум'я можуть виявляти загорання на більшій

відстані з меншою кількістю помилкових спрацювань, ніж багатоканальні ІЧ ПС полум'я, навіть якщо в них встановлено вищі параметри чутливості. Дані ПВС полум'я можуть забезпечити адекватне покриття великих ангарів з меншою кількістю сповіщувачів, що знижує початкові витрати та витрати на обслуговування.

У роботі [39] автор детально описує способи, за допомогою яких інтелектуальні ПВС полум'я можуть покращити продуктивність СВП шляхом зменшення кількості помилкових спрацювань. Результати моделювання, проведені для ангарів з моделями літаків, показали потенціал використання ПВС полум'я, щоб покращити продуктивність системи виявлення загорання та зменшення кількості сповіщувачів, необхідних для повного охоплення ангара. Автор оцінює площу, яку охоплює ПВС, і доходить висновку, що запропонований ПВС полум'я покриває більшу площу, на відміну від багатоспектрального ІЧ ПС полум'я, і його продуктивність вища. Однак в роботі не було проведено ґрунтовних досліджень щодо реагування ПВС на різні типи пожеж та у різних умовах експлуатації, як це було зроблено в роботах [32, 33] для захисту великих промислових об'єктів.

У роботі [22] автори стверджують, що ПВС полум'я не спрацювають на сонячне світло та працюватимуть, поки сонце перебуває в межах їх видимості порівняно з багатоспектральними ІЧ ПС полум'я. Негативно впливати на роботу багатоспектрального ІЧ ПС полум'я може відбите сонячне світло, яке проникає в ангар через відкриті двері, від поверхні снігу та туману. ПВС полум'я можуть виявляти загорання крізь туман, дощ або сніг набагато краще ніж багатоспектральні ІЧ ПС полум'я та помилково не спрацювати від CO₂ вихлопів двигунів літаків.

Отже ПВС є чудовою альтернативою традиційним оптичним ПС полум'я. Основні переваги ПВС над оптичними ПС полум'я: вони не реагують на гарячі викиди CO₂, тому технологія не призводить до помилкового спрацювання через вихлопні гази реактивних двигунів або дизель-генераторів; відсутність десенсибілізації через сонячне світло, модульованого чи ні; не піддаються впливу сонячним променям, які відбиваються від снігу та туману; не піддаються впливу випромінювання чорного тіла, що випромінюється корпусом літака та службовими транспортними засобами; не піддаються впливу випромінювання від вже вимкнутих реактивних двигунів літаків; не піддаються впливу електромагнітних випромінювань та радіочастот від авіоніки, наземних радарів аеропорту та різних пристроїв зв'язку; не піддаються впливу туману; не піддаються впливу світлових ефектів

зварювання/шліфування; їх робота не залежить від різних рівнів освітлення; можуть відрізнити полум'я пожежі від полум'я з реактивних двигунів; менше піддаються впливу бруду/заліза/маслянистих відкладень на лінзі; функція віддаленого перегляду дозволяє оперативному персоналу візуально підтвердити пожежу в разі спрацювання системи та активувати системи автоматичного пожежогасіння, або відмінити її пуск у разі помилкового спрацювання.

Ці переваги є достатнім аргументом на користь застосування ПВС для захисту авіаційних ангарів. Однак все ж таки існує ймовірність помилкового спрацювання ПВС. Хоча ризик значно менший. Усе залежить від розроблених алгоритмів виявлення загорання, які параметри та методи для визначення характеристик полум'я та диму використовуються. Усе це потребує додаткових досліджень.

Слід відмітити ще одну проблему використання ВСВП і ПВС, це наявність нормативної документації. Донедавна не було впроваджено жодної нормативно-технічної документації, яка б регламентувала їх використання. На пожежонебезпечних об'єктах або об'єктах з ризиком масової загибелі людей можна було використовувати дві системи: традиційну СПС та СПВС. ISO/TS 7240-29:2017 [28] став першою платформою для міжнародного визнання єдиної специфікації. Розробка і випуск ISO 7240-29 дав змогу впровадити нові технології для підвищення пожежної безпеки об'єктів і значно розширити можливості використання ПВС. Міжнародна прийнята специфікація сьогодні є вкрай необхідною. На жаль, без опублікованого комплексного міжнародного стандарту не можна було широко використовувати ВСВП і сприймати їх як повноцінну СПС. Новий ISO/TS 7240-29 надав можливість власникам і страховим компаніям застосовувати міжнародні узгоджені показники продуктивності ПВС. Наявність технічної специфікації дає користувачам і проєктантам можливість використовувати ПВС у системах протипожежного захисту.

Підкомітет ISO визнає, що міжнародний стандарт не дає відповіді на усі запитання, а дає змогу цій галузі розвиватися і впроваджувати уже давно розроблені науковцями алгоритми розпізнавання пожеж. На низку запитань ще потрібно знайти відповіді і цього найкраще можна досягти шляхом отримання практичного досвіду у цій галузі за допомогою цього стандарту та проведення необхідних досліджень.

В Україні у липні 2022 року був прийнятий національний стандарт ДСТУ ISO/TS 7240-29:2022 [29], який розроблений на основі міжнародного стандарту ISO 7240-29:2017 [35] і поки що це єдиний нормативний документ, який діє в Україні і

дає можливість використовувати ПВС. Він визначає вимоги, методи випробування та критерії ефективності ПВС, які працюють у видимому спектрі, для використання в СПС, встановлених у будівлях та зовні. Для випробування інших типів ПВС, що працюють на інших принципах, цей документ можна використовувати лише як рекомендаційний. ДСТУ ISO/TS 7240-29:2022 не поширюється на ПВС, які розроблені для захисту від конкретних ризиків із спеціальними характеристиками, включаючи додаткові функції. В цьому стандарті нічого не сказано про проектування, монтування, введення в експлуатацію та вимоги до обслуговування ВСВП. Усе це викладено в нормативному документі ISO/TS 7240-30:2020 [41], який поки що не прийнятий в Україні. Цей документ визначає мінімальні вимоги до встановлення ВСВП з використанням обладнання, що відповідає стандарту ISO/TS 7240-29:2017.

Національний кодекс пожежної сигналізації (США) NFPA 72 [3] дає можливість використання СПВС полум'я та диму. Розділ 17.7.8 NFPA 72 від 2022 року встановлює вимоги до димових ПВС, а розділ 17.8.5 – ПВС полум'я. Технології ПВС полум'я та диму визнані національною асоціацією протипожежного захисту разом із іншими типами сповіщувачів. Встановлення цих систем вимагає проектування, заснованого на продуктивності. Через варіативність можливостей СПВС і відмінності в технологіях алгоритмів сигналізації, NFPA 72 вимагає, щоб системи перевірялися, тестувалися та обслуговувалися відповідно до опублікованих інструкцій виробника. Проблеми з надійністю системи можуть виникнути через зміну навколишнього освітлення, потоку повітря, використання в різних приміщеннях та вплив неочікуваних факторів. СПВС слід дуже ретельно контролювати, щоб забезпечити правильну роботу в кожному конкретному випадку.

Що стосується ВСВП та ПВС, то також є стандарти:

- FM 3232 [42] – який містить вимоги до роботи ПВС та ВСВП для забезпечення захисту людей, простору будівлі, конструкції, зони чи об'єкта та призначені для виявлення продуктів горіння в конкретному місці.

- UL 268B [43] – використовує UL 268 і містить додаткові вимоги для оцінки димових ПВС відповідно до NFPA 72;

- CNPP LPMES DEC 18 005 [44] – це французька технічна специфікація, яка визначає мінімальні технічні вимоги до ВСВП диму та/або полум'я.

Стандарти UL, і FM Approvals визначають комплексні методи оцінки, але дають змогу виробнику вирішувати конфігурацію оцінки, а

також вимог. Тому важливо розуміти обмеження конфігурації під час виконання тестів.

В Україні необхідно провести значну роботу щодо розроблення власних стандартів, які стосуються виробництва і використання ПВС та узгодження їх з міжнародними.

Висновки

1. Точкові теплові і димові ПС не використовуються для захисту авіаційних ангарів. Великі відкриті зони з великою висотою не дозволяють їм виявити загорання на ранній стадії її розвитку. Висота літаків та стратифікація можуть перешкоджати використанню лінійних димових ПС. На сьогодні, щодо використання аспіраційних системи для захисту авіаційних ангарів дослідження не проводилися.

2. Згідно з проведеними дослідженнями та стандартами для захисту як цивільних, так і військових ангарів в СПС необхідно використовувати оптичні ПС полум'я. Проведені дослідження показали, що ПС полум'я з трьома ІЧ-сенсорами забезпечує найкращий результат розпізнавання пожежі в широкому діапазоні проведених тестових сценаріїв пожеж. В UFC 4-211-01 говориться про використання лише триспектральних ІЧ ПС полум'я. І хоча багатоспектральні ІЧ ПС полум'я мають багато переваг, вони мають і певні ключові недоліки, головним чином пов'язані з помилковими спрацюваннями від джерел завад, не пов'язаних з реальними пожежами. При виборі СВП необхідно керуватися не лише чинними на сьогодні будівельними нормами, а і інженерними та науковими дослідженнями, проведеними кваліфікованими спеціалістами в даній області.

3. Ризики, пов'язані з використанням традиційних оптичних ПС полум'я, демонструють потребу в розробці більш ефективних СВП з меншим ризиком помилкового спрацювання. Одним із перспективних способів підвищення надійності та зменшення часу виявлення загорання є використання високоінтелектуальних ПС полум'я, побудованих на основі нечіткої логіки, нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі. Іншим перспективним напрямком для раннього виявлення загорянь є використання ПВС і побудова на їх основі ВСВП. Проведені дослідження для захисту інших об'єктів показали, що пожежні відеосповіщувачі виявляли пожежу майже в кожному випробуванні порівняно із іншими типами ПС.

4. Використання ПВС є чудовою альтернативою заміни традиційної СПС з ПС полум'я. Основні переваги ПВС над оптичними ПС полум'я: вони не реагують на гарячі викиди CO₂; відсутність десенсибілізації через сонячне світло; не піддаються впливу сонячних променів, які

відбиваються від снігу та туману; не піддаються впливу випромінювання чорного тіла; не піддаються впливу випромінювання від вже вимкнених реактивних двигунів літаків; не піддаються впливу електромагнітного випромінювання; не піддаються впливу туману; не піддаються впливу світлових ефектів зварювання/шліфування; їх робота не залежить від різних рівнів освітлення; менше піддається впливу бруду/заліза/маслянистих відкладень на лінзі; функція віддаленого перегляду дає змогу оперативному персоналу візуально підтвердити пожежу в разі спрацювання системи та активувати системи автоматичного пожежогасіння, або відмінити її пуск у разі помилкового спрацювання. Усі ці переваги є достатнім аргументом на користь застосування ПВС для захисту авіаційних ангарів.

5. Для забезпечення ефективного захисту авіаційних ангарів та літаків за допомогою ПВС необхідно провести додаткові дослідження, які дозволять відповісти на питання щодо швидкості виявлення загорання, ймовірності помилкових спрацювань від різних завод, а також місця його встановлення. Слід відмітити ще одну проблему використання ПВС, це відсутність в повній мірі необхідної нормативної документації. Міжнародні стандарти не дають відповіді на усі запитання щодо проектування і використання ПВС. На низку запитань ще потрібно знайти відповіді і цього найкраще можна досягти шляхом отримання практичного досвіду у цій галузі та проведення необхідних досліджень з врахуванням специфіки об'єкта.

Список літератури:

1. NFPA 409. Standard on Aircraft Hangars. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.
2. NAS3306. Facility requirements for aircraft operations. Revision 4, May 29, 2020.
3. NFPA 72. National Fire Alarm and Signaling Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.
4. Mellon M. Understanding NFPA 409: Fire Suppression for Aircraft Hangars. Sep 10, 2022. vanguard-fire.com/understanding-nfpa-409-fire-suppression-for-aircraft-hangars/
5. Air Force Technical Letter ETL 02-15. Fire Protection Engineering Criteria – New Aircraft Facilities. Dec 3, 2002.
6. UFC 4-211-01. Aircraft Maintenance Hangars, with Change 3. April 20, 2021.
7. Robert M. Gagnon. Design of Special Hazard and Fire Alarm Systems. August 17, 2007. 560 p.
8. Joseph L. Scheffey, Allison J. Wakelin, Joseph E. Gott, Robert J. Tabet, and Frederick W. Williams. Aircraft Hangar Fire Suppression System Design Study. Navy Technology Center for Safety and Survivability Washington DC, June 16, 2000. 88 p.
9. Aircraft hangar fire threat study and analysis. / Wells, S. P., et al. Air Force Research Lab Tyndall AFB FL Materials and Manufacturing Directorate, December 1, 1997. 60 p. doi:10.21236/ada344628
10. Kim, Andrew K., and George P. Crampton. Application of a Newly-developed compressed-air-foam fire suppression system. Interflam : proceedings of the ninth international conference, Edinburgh, 17 September 2001, Edinburgh, UK Proceedings, 2001. P. 1219-1224.
11. Liane Ozmun, and Gene Brown. Aircraft Hangar Fire Suppression. July 2020. 9 p. fsb-ae.com/wp-content/uploads/2020/08/Fire-Protection-SME-2020-FINAL.pdf
12. Jim Milke, and Jack Poole. Performance Criteria for Aircraft Hangar Fire Protection Systems. USA, 2022. 79 p. www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/RFHangerFPS.pdf
13. ДБН В.2.5-56:2014. Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту. Зі зміною № 1. Офіц. Вид. К. : Мінрегіон України, 2019. 97 с.
14. ДСТУ CEN/TS 54-14:2021. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, пусконаладжування, введення в експлуатацію, експлуатування та технічного обслуговування (CEN/TS 54-14:2018, IDT). Вид. офіц. Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2021. 81 с
15. Iyaghigba, Samuel David, and Comfort Sunday Ayhok. Hangar fire detection alarm with algorithm for extinguisher. Global Journal of Engineering and Technology Advances. 2021 Vol. 7, No 01. P. 144-155. doi:10.30574/gjeta.2021.7.1.0057
16. Frederick J. Tanis Jr. Life Safety and Fire Analysis – Aircraft Hangar. California : California Polytechnic State University, 2018. 170 p. digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/fpe_rpt/article/1094/&path_info=Tanis_Final_Report_2018_06_13.pdf
17. Інтернет – ресурс: firepro.com.ua/uk/obladnannya/aspiracijnij-dimovij-pozhezhnij-spovishhuvach-vesda
18. William Pittman. Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. First part article. GULF Fire. 2020. P. 73-76. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF17_Pittman_v3.pdf
19. D.T. Gottuk, J.L. Scheffey, F.W. Williams, J.E. Gott, and R.J. Tabet. Optical Fire Detection (OFD) for Military Aircraft Hangars: Final Report on OFD Performance to Fuel Spill Fires and Optical Stresses. Naval Research Laboratory. Washington. 2000. 341 p.
20. MJL-HDBK-1008C. Military Handbook,

Fire Protection for Facilities Engineering, Design, and Construction. Department of the Navy. Washington, DC, 10 June 1997.

21. McNay James. Desensitisation of optical based $\neg$ flame detection in harsh offshore environments. International Fire Professional. July 2014. No. 9. P. 12-14.

22. William Pittman, and James McNay. Applying Intelligent Visual Flame Detection in Military Aircraft Hangars. 10 p. etapii.com/wp-content/uploads/Draeger-Flame-detection-in-aircraft-hangers.pdf

23. Andrii Kushnir, Bohdan Kopchak, and Vira Oksentyuk. Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller. 2023 IEEE 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Poland, Jaroslaw, February 2023. P. 1-5. doi:10.1109/CADSM58174.2023.10076536

24. Uduak Umoh, Udoinyang G. Inyang, and Emmanuel E. Nyoho. Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection. International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI). August 2019. Vol. 8, No.3. P. 27-46. doi:10.5121/ijscai.2019.8303

25. Andrii Kushnir, and Bohdan Kopchak. Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block. 2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2021, P. 58-63. doi:10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075

26. A. E. Çetin, B. Mercı, O. Gunay, B. U. Toreyin, and S. Verstockt. Infrared Sensor-Based Flame Detection. Methods and Techniques for Fire Detection: Signal, Image and Video Processing Perspectives. 2016, pp. 47-59. doi:10.1016/B978-0-12-802399-0.00003-X

27. M. Thuillard. A new flame detector using the latest research on flames and fuzzy-wavelet algorithms. Fire Safety Journal. Vol. 37, Iss. 4, 2002. P. 371-380. doi:10.1016/S0379-7112(01)00056-X

28. Ziteng Wen, Linbo Xie, Hongwei Feng, Yong Tan. Infrared flame detection based on a self-organizing TS-type fuzzy neural network. Neurocomputing. Vol. 337. 2019. P. 67-79. doi:10.1016/j.neucom.2019.01.045

29. J unJie Zhang, ZiYang Ye, and KaiFeng Li. Multi-sensor information fusion detection system for fire robot through back propagation neural network. PLoS ONE. Jul. 2020. Vol. 15, No. 7, Art. no. e0236482. doi:10.1371/journal.pone.0236482

30. Yang Feng, Qu Na, and Li Chao. Compound Fire Detection Algorithm Based on Fuzzy Neural Network. Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017), Taiyuan, China, 24-25 June, 2017. doi:10.2991/meecs-17.2017.133

31. O. S. da Penha, and E. F. Nakamura. Fusing light and temperature data for fire detection. The IEEE

symposium on Computers and Communications, Riccione, Italy, 22-25 June 2010. P. 107-112. doi: 10.1109/ISCC.2010.5546519

32. Zhigang Liu, George Hadjisophocleous, Guofeng Ding, and Choon Siong Lim. Study of a Video Image Fire Detection System for Protection of Large Industrial Applications and Atria. Fire Technology. Vol. 48. 2012. P. 459-492. doi:10.1007/s10694-011-0237-6

33. Daniel T. Gottuk, and Joshua B. Dinaburg. Video Image Detection and Optical Flame Detection for Industrial Applications. Fire Technology. Vol. 49. 2013. P. 213-251. doi:10.1007/s10694-012-0254-0

34. Video image detection. Comparative testing of various detection technologies. SEC Project No. 1810001-000. February 11, 2010. 33 p. Ел. ресурс: getzfire.com/wp-content/uploads/2020/09/SigniFire-White-Paper.pdf

35. ISO/TS 7240-29:2017. Fire detection and alarm systems – Part 29: Video fire detectors.

36. A. E. Gunawaardena, R. M. M. Ruwanthika, and A. G. B. P. Jayasekara. Computer Vision Based Fire Alarming System. Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon). 05-06 April 2016, Moratuwa, Sri Lanka, 2016. P. 325-330. doi:10.1109/MERCon.2016.7480162

37. Кушнір А. П., Копчак Б. Л. Створення алгоритму автоматичного виявлення полум'я на основі комп'ютерного зору з використанням програмного середовища MATLAB. Пожежна безпека: Збірник наукових праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2020. №36. С. 49-58. doi:10.32447/20786662.36.2020.05

38. Gottuk, D. Video Image Detection Systems Installation Performance Criteria Research Project. Fire Protection Research Foundation. October 2008. doi:10.1007/978-1-4614-4202-8

39. William Pittman. Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. Part 2. Gulf Fire. January 2020. P. 50-54. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF18_Pittman_v2.pdf

40. ДСТУ ISO/TS 7240-29:2022. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 29. Пожежні відеосповіщувачі (ISO/TS 7240-29:2017, IDT)

41. ISO/TS 7240-30:2022. Fire detection and alarm systems – Part 30: Design, installation, commissioning and service of video fire detector systems.

42. FM Approvals Standard 3232. Video Image Fire Detectors for Automatic Fire Alarm Signaling.

43. UL Standard 268B. Outline of Investigation for Video Image Smoke Detectors.

44. CNPP LPMES DEC 18 005. Référentiel pour l'évaluation des systèmes de détection de fumées et/ou de flammes par analyse d'image. www.cnpp.com/

References:

1. NFPA 409. (2022). Standard on Aircraft Hangars. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.

2. NAS3306. (2020). Facility requirements for aircraft operations. Revision 4.
3. NFPA 72. (2022). National Fire Alarm and Signaling Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
4. Mellon M. (2022). Understanding NFPA 409: Fire Suppression for Aircraft Hangars. vanguard-fire.com/understanding-nfpa-409-fire-suppression-for-aircraft-hangars/
5. Air Force Technical Letter ETL 02-15. (2002). Fire Protection Engineering Criteria – New Aircraft Facilities.
6. UFC 4-211-01. (2021). Aircraft Maintenance Hangars, with Change 3.
7. Robert M. (2007). Gagnon. Design of Special Hazard and Fire Alarm Systems.
8. Joseph L. Scheffey, Allison J. Wakelin, Joseph E. Gott, Robert J. Tabet, and Frederick W. Williams. (2000). Aircraft Hangar Fire Suppression System Design Study. Navy Technology Center for Safety and Survivability Washington DC.
9. S.P. Wells, K.S. Cozart, M.B. Mitchell, and R.D. Dodsworth. (1997). Aircraft hangar fire threat study and analysis. Air Force Research Lab Tyndall AFB FL Materials and Manufacturing Directorate. doi:10.21236/ada344628
10. Kim, Andrew K., and George P. Crampton. (2001). “Application of a Newly-developed compressed-air-foam fire suppression system”. Interflam : proceedings of the ninth international conference, Edinburgh, UK Proceedings, September 17, 2001. pp. 1219-1224.
11. Liane Ozmun, and Gene Brown. (2020). Aircraft Hangar Fire Suppression. fsb-ae.com/wp-content/uploads/2020/08/Fire-Protection-SME-2020-FINAL.pdf
12. Jim Milke, and Jack Poole. (2022). Performance Criteria for Aircraft Hangar Fire Protection Systems. USA. www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/RFHangerFPS.pdf
13. SBR B.2.5-56:2014. Inzhenerne obladnannia budynkiv i sporud. Systemy protypozhezhnoho zakhystu. Zi zminoiu № 1. [Engineering equipment of buildings and structures. Fire protection systems. With change No. 1]. Kyiv : Ministry of the Region of Ukraine, 2019. p. 97.
14. CEN/TS 54-14:2018. Fire detection and fire alarm systems – Part 14: Guidelines for planning, design, installation, commissioning, use and maintenance/
15. Iyaghigba, Samuel David, and Comfort Sunday Ayhok. (2021). “Hangar fire detection alarm with algorithm for extinguisher”. Global Journal of Engineering and Technology Advances, vol. 7, No 01, pp. 144-155. doi:10.30574/gjeta.2021.7.1.0057
16. Frederick J. Tanis Jr. (2018). Life Safety and Fire Analysis – Aircraft Hangar. California : California Polytechnic State University. digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/fpe_rpt/article/1094/&path_info=Tanis_Final_Report_2018_06_13.pdf
17. Available at: firepro.com.ua/uk/obladnannya/aspiracijnij-dimovij-pozhezhnij-spovishhuvach-vesda
18. William Pittman. (2020). “Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. First part article”. GULF Fire, pp. 73-76. prodetc.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF17_Pittman_v3.pdf
19. D.T. Gottuk, J.L. Scheffey, F.W. Williams, J.E. Gott, and R.J. Tabet. (2000). Optical Fire Detection (OFD) for Military Aircraft Hangars: Final Report on OFD Performance to Fuel Spill Fires and Optical Stresses. Naval Research Laboratory. Washington.
20. MJL-HDBK-1008C. (1997). Military Handbook, Fire Protection for Facilities Engineering, Design, and Construction. Department of the Navy. Washington, DC.
21. McNay James. (2014). “Desensitisation of optical based flame detection in harsh offshore environments”. International Fire Professional, no. 9. pp. 12-14.
22. William Pittman, and James McNay. Applying Intelligent Visual Flame Detection in Military Aircraft Hangars. etapii.com/wp-content/uploads/Draeger-Flame-detection-in-aircraft-hangers.pdf
23. Andrii Kushnir, Bohdan Kopchak, and Vira Oksentyuk. (2023). “Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller”. 2023 IEEE 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Poland, Jaroslaw, February 2023, pp. 1-5. doi:10.1109/CADSM58174.2023.10076536
24. Uduak Umoh, Udoinyang G. Inyang, and Emmanuel E. Nyoho. (2019). “Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection”. International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI), vol. 8, no.3. pp. 27–46. doi:10.5121/ijscai.2019.8303
25. Andrii Kushnir, and Bohdan Kopchak. (2021). “Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block”. 2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2021, pp. 58-63. doi:10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075
26. A. E. Çetin, B. Merci, O. Gunay, B. U. Toreyin, and S. Verstockt. (2016). “Infrared Sensor-Based Flame Detection,” Methods and Techniques for Fire Detection: Signal, Image and Video Processing Perspectives, pp. 47-59. doi:10.1016/B978-0-12-802399-0.00003-X
27. M. Thuillard. (2002). “A new flame detector using the latest research on flames and fuzzy-wavelet

algorithms”. *Fire Safety Journal*, vol. 37, iss. 4, pp. 371-380. doi:10.1016/S0379-7112(01)00056-X

28. Ziteng Wen, Linbo Xie, Hongwei Feng, Yong Tan. (2019). “Infrared flame detection based on a self-organizing TS-type fuzzy neural network”. *Neurocomputing*, vol. 337, pp. 67-79. doi:10.1016/j.neucom.2019.01.045

29. J unJie Zhang, ZiYang Ye, and KaiFeng Li. (2020). “Multi-sensor information fusion detection system for fire robot through back propagation neural network”. *PLoS ONE*, vol. 15, no. 7, Art. no. e0236482. doi:10.1371/journal.pone.0236482

30. Yang Feng, Qu Na, and Li Chao. (2017). “Compound Fire Detection Algorithm Based on Fuzzy Neural Network”. *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017)*, Taiyuan, China, 24-25 June, 2017. doi:10.2991/mecs-17.2017.133

31. O. S. da Penha, and E. F. Nakamura. (2010). “Fusing light and temperature data for fire detection”. *The IEEE symposium on Computers and Communications*, Riccione, Italy, 22-25 June 2010, pp. 107-112. doi: 10.1109/ISCC.2010.5546519

32. Zhigang Liu, George Hadjisophocleous, Guofeng Ding, and Choon Siong Lim. (2012). “Study of a Video Image Fire Detection System for Protection of Large Industrial Applications and Atria”. *Fire Technology*, vol. 48, pp. 459-492. doi:10.1007/s10694-011-0237-6

33. Daniel T. Gottuk, and Joshua B. Dinaburg. (2013). “Video Image Detection and Optical Flame Detection for Industrial Applications”. *Fire Technology*, vol. 49, pp. 213-251. doi:10.1007/s10694-012-0254-0

34. Video image detection. Comparative testing of various detection technologies. SEC Project No. 1810001-000. February 11, 2010. 33 p. Ел. ресурс: getzfire.com/wp-content/uploads/2020/09/SigniFire-White-Paper.pdf

35. ISO/TS 7240-29:2017. Fire detection and alarm systems – Part 29: Video fire detectors.

36. A. E. Gunawaardena, R. M. M. Ruwanthika, and A. G. B. P. Jayasekara. (2016). “Computer Vision Based Fire Alarming System”. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, Moratuwa, Sri Lanka, April 05-06, 2016. P. 325-330. doi:10.1109/MERCon.2016.7480162

37. A. P. Kushnir, and B. L. Kopchak. (2020). “Development of computer vision-based automatic flame detection algorithm using matlab software environment MATLAB”. *Fire Safety*, no. 36, pp. 49-58. doi:10.32447/20786662.36.2020.05

38. Gottuk, D. (2008). *Video Image Detection Systems Installation Performance Criteria Research Project*. Fire Protection Research Foundation. doi:10.1007/978-1-4614-4202-8

39. William Pittman. (2020). “Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. Part 2”. *Gulf Fire*, pp. 50-54. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF18_Pittman_v2.pdf

40. DSTU ISO/TS 7240-29:2022. Systemy pozhezhnoi syhnalizatsii ta opovishchuvannia. Chastyna 29. Pozhezhni videospovishchuvachi [Fire detection and alarm systems – Part 29: Video fire detectors] (ISO/TS 7240-29:2017, IDT)

41. ISO/TS 7240-30:2022. Fire detection and alarm systems – Part 30: Design, installation, commissioning and service of video fire detector systems.

42. FM Approvals Standard 3232. Video Image Fire Detectors for Automatic Fire Alarm Signaling.

43. UL Standard 268B. Outline of Investigation for Video Image Smoke Detectors.

44. CNPP LPMES DEC 18 005. Référentiel pour l'évaluation des systèmes de détection de fumées et/ou de flammes par analyse d'image. www.cnpp.com/.

© I. А. Оношко, А. П. Кушнір,
С. Я. Вовк, В. А. Кобко, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 26.10.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



Ю. Е. Павлюк, В. В. Шарий, Б. В. Снігур

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0129-1116> – Ю. Е. Павлюк

<https://orcid.org/0000-0001-8746-2184> – В. В. Шарий

<https://orcid.org/0009-0008-0680-0486> – Б. В. Снігур



snihur.univer@gmail.com

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ В ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Проблема. Обов'язковою умовою удосконалення є детальний огляд сучасного стану питання, яке розглядається. Однією з характеристик сучасних міст є наявність великої кількості торговельно-розважальних закладів, які поєднують у собі різні за призначенням приміщення (спортзали, басейни, кінотеатри, ресторани, продуктові, будівельні та інші магазини, і т. інш.), що дає змогу відвідувачам та покупцям отримати практично все бажане в одному місці, від купівлі до розваг та відпочинку. Але через те, що ці заклади включають таку велику кількість пропонованих послуг, і займають, як правило, велику площу, виникає багато ризиків, які суттєво впливають на безпеку таких об'єктів. Пов'язано це насамперед з великою кількістю обладнання, яке обслуговує торговельно-розважальні заклади, великою кількістю комунікацій, яка необхідна для комфортної роботи усіх систем. Людський фактор також відіграє значну роль для підтримання достатнього рівня пожежної безпеки на об'єкті.

Мета. Огляд сучасного стану забезпечення пожежної безпеки в торговельно-розважальних закладах. Провести аналіз пожеж, які виникали в торговельно-розважальних закладах. Окреслити основні аспекти удосконалення пожежної безпеки таких закладів.

Методи дослідження. Статистичний, аналітичний.

Основні результати дослідження. Здійснено огляд сучасного стану в царині пожежної безпеки торговельно-розважальних закладів, проведено аналіз пожеж, які трапилися як в Україні, так і за її межами. Удосконалення пожежної безпеки в торговельно-розважальних закладах є важливою задачею сьогодення.

Висновки. Встановлено, що стан пожежної безпеки торговельно-розважальних закладів залежить від оптимального вибору типу та виду систем протипожежного захисту, оскільки сучасні торговельно-розважальні центри супроводжуються великою кількістю відвідувачів і персоналу, складним плануванням, значним пожежним навантаженням. Пожежі на таких об'єктах супроводжуються великими матеріальними збитками та призводять до значних людських втрат.

Ключові слова: пожежна безпека, системи протипожежного захисту, торговельно-розважальний заклад, ризик пожежі, евакуація.

Yu. E. Pavluk, V. V. Sharyy, B. V. Snihur

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

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

Problem statement. A necessary condition for improvement is a detailed review of the current state of the issue under consideration. One of the characteristics of modern cities is the presence of a large number of shopping and entertainment establishments, which combine different purpose premises (gyms, swimming pools, cinemas, restaurants, grocery, construction and other stores, etc.), which allows visitors and customers get almost everything they want in one place, from shopping to entertainment and recreation. However, due to the fact that these facilities include such a large number of offered services and occupy, as a rule, a large area, many risks arise that significantly affect the safety of such facilities. This is primarily due to the large amount of equipment that serves trade and entertainment establishments, and the large amount of communications, which is necessary for the comfortable operation of all systems. The human factor also plays a significant role in maintaining a sufficient level of fire safety at the facility.

Purpose. An overview of the current state in the field of fire safety of trade and entertainment establishments was carried out, and an analysis of fires that occurred both in Ukraine and abroad was carried out. Improving fire safety in shopping and entertainment establishments is an important task today.

Research methods. Statistical, analytical.

The main results of the study. An overview of the current state in the field of fire safety of shopping and entertainment establishments was carried out, and an analysis of fires that took place both in Ukraine and abroad was carried out. Improving fire safety in shopping and entertainment establishments is an important task today.

Conclusions. It has been established that the fire safety of shopping and entertainment establishments is based on the effective functioning of fire protection systems. A large number of visitors and staff, complex planning, and significant fire load, the main challenges of modern shopping and entertainment centres. In the presence of working fire protection systems, developed fires in shopping and entertainment establishments take place, but it is possible to avoid human casualties. In the absence of such systems, or the event of their malfunction, the scale of fires and human casualties is much greater. The development of fire safety in shopping and entertainment establishments should be based on modern fire protection systems.

Keywords: fire safety, fire protection systems, shopping and entertainment establishment, fire risk, evacuation.

Постановка проблеми. З постійним розвитком економіки та прискоренням урбанізації рівень життя людей покращується, вимоги до рівня та середовища торговельно-розважальних центрів підвищуються, отже, будується багато великих комерційних будівель. Як комплексний розважальний центр, комерційна будівля має особливості великого масштабу, атриум всередині та численні функції, зазвичай поєднує в собі ресторан, відпочинок, туризм, проживання, фінанси, культуру, мистецтво тощо. Доволі часто такі центри поєднують з житловими, адміністративними та спортивними приміщеннями. У зв'язку з значними площами торгових центрів, наявності в них великої кількості відвідувачів та персоналу, основними акцентами пожежної безпеки, на яких варто зосередитися, є: виявлення пожежі на ранніх стадіях та безпечна евакуація відвідувачів.

Забезпечивши вдосконалення цих аспектів, можна мінімізувати збитки від пожеж та можливі жертви.

На теперішній час основними нормативними документами, які регулюють вимоги в сфері пожежної безпеки торговельно-розважальних закладів, є: ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги", ДБН В.2.2-23:2009 Будинки і споруди. Підприємства торгівлі. Зміна № 1, ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зі Зміною № 1, ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Зі Зміною № 1 та інші.

Пожежна безпека – це комплекс заходів і правил, спрямованих на запобігання пожежам, забезпечення безпеки людей від небезпечних факторів пожежі під час її виникнення та мінімізацію матеріальних збитків. Вона охоплює широкий спектр заходів, включаючи профілактику пожеж, проектування безпечних будівель, належне обладнання пожежними системами, навчання персоналу щодо пожежної безпеки, встановлення пожежного обладнання та проведення евакуаційних заходів.

Основні принципи пожежної безпеки включають:

– Запобігання пожежам: вимагає регулярної перевірки електричних систем, установки

сповіщувачів пожежі, належного зберігання і використання легкозаймистих матеріалів тощо.

– Виявлення пожеж: передбачає використання димових детекторів, теплових датчиків і систем автоматичного сповіщення про пожежу. Ці пристрої виявляють пожежу або небезпеку пожежі і надсилають сигнал для активації пожежних систем.

– Пожежогасіння: для гасіння пожежі використовуються різні методи, такі як використання вогнегасників, систем пожежних кранів та автоматичних систем пожежогасіння. Важливо мати знання щодо використання цих засобів пожежогасіння.

– Евакуація: в разі пожежі важливо мати добре організований план евакуації, знати безпечні виходи та шляхи евакуації. Регулярні навчання і тренування щодо евакуації можуть допомогти забезпечити безпеку під час пожеж та уникнути людських жертв.

Пожежна безпека в будівлях вимагає правильного проектування, встановлення систем пожежної сигналізації, оповіщення, димо-видалення, гасіння та інших, використання вогнестійких матеріалів, належне обслуговування систем протипожежного призначення.

Основними компонентами системи протипожежного захисту (СПЗ) переважної більшості сучасних торговельно-розважальних закладів (ТРЗ) є такі:

- Система пожежної сигналізації
- Система оповіщення про пожежу та управління евакуювання людей
- Автоматична система пожежогасіння (включно з автономними системами локального пожежогасіння)
- Система протидимного захисту
- Система централізованого пожежного спостереження
- Система диспетчеризації СПЗ
- Ліфти пожежні
- Система блискавкозахисту будівлі
- Пожежні кран-комплекти
- Протипожежні перешкоди (двері, ворота, завіси, клапани) тощо.

Згадані компоненти забезпечують пожежну безпеку як до моменту виникнення пожежі (наприклад система блискавкозахисту убезпечує

будівлю від загорання після влучання блискавки шляхом відводу струму блискавки в землю), так і після її виникнення (система сигналізації виявляє пожежу на початковій стадії та формує сигнал для інформування людей про небезпеку та увімкнення відповідних протипожежних систем). Зрозуміло, що підтримання цих систем у робочому стані, є одним з основних обов'язків власників таких закладів, а ігнорування норм та вимог пожежної безпеки приводить до значних жертв та матеріальних збитків.

Слід зазначити, що важливим є вдосконалення норм, рекомендацій та технічних рішень, щодо покращення способів здійснення безпечної евакуації та зменшення можливих випадків загибелі та травмування людей.

Аналіз статистичних даних. В інформаційно-аналітичних даних [1] наводиться узагальнена

інформація про пожежі. Так, впродовж 2019-2020 років в Україні щорічно виникало від дев'яносто п'яти до ста тисяч пожеж. В 2021-2022 роках щорічно виникало від шістдесяти до вісімдесяти тисяч пожеж відповідно. Зокрема, в об'єктах торгівлі і харчування протягом 2021 року було 706 пожеж, загинула 1 людина, травмовано 11 людей. А в 2022 році трапилася 901 пожежа, загинуло 5 людей, травмовано 30. Розглядаючи за той же період пожежі в соціально-культурних, громадських та адміністративних спорудах, встановлено, що в 2021 році в цих закладах відбулося 476 пожеж, загинуло 20 і отримали травм 27 людей. В 2022 році сталося 829 пожеж. При цьому загинуло 12 людей, травмовано 103 людини.

На рисунках 1 і 2 вказано збитки, до яких призвели пожежі на цих об'єктах.



Рисунок 1 – Збитки від пожеж на об'єктах торгівлі і харчування в 2021-2022 роках



Рисунок 2 – Збитки від пожеж на об'єктах соціально-культурних, громадських та адміністративних споруд в 2021-2022 роках

У своєму звіті [2] за 2016-2018 роки нідерландські автори роблять акцент на залежності кількості пожеж в громадських будівлях від того, чи

вони відокремлені або ж заблоковані з іншими будівлями. Так, на окремо розташованих громадських будівлях, кількість пожеж в період

2016-2018 років становила 65 випадків. В той же період, в заблокованих торгових центрах трапилася 91 пожежа, що наводить на висновок про суттєвий вплив заблокованих з іншими будівлями торговельно-розважальних закладів на кількість пожеж в них. У цьому звіті приріст пожеж становить 40% для заблокованих торгових центрів.

Як свідчить статистика за 5 років [3] щороку на пожежах в торгових закладах США травмуються в середньому 299 осіб, гине 12 осіб. Збитки від пожеж становлять \$604 млн. Основними причинами пожеж є: кухонне обладнання – 21%; електророзподільні та освітлювальні прилади – 15%; опалювальне обладнання – 11%; підпали – 11%. Елементом, які займаються першими є: кулінарні матеріали – 13%; ізоляція електропроводів – 10%; сміття – 9%; легкозаймисті речовини – 8%. Джерела тепла розташовані біля горючих матеріалів спричинили 9% пожеж, однак на них загинуло 40% від загальної кількості людей. Пожежі, які виникали в період з 21:00 до 05:00, завдали в середньому збитків на \$73 тис, а середні збитки від пожеж, які трапилися з 05:00 до 21:00 – \$33 тис. В пожежах які відбулися з 21:00 до 05:00 загинуло 32% людей. Це підкреслює важливість наявності справних протипожежних систем.

В роботі [4] було досліджено статистику пожеж в Бангладеш, де зазначено, що протягом 20 років кількість пожеж зростає в 5 разів, і принаймні 4057 пожеж в 2019 році були пов'язані з торговими центрами та ринками, що становить орієнтовно 17% від загальної кількості пожеж у тому ж році. Автор роботи зазначає, що основною проблемою, яка призводить до збільшення кількості пожеж, є те, що лише 3,6% торгових центрів у країні відповідають необхідним стандартам пожежної безпеки, тоді як 56,1% та 40,3% торгових центрів були оцінені як "ризиковані" та "дуже ризиковані"

відповідно. Відсутність належної реакції призвела до збільшення кількості пожеж.

В 2016 році, виникла пожежа в розважальному центрі "МІ100" у Львові [5]. В результаті пожежі постраждали 25 осіб. Двоє людей потрапили в реанімацію, при цьому один з них у критичному стані з опіками на 95% тіла (згодом він помер). Згідно з інформацією очевидців, під час пожежі відвідувачі клубу в паніці вибивали вікна та заважали рятувальникам у їхній роботі. Причина пожежі – необережне поводження із вогнем під час феєр-шоу, що спровокувало загорання оздоблення приміщення і швидке розповсюдження вогню.

Причиною загибелі та травмування людей стало складне планування приміщень, яке в недостатній мірі було враховане при проектуванні систем протипожежного захисту.

В 2020 році виникла пожежа в одному з найбільших торгових центрів України – ТРЦ Forum Lviv [6]. Площа його становить 69000 кв.м., налічує 110 магазинів та має підземний паркінг на 600 автомобілів. Пожежа виникла на першому поверсі, в магазині Сільпо, на ділянці приготування їжі, через займання кухонного обладнання. Наявні системи протипожежного захисту, такі як локальне гасіння кухонного обладнання, система пожежної сигналізації, оповіщення про пожежу, протипожежні штори, відпрацювали згідно заданого алгоритму. Травмованих та загиблих – не було.

В 2021 році у м. Первомайськ, Миколаївської області, в одноповерховій будівлі ТЦ "Епіцентр" виникла пожежа [7]. Велике пожежне навантаження та наявність матеріалів з високою лінійною швидкістю розповсюдження пожежі, призвело до розповсюдження пожежі на площу 4000 кв.м. Наявні системи виявлення та ліквідації пожежі виявилися недостатньо ефективними, що призвело до значних матеріальних збитків.



Рисунок 3 – Пожежа в торговельному центрі Епіцентр (зображення взято з сайту: <https://prm.ua/u-pervomaysku-velyka-pozhezha-u-tts-epitsentr-zatrymaly-pidpaliuvacha-foto-i-video/>)

Вранці 29 жовтня 2022 у відомому універмазі Jinsheng у Нанкіні, провінція Цзянсу, Китай, сталася пожежа [8]. Вона тривала більше десяти годин. Вогонь охопив весь торговельний центр. Внутрішнє оздоблення торговельного центру знищено. Місцева пожежна служба повідомила,

що палаюча будівля мала великий об'єм, велике пожежне навантаження та складну внутрішню конструкцію. Зранку 30 жовтня служба пожежної охорони Нанкіна повідомила, що відкриту пожежу в універмазі Jinsheng було ліквідовано. Пожежа обійшлася без жертв.



Рисунок 4 – Пожежа в універмазі Jinsheng у Нанкіні, провінція Цзянсу, Китай
(зображення взято з сайту: <https://www.breakinglatest.news/news/photo-nanjings-famous-shopping-mall-was-destroyed-by-fire-jinsheng-department-store-nanjing-famous-devoured/>)

Підсумовуючи вищенаведене, можна прослідкувати залежність виникнення пожеж, їх масштабів, матеріальних втрат та жертв від нехтування вимогами протипожежної безпеки. Пожежі, які виникли в нічний час, коли основний контроль за протипожежним станом об'єкта виконується наявними системами, завдають в 2,3 раза більших збитків. Це акцентує увагу на необхідності впровадження ефективних систем протипожежного захисту.

З огляду на минулі пожежі можна стверджувати що наявність систем не виключає імовірності виникнення пожежі, однак вдосконалення пожежної безпеки мінімізує матеріальні та можливі людські втрати.

З березня 2022 року в Україні заборонено проведення планових та позапланових заходів державного нагляду [9]. Технічне обслуговування систем пожежної сигналізації та оповіщення потрібно проводити згідно з [10]. Недотримання періодичності обслуговування систем значно знижує їх ефективність, а відповідальність за невиконання регламентується [11], складає від 100 до 200 неоподаткованих мінімумів (1700-3400 грн) і не передбачає припинення роботи закладу.

Виклад основного матеріалу. В роботі [12] досліджується надійність систем спринклерного пожежогасіння на прикладі 18 торговельних центрів в Австралії. За допомогою методу аналізу дерева несправностей (FTA – fault tree analysis) було виявлено, що ймовірність відмови в будівлях австралійських торговельних центрів перебуває в

діапазоні від 1,4 % до 9,8 % (тобто діапазон надійності 90,2% і 98,6%). Подібно до висотних офісних будівель, вихід із ладу спринклерного зрошувача та ізоляція вузла керування під час модернізації системи гасіння, значно впливає на надійність спринклерної системи пожежогасіння. Однак поділ на більшу кількість спринклерних секцій і вчасне обслуговування компонентів системи у торгових центрах призводять до більшої надійності.

В дослідженні [13] вивчається проблема евакуації з підземних приміщень торговельно-розважальних закладів. Враховуючи поведінку людей при дії на них небезпечних факторів пожеж, уникнення наближення до пожежі під час евакуації та припускаючи найгірший сценарій, автори пропонують модель вибору місця розташування джерела пожежі з кількома виходами. Потім це дослідження моделює пожежу в підземному торговельному центрі за допомогою програмного забезпечення Pygosim. Модель чітко представляє розподіл ризику евакуації в різних зонах усередині будівлі, надаючи посилання як для проектування протипожежного захисту для торговельних центрів, так і для формування планів евакуації на випадок пожежі. Крім того, кількість людей у будівлі, час перед рухом та ширина безпечних виходів значно впливають на ризик евакуації під час пожежі в торговельних центрах. Зокрема, кількість людей у будівлі та час з моменту виявлення пожежі і початком евакуації, позитивно корелюють із ризиком евакуації, тоді як ширина евакуаційних

виходів корелює негативно. Найбільше на ризик евакуації впливає кількість людей всередині будівлі.

Аналогічно в статтях [14, 15] розглядається питання евакуації людей з торговельно-розважальних центрів для людей різних груп мобільності а також виявлено недосконалість українських норм при розрахунку часу початку евакуації, що може впливати на розрахунок різних ризиків в комплексі інжинірингу пожежної безпеки.

Дослідження проводилося в тренувальному режимі, а сама евакуація не анонсувалася. Фіксацію тренувань, проводили за допомогою камер відеоспостереження. В результаті було проаналізовані швидкості руху людських потоків під час евакуації з врахуванням перебування в них осіб з обмеженими можливостями, які користувалися колісними кріслами. На різних ділянках шляху було розраховано їх щільність. В результаті – відкориговано плани евакуації з будівлі та досліджено дії персоналу.

В роботі [16] автор досліджує метод просторового синтаксису. У цьому дослідженні поставлено за мету оцінити об'ємно-просторову організацію торговельних центрів, що мають різні планувальні схеми. Автор використовує метод, для визначення дизайну торговельного центру, організації його простору, в тому числі й для передбачення перешкод, які можуть ускладнити швидку евакуацію людей та персоналу з торговельно-розважального центру.

Однією з архітектурних конструкцій, яка часто зустрічається в ТРЗ, є атриум. Проблему боротьби з задимленням у евакуаційних проходах на верхньому поверсі атриуму досліджується в роботі [17]. На основі евакуаційної поведінки людей в умовах пожежі, запропоновано концепцію доступного евакуаційного проходу (АЕР – available evacuation passageway). Для реалізації контролю диму в АЕР пропонується зона дихання в поєднанні з підживлюючим повітрям під підлогою. Під час пожежі, через ефект труби, верхній поверх атриуму зазвичай найбільше уражається димом. Було досліджено вплив компоновання вхідних отворів для підживлення повітря та швидкості потоку підживлюваного повітря на контроль диму в АЕР. Результати показують, що коли ширина отвору для підживлення повітря становить 0,2 м, розміри отворів для підживлення повітря в зоні дихання становлять 0,5 м × 1 м (ширина × висота), а відстань між двома сусідніми отворами для підживлення становить 1,85 м, розподіл підживлюваного повітря найбільш рівномірний, а ефективність контролю диму оптимальна. При такому розташуванні вхідних отворів для підживлення повітря, коли швидкість потоку підживлюваного повітря становить 90% від швидкості виведення диму, концентрація CO, температура та видимість у

АЕР можуть відповідати необхідним вимогам до евакуації.

Автор статті [18] аналізує ряд пожеж в одній з країн східної Європи, акцентуючи увагу на відсутність адекватної реакції зі сторони контролюючих органів, на велику кількість загиблих при пожежах, значні матеріальні збитки та суспільний резонанс. Це наводить на думку, що в цій країні такі події виникають з великою періодичністю.

В працях [19, 20] досліджується питання використання повітряних завіс в торговельних центрах. Розглядається поширення тепла та диму в разі пожежі в торговельних центрах з повітряними завісами, що використовуються в критичних місцях, і порівнюється з відсутністю повітряних завіс. Отримано обнадійливі результати щодо ефективності повітряних завіс у зменшенні поширення тепла та диму та у збільшенні безпечного часу евакуації. Показано, що близько 37% тепла, що виділяється внаслідок пожежі, може бути обмежено всередині джерела вогню, випускаючи струмінь повітря з завіси зі швидкістю 10 м/с. Встановлення двоступеневої повітряної завіси в джерелі пожежі та на сходах може обмежити до 68% тепла на сходовій клітці. Результати цього дослідження можуть дати повне уявлення про роль та ефективність повітряних завіс у стримуванні тепла/диму та, отже, сприянні безпечній евакуації у разі пожежі в торговельних центрах.

У статті [21] автор досліджує імовірнісну модель заповнення диму у великих просторах. Були проведені експериментальні дослідження природного заповнення димом, спричиненого пожежею електромобіля (наприклад на паркінгу ТРЗ), для порівняння з моделлю заповнення димом у великих просторах. Шляхом порівняння різниці між часом задимлення та евакуації отримано ймовірність відмови димовидалення під дією невизначених факторів. Модель підходить для оцінки ризику виникнення пожежі у великих приміщеннях.

Робота [22] пропонує систему оцінки ризику пожежі для великих комерційних будівель. Система оцінки зосереджена на аналізі безпеки протипожежної системи в будівлях. По-перше, система індексів системи оцінювання була визначена шляхом дослідження на місці та пропозицій експертів. По-друге, вагу кожного індекса визначали методом структурної ентропійної ваги. По-третє, правила оцінки були визначені відповідно до положень відповідних законів і норм. Нарешті можна отримати оцінку та відповідний рівень ризику пожежі. Крім того, чотири великомасштабні комерційні будівлі в Чунціні (Китай), були взяті як приклади для розрахунку значень рівня ризику пожежі за запропонованою системою оцінки.

Зважаючи на масштаби торгових центрів, не можна не згадати про розміри збитків, які несуть їх власники, при вимушеній зупинці таких будівель. Однією з таких проблем, є евакуація всіх людей з ТРЗ при хибному спрацюванні систем протипожежного захисту, і, відповідно, втрата прибутків. Ця проблема розглядається в роботі [23]. У ній автор досліджує дані пожежно-рятувальної служби Нового Південного Уельсу за 2008-2018 роки, щодо хибного спрацювання систем протипожежного захисту. Згідно з даними автора, відсоток помилок становив приблизно 97% усіх викликів. Метою дослідження було оцінити економічний тягар помилкових активацій протипожежних систем. Витрати вважалися такими, що включають: втрати продуктивності бізнесу/уряду; травми або смертельні випадки, отримані в результаті зіткнення з автомобілем пожежної бригади, що прибув на виклик; заробітна плата персоналу пожежної служби та інших служб реагування; комунальні витрати пожежно-рятувальної служби; і альтернативні витрати для пожежної бригади, мешканців і перехожих. Це дослідження показало, що в 2018-2019 роках помилкові активації систем протипожежного захисту призвели до середніх економічних витрат у 246 мільйонів австралійських доларів на рік для штату Нового Південного Уельсу за найкращим сценарієм і 349 мільйонів австралійських доларів на рік за базовим сценарієм; це дорівнює середній вартості від 4952 до 7403 австралійських доларів за інцидент помилкової тривоги, ініційований системою. Економічна вартість цих невинуватених викликів є непомірно високою, і це дослідження вказує на важливість подальших ініціатив, спрямованих на безпечне зниження частоти помилкових активацій систем протипожежного захисту.

Ця проблема, за допомогою Баєсової оцінки, досліджується також в роботі [24]. Найбільш розповсюдженими сповіщувачами є димові. Проте, рівень помилкової тривоги у них високий. Через труднощі заміни всіх встановлених димових сигналізаторів за короткий період, підвищення точності виявлення пожежі встановлених сигналізаторів є серйозною проблемою. Таким чином, автор пропонує метод оцінки пожежної тривоги з кількома димовими сповіщувачами на основі Баєсівської оцінки. Розроблено метод класифікації послідовності тривог на основі запропонованого критерію для оцінки справжньої пожежі та підтверджено моделюванням як справжніх пожеж, так і помилкових спрацювань. Результати показують, що запропонований метод може виявити 77,5% хибних тривог.

При проведенні аналізу літературних джерел,

слід зазначити що недостатньо уваги приділено вивченню питання видалення продуктів горіння з врахуванням димоутворювальної здатності та масової швидкості вигорання новітніх матеріалів. При проектуванні не в достатній мірі враховуються пожежне навантаження, лінійна швидкість розповсюдження полум'я в приміщеннях різного призначення торговельно-розважальних центрів.

Практично недослідженим напрямком залишається використання можливостей відеоспостереження, яке розташоване в торговельно-розважальних закладах, як одного з елементів систем пожежної сигналізації.

Висновки

1. Проведено аналіз сучасного стану пожежної безпеки торговельно-розважальних центрів. Торговельно-розважальні центри характеризуються складним плануванням, великими площами, мультифункціональністю, одночасним перебуванням великої кількості людей тому підвищення пожежної безпеки таких закладів є важливим завданням.

2. Встановлено, що хибні спрацювання є актуальною проблемою сучасних систем пожежної сигналізації основними компонентами яких є димові сповіщувачі, які потребують застосування нових моделей оцінки спрацювань сповіщувачів. Це дасть змогу суттєво скоротити витрати при експлуатації.

3. На основі аналізу встановлено, що при правильному плануванні торговельно-розважальних закладів на стадії проектування, можна суттєво покращити час евакуації у разі виникненні пожежі. Аналогічно, при застосуванні нових досліджень та винаходів, можна досягти збільшення часу на евакуацію відвідувачів у разі загрози.

4. Вважаємо, що подальше дослідження напрямку підвищення пожежної безпеки торговельно-розважальних центрів за рахунок впровадження нових науково-технічних рішень протипожежного захисту сприятиме локалізації пожеж на ранніх стадіях виявлення що збільшить час на евакуацію людей, що зменшить імовірність травмування та загибелі людей і зменшить матеріальні збитки від пожеж.

Список літератури:

1. Звітні матеріали Державної служби України з надзвичайних ситуацій URL: dsns.gov.ua/uk/operational-information/nadzvicaini-situaciyi-v-ukrayini-2/dovidka-za-rik (дата звернення: 24.10.2023)

2. Grootchalig brandweeroptreden 2016-2018, Instituut Fysieke Veiligheid, Brandweeracademie, URL: nipv.nl/wp-content/uploads/2023/01/20191211-BA-Grootchalig-brandweeroptreden-2016-2018.pdf (дата звернення: 24.10.2023)

3. U.S. Structure Fires in Stores and Other Mercantile Properties, [2009, 2011, 2015] The National

Fire Protection Association URL: library.nfpa.org/GeniePLUS/GeniePLUS/Portal/Public.aspx?lang=en-US&g_AAAJ=Mercantile&p_AAAK=AAAJ (дата звернення: 08.11.2023)

4. Arif Mahmud Shuklo Shoshe, Ashiqur Rahman Improvement of heat and smoke confinement using air curtains in informal shopping malls, *Journal of Building Engineering*, Volume 46, 1 April 2022, Article 103676 DOI: doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103676 (дата звернення: 24.10.2023)

5. Інформація про виникнення пожежі у розважальному центрі Mi100 URL: zaxid.net/vnaslidok_pozhezhi_u_nichnomu_klubi_u_1_vovi_postrazhdali_ponad_20_lyudey_n1410809 (дата звернення: 08.11.2023)

6. Інформація про виникнення пожежі у розважальному центрі Forum Lviv URL: www.rbc.ua/rus/stylor/odnom-naibolshih-trts-ukrainy-sluchilsya-1579282871.html (дата звернення: 08.11.2023)

7. Інформація про виникнення пожежі у торговому центрі Епіцентр URL: prm.ua/u-pervomaysku-velyka-pozhezha-u-tts-epitsen-tr-zatrymaly-pidpaliuvacha-foto-i-video/ (дата звернення: 24.10.2023)

8. Інформація про виникнення пожежі у торговому центрі Нанкіна URL: www.breakinglatest.news/news/photo-nanjings-famous-shopping-mall-was-destroyed-by-fire-jinsheng-department-store-nanjing-famous-devoured/ (дата звернення: 24.10.2023)

9. Про припинення заходів державного нагляду (контролю) і державного ринкового нагляду в умовах воєнного стану : Постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.2022 р. №303 URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/303-2022-%D0%BF#Text (дата звернення: 08.11.2023)

10. ДСТУ CEN/TS 54-14:2021. Видання. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, пусконаладжування, введення в експлуатацію, експлуатування та технічного обслуговування. [На заміну ДСТУ-Н CEN/TS 54-14:2009; чинний від 01.07.2021]. Вид. офіц. Київ, ДП "Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості", 2021. 184с.

11. Кодекс України про адміністративні правопорушення, Редакція від 14.10.2023 URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#n2047 (дата звернення: 08.11.2023)

12. Khalid A.M. Moinuddin, Jasmine Innocent, Koroush Keshavarz, Reliability of sprinkler system in Australian shopping centres –A fault tree analysis, *Fire Safety Journal*, Volume 105, April 2019, Pages 204-215 DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.006 (дата звернення: 24.10.2023)

13. Ning Wang, Ying Gao, Chao-ying Li, Wen-mei Gai, Integrated agent-based simulation and evacuation risk-assessment model for underground building fire: A case study, *Journal of Building Engineering*, Volume 40, August 2021, Article 102609, DOI: doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102609 (дата звернення: 24.10.2023)

14. Ковалишин В., Доценко О., Хлевной О., Дивень В. (2022). Дослідження евакуації людей різних груп мобільності з торговельно-розважального центру. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2022. 2(14). С. 99–107. DOI: [doi.org/10.33269/nvcz.2022.2\(14\).99-107](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).99-107) (дата звернення: 24.10.2023)

15. Оношко І., Ковалишин В. Аналіз методології оцінювання пожежних ризиків. *Пожежна безпека*. 2022. Т. 41. С. 94–102. DOI: doi.org/10.32447/20786662.41.2022.11 (дата звернення: 24.10.2023)

16. H. Derya Arslan, Hilal Ergener, Comparative analysis of shopping malls with different plans by using space syntax method, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 14, Issue 9, September 2023, Article 102063 DOI: doi.org/10.1016/j.asej.2022.102063 (дата звернення: 24.10.2023)

17. Wenjun Lei, Zhanjiang Zheng, Chuanliang Rong, Chuanmin Tai, Shengzhong Zhao, Angui Li, Study on fire smoke control in evacuation passageways on the top floor of an atrium involving breathing zones combined with underfloor makeup air supplementation, *Safety Science*, Volume 153, September 2022, 105807 DOI: doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105807 (дата звернення: 24.10.2023)

18. Інформація про пожежу у торговому центрі Східної Європи URL: www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2019/November-December-2019/News-and-Analysis/Dispatches/International (дата звернення: 24.10.2023)

19. Di Huang, Guo-qing Zhu, Rong-liang Pan, Probabilistic Model of Smoke Filling in Large Spaces, *Procedia Engineering*, Volume 211, 2018, Pages 271-279 DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.013 (дата звернення: 24.10.2023)

20. Arif Mahmud Shuklo Shoshe, Ashiqur Rahman, Air curtain in informal shopping malls: Optimization of the air curtain operating parameters for heat and smoke confinement, *Energy and Buildings*, Volume 276, 1 December 2022, Article 112531 DOI: doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112531 (дата звернення: 24.10.2023)

21. Di Huang, Guo-qing Zhu, Rong-liang Pan, Probabilistic Model of Smoke Filling in Large Spaces, *Procedia Engineering*, Volume 211, 2018, Pages 271-279 DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.013 (дата звернення: 24.10.2023)

22. Fang Liu, Shengzhong Zhao, Miaocheng Weng, Yongqiang Liu, Fire risk assessment for large-

scale commercial buildings based on structure entropy weight method, *Safety Science*, Volume 94, April 2017, Pages 26-40

DOI: doi.org/10.1016/j.ssci.2016.12.009 (дата звернення: 24.10.2023)

23. W. Kathy Tannous, The economic cost of unwanted automatic fire alarms, *Fire Safety Journal*, Volume 124, September 2021, Article 103394

DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103394 (дата звернення: 24.10.2023)

24. Gang Liu, Hongyong Yuan, Lida Huang, A fire alarm judgment method using multiple smoke alarms based on Bayesian estimation, *Fire Safety Journal*, Volume 136, April 2023, Article 103733

DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103733 (дата звернення: 24.10.2023)

References:

1. Reporting materials of the National Emergency Service of Ukraine URL:

dsns.gov.ua/uk/operational-information/nadzvicaini-situaciyi-v-ukrayini-2/dovidka-za-rik (date of application: 24.10.2023)

2. Grootchalig brandweeroptreden 2016-2018, Instituut Fysieke Veiligheid, Brandweeracademie, URL: nipv.nl/wp-content/uploads/2023/01/20191211-BA-Grootchalig-brandweeroptreden-2016-2018.pdf (date of application: 24.10.2023)

3. U.S. Structure Fires in Stores and Other Mercantile Properties, [2009, 2011, 2015] The National Fire Protection Association URL:

library.nfpa.org/GeniePLUS/GeniePLUS/Portal/Public.aspx?lang=en-US&g_AAAJ=Mercantile&p_AAAK=AAAJ (date of application: 08.11.2023)

4. Arif Mahmud Shuklo Shoshe, Ashiqur Rahman Improvement of heat and smoke confinement using air curtains in informal shopping malls, *Journal of Building Engineering*, Volume 46, 1 April 2022, Article 103676 DOI: doi.org/10.1016/j.job.2021.103676 (date of application: 24.10.2023)

5. Information about the occurrence of a fire in the entertainment center Mi100 URL: www.rbc.ua/rus/stylar/odnom-naibolshih-trts-ukrainy-sluchilsya-1579282871.html (date of application: 08.11.2023)

6. Information about the fire in the shopping center Forum Lviv URL: www.rbc.ua/rus/stylar/odnom-naibolshih-trts-ukrainy-sluchilsya-1579282871.html (date of application: 08.11.2023)

7. Information about the fire in the shopping center Epicentr URL: prm.ua/u-pervomaysku-velyka-pozhezha-u-ts-epitsentr-zatrymaly-pidpaliuvacha-foto-i-video/ (date of application: 24.10.2023)

8. Information about the fire in the Nanjing shopping center URL: www.breakinglatest.news/news/photo-nanjings-famous-shopping-mall-was-destroyed-by-fire-jinsheng-department-store-nanjing-famous-devoured/ (date of application: 24.10.2023)

9. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro prypynennia zakhodiv derzhavnoho nahliadu (kontroliu) i derzhavnoho rynkovoho nahliadu v umovakh voiennoho stanu" №303 vid 13.03.2022 zakon.rada.gov.ua/laws/show/303-2022-%D0%BF#Text (date of application: 08.11.2023)

10. CEN/TS 54-14:2021 Fire detection and fire alarm systems Guidelines for planning, design, installation, commissioning, use and maintenance (CEN/TS 54-14:2018, IDT) DP "UkrNDNTs" (date of application: 08.11.2023)

11. Kodeks Ukrainy pro administratyvni pravoporushennia, (redaktsiia vid 14.10.2023) zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#n2047 (date of application: 08.11.2023)

12. Khalid A.M. Moinuddin, Jasmine Innocent, Koroush Keshavarz, Reliability of sprinkler system in Australian shopping centres –A fault tree analysis, *Fire Safety Journal*, Volume 105, April 2019, Pages 204-215 DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.006 (date of application: 24.10.2023)

13. Ning Wang, Ying Gao, Chao-ying Li, Wenmei Gai, Integrated agent-based simulation and evacuation risk-assessment model for underground building fire: A case study, *Journal of Building Engineering*, Volume 40, August 2021, Article 102609, DOI: doi.org/10.1016/j.job.2021.102609 (date of application: 24.10.2023)

14. Kovalyshyn V., Dotsenko, O., Khlevnoy, O., Dyven, V. (2022). Research of the evacuation of people of different mobility groups from a shopping and entertainment center. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, (2(14), pp. 99–107 DOI: doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).99-107 (date of application: 24.10.2023)

15. Onoshko, I., Kovalyshyn, V. (2022). Analysis of fire risk assessment methodology. *Fire Safety*, 41, pp. 94-102 DOI: doi.org/10.32447/20786662.41.2022.11 (date of application: 24.10.2023)

16. H. Derya Arslan, Hilal Ergener, Comparative analysis of shopping malls with different plans by using space syntax method, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 14, Issue 9, September 2023, Article 102063 DOI: doi.org/10.1016/j.asej.2022.102063 (date of application: 24.10.2023)

17. Wenjun Lei, Zhanjiang Zheng, Chuanliang Rong, Chuanmin Tai, Shengzhong Zhao, Angui Li, Study on fire smoke control in evacuation passageways on the top floor of an atrium involving breathing zones combined with underfloor makeup air supplementation, *Safety Science*, Volume 153, September 2022, 105807 DOI: doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105807 (date of application: 24.10.2023)

18. Information about fires in the shopping center of Eastern Europe URL: www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2019/November-December-2019/News-and-Analysis/

Dispatches/International (date of application: 24.10.2023)

19. Di Huang, Guo-qing Zhu, Rong-liang Pan, Probabilistic Model of Smoke Filling in Large Spaces, *Procedia Engineering*, Volume 211, 2018, Pages 271-279 DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.013 (date of application: 24.10.2023)

20. Arif Mahmud Shuklo Shoshe, Ashiqur Rahman, Air curtain in informal shopping malls: Optimization of the air curtain operating parameters for heat and smoke confinement, *Energy and Buildings*, Volume 276, 1 December 2022, Article 112531 DOI: doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112531 (date of application: 24.10.2023)

21. Di Huang, Guo-qing Zhu, Rong-liang Pan, Probabilistic Model of Smoke Filling in Large Spaces, *Procedia Engineering*, Volume 211, 2018, Pages 271-279 DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.013 (date of

application: 24.10.2023)

22. Fang Liu, Shengzhong Zhao, Miao Cheng Weng, Yongqiang Liu, Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method, *Safety Science*, Volume 94, April 2017, Pages 26-40

DOI: doi.org/10.1016/j.ssci.2016.12.009 (date of application: 24.10.2023)

23. W. Kathy Tannous, The economic cost of unwanted automatic fire alarms, *Fire Safety Journal*, Volume 124, September 2021, Article 103394

DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103394 (date of application: 24.10.2023)

24. Gang Liu, Hongyong Yuan, Lida Huang, A fire alarm judgment method using multiple smoke alarms based on Bayesian estimation, *Fire Safety Journal*, Volume 136, April 2023, Article 103733

DOI: doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103733 (date of application: 24.10.2023)

© Ю. Е. Павлюк, В. В. Шарий,
Б. В. Снігур, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 25.10.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



В. В. Придатко¹, Д. О. Чалий¹, О. В. Придатко¹, В. А. Кобко²

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

²Одеський державний університет внутрішніх справ, м. Одеса, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6964-5929> – В. В. Придатко

<https://orcid.org/0000-0002-7136-6582> – Д. О. Чалий

<https://orcid.org/0000-0002-0719-9118> – О. В. Придатко

<https://orcid.org/0000-0002-3586-8219> – В. А. Кобко



valentinpridatko1506@gmail.com

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗОН ОБСЛУГОВУВАННЯ РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

Постановка проблеми. З огляду на аналіз предметної області щодо причинно-наслідкових зв'язків виникнення пожеж, а також на результати досліджень низки вітчизняних та закордонних наукових шкіл, можна з очевидністю стверджувати, що процес успішної ліквідації пожежі та мінімізації її наслідків залежить від багатьох факторів. Ці фактори можуть мати різну природу: людську, збіг випадкових обставин, організаційну, технічну тощо. Людським фактором є час виявлення пожежі та оперативність повідомлення про неї рятувальним підрозділам. Фактори пов'язані із часом збору особового складу, доїзду до місця події та подачі вогнегасних речовин рятувальними підрозділами мають здебільшого організаційно-технічний характер. Якщо розглядати цю складову глибше, то час слідування рятувальних підрозділів може залежати від метеорологічної ситуації, завантаженості вуличних мереж тощо, що має виключно випадковий характер. Крім того, час слідування значною мірою залежить і від місця дислокації рятувального підрозділу або стану вулично-дорожньої мережі. Очевидно, що найбільшою ваги набуває сукупність усіх факторів, проте попереднє вивчення наукової проблеми визначає найбільш значущими ті фактори, які впливають на мінімізацію наслідків пожеж шляхом скорочення часу їх вільного розвитку, а відтак мають саме організаційно-технічний характер. Враховуючи зазначене бачимо, що актуальним є розробка ефективних організаційно-технічних заходів оптимізації зон обслуговування оперативних підрозділів, щоб зменшити їх час доїзду і тим самим зменшити тривалість вільного розвитку пожежі.

Метою роботи є аналіз предметної області та наукових досліджень щодо зменшення часу вільного розвитку пожежі шляхом розробки ефективних і науково-обґрунтованих організаційно-технічних заходів, а також визначення впливу різноманітних факторів на час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику.

Основні результати та методи досліджень. Проведено аналіз наукових результатів досліджень та публікацій присвячених зменшенню часу вільного розвитку процесів горіння (пожежі), зокрема завдяки визначенню оптимальних місць розміщення рятувальних підрозділів, а також дослідженню впливу окремих чинників на час доїзду підрозділів до місця пожежі. Проаналізовано чинні нормативно-правові акти, що визначають основні вимоги до розташування депо рятувальних підрозділів та статистичні дані стосовно їх фактичного розташування. Визначено критерій оптимізації зон розташування рятувальних депо, визначено його параметри оптимізації та окреслено цільову функцію. В роботі використано аналітичні методи дослідження.

Висновки. За результатами аналізу наукових досягнень встановлено та систематизовано основні напрями, за якими здійснювались дослідження предметної області, а також фактори, що впливають на час вільного розвитку пожежі, що підлягали детальному дослідженню. З отриманих результатів визначено основні досягнення та переваги існуючих наукових досягнень, а також не вирішені частини загальної проблеми. З огляду на отримані результати, визначено актуальний напрям перспективних досліджень щодо зменшення часу вільного розвитку пожежі шляхом формулювання задачі оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів.

Ключові слова: процес горіння, розвиток пожежі, рятувальний підрозділ, місце дислокації, задача оптимізації, час доїзду, зона обслуговування.

ANALYTICAL REVIEW OF THE METHODS AND PARAMETERS OF OPTIMIZING THE SERVICE ZONES OF RESCUE UNITS

Formulation of the problem. In view of the analysis of the subject area regarding the cause-and-effect relationships of the occurrence of fires, as well as the results of research of a number of domestic and foreign scientific schools, it can be clearly stated that the process of successful fire elimination and minimization of its consequences depends on many factors. The origin of these factors can be of different natures: human, coincidental, organizational, technical, etc. The human factor is the time to detect a fire and the promptness of reporting it to rescue units. Factors related to the time of personnel gathering, arrival at the scene and supply of fire extinguishing agents by rescue units are mostly of an organizational and technical nature. If we consider this component more deeply, then the time of rescue units' follow-up may depend on the meteorological situation, the traffic of street networks, etc., which is purely random in nature. In addition, the follow-up time largely depends on the location of the rescue unit or the condition of the street and road network. It is obvious that the sum of all factors is of the greatest importance, however, the preliminary study of the scientific problem determines the most significant factors that contribute to the minimization of the consequences of fires by reducing the time of their free development, and therefore contain precisely the organizational and technical nature. Taking into account the above, the task of developing effective organisational and technical measures to optimise the service areas of rescue units, which is aimed at reducing the duration of the free development of the burning process by reducing the arrival time of rescue units, is gaining relevance.

The work aims. Analysis of the subject area and scientific research on reducing the time of free development of non-regulatory burning processes due to the development of effective and scientifically based organisational and technical measures, as well as determining the influence of various factors on the time of rescue units to the place of call.

Main results and research methods. The analysis of the scientific results of research and publications devoted to reducing the time of free development of combustion processes (fires), in particular by determining the optimal locations for rescue units, as well as the study of the influence of individual factors on the time of arrival of units to the scene of the fire, was carried out. The current legal acts define the basic requirements for the location of rescue depots and statistical data regarding their actual location were analysed. The criterion for optimizing the location of rescue depots was determined, its optimization parameters were determined, and the target function was outlined. Analytical research methods are used in the work.

Conclusions. According to the results of the analysis of scientific achievements, the main directions in which previous studies of the subject area were carried out were established and systematised, as well as factors affecting the time of free development of fire, which were subject to detailed research. Based on the obtained results, the main achievements and advantages of existing scientific achievements, as well as unresolved parts of the general problems, were determined. In view of the obtained results, an actual direction of prospective research on reducing the time of free fire development by formulating the task of optimizing the service areas of rescue units has been determined.

Keywords: combustion process, fire development, rescue unit, location, optimization task, arrival time, service area.

Постановка проблеми.

Розвиток територіальних громад, окремих населених пунктів та територій, особливо у період воєнного стану, є складним процесом. Забезпечення доступу населення до актуальної та достовірної інформації, організація надання своєчасних послуг у сфері життєдіяльності, побуту і промисловості, організація процесів освіти і виховання, забезпечення купівельної спроможності населення і виробничих потужностей суб'єктів господарювання – це одні із основних завдань, які ставить влада та держава перед новоутвореними органами місцевої влади. Як ми розуміємо, розвиток суспільної діяльності тісно пов'язаний із нестандартними ситуаціями, ризиками та небезпеками, які можуть призводити до порушення нормальних умов життєдіяльності, що, своєю чергою, потребує своєчасного реагування. Основними суб'єктами місцевих та територіальних громад, що забезпечують виконання державної політики у сфері забезпечення безпеки життєдіяльності, є

рятувальні підрозділи різних форм підпорядкування. Очевидно, що забезпечення рівня безпеки визначеної громади залежить від наявності та місця розташування рятувального підрозділу, а також окремих чинників, що впливають на час доїзду, зокрема: погодні умови, період доби, обраний шлях, стан вулично-дорожньої мережі тощо. Виходячи з окресленого можна стверджувати, що мінімізацію часу доїзду рятувальних підрозділів, а відтак скорочення часу від моменту отримання повідомлення про подію до введення вогнегасних речовин (часу вільного розвитку пожежі), можна розв'язати шляхом вирішення оптимізаційної задачі.

Отже, попереднє вивчення проблеми визначає найбільш значущими ті фактори, які впливають на мінімізацію наслідків пожеж шляхом скорочення часу їх вільного розвитку, а відтак містять організаційно-технічний характер. Враховуючи зазначене, актуальності набуває завдання щодо розроблення ефективних організаційно-технічних заходів оптимізації зон

обслуговування рятувальних підрозділів, що орієнтоване на зменшення тривалості вільного розвитку процесу горіння шляхом зменшення часу доїзду рятувальних підрозділів. Тому одним із завдань дослідження є формулювання оптимізаційної задачі визначення екстремуму (мінімізації) часу вільного розвитку пожежі завдяки скорочення часу доїзду на основі аналітичного огляду існуючих наукових досягнень визначеної області.

Мета роботи. Основною метою роботи є аналіз предметної області та наукових досліджень щодо зменшення часу вільного розвитку пожежі завдяки розробленню ефективних і науково-обґрунтованих організаційно-технічних заходів, а також визначення впливу різноманітних факторів на час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику для формулювання оптимізаційної задачі.

Огляд досліджень та публікацій за напрямом дослідження. Як зазначено в низці робіт, зокрема [1], однією із складових тривалості пожежі, є час її вільного розвитку. Зважаючи, що основною метою роботи є дослідження параметрів, які впливають на тривалість цього процесу, далі наводимо огляд літературних джерел, наукових праць та нормативних документів, що визначають означені параметри. Досліджені параметри будуть враховані в процесі формування оптимізаційної задачі, визначенні критерію оптимізації та його параметрів, а також цільової функції [2].

Враховуючи, що процес вільного розвитку пожежі залежить від низки факторів (параметрів), про що зазначено у роботі [3], детальному дослідженню підлягали, в тій чи іншій мірі, більшість складових загальноприйнятого розрахунку часу вільного розвитку пожежі. Також не стали винятком дослідження впливу місць розташування рятувальних підрозділів на скорочення часу вільного розвитку пожежі. Так над проблемами оптимального розташування депо екстрених служб займалися Aktaş E., Özaydın Ö., Bozkaya B., Ülengin F., Önsel Ş, Erden T., Coşkun M. шляхом створення модельних середовищ в програмних ресурсах геоінформаційних систем у великих населених пунктах. Низка науковців, зокрема Sakellariou S., Samara F., Tampekis S., Sfougaris A., Christopoulou O., розробляли просторові моделі стратегічного та оперативного управління підрозділами при визначенні їх зон обслуговування.

В іншій області ця проблематика досліджувалась Bolouri S., Vafaeinejad A., Alesheikh A., Aghamohammadi H., Yin P., Mu L. Church R. L. та Li W., які в процесі розкриття проблем максимального захисту регіонів вирішували модульні ємні геодезичні задачі

інтегративними підходами створення растрових карт.

Кластерне вирішення із моделями перерозташування депо застосовували у своїх роботах McCarter A., Minieri J., Damaraju N., Padmanabhan S. та Horng D.

Розробка проектних рішень та моделювання управлінських процесів щодо діяльності рятувальних депо залежно від їх місць розташування, а також оптимізація системи їх комплексного застосування, вирішувалась науковцями Ратушним Р., Зачком О., Хмелем П., Zhenhua Z., Qing H., Тригубою А., Щербаченком О.

Розгляд проблеми зменшення часу вільного розвитку пожежі завдяки зменшенню часу слідування рятувальних підрозділів від місць їх дислокації до місця події розкривали у своїх роботах Гуліда Е., Паснак І., Кузик А., Musolino G., Polimeni A., Rindone C. та Vitetta A.

Аналіз шляху слідування, вплив різних чинників на час слідування підрозділів подається у роботах Ренкаса А., Macit I., Wang Z., Златанової С., Ємельяненка С., Черненко О., Халіпової Н., Кашканова А., Фірсова О.

Більш детальний аналіз означених праць із виділення основних параметрів, що впливають на тривалість вільного розвитку пожежі, буде представлено в першій частині викладу основного матеріалу.

Виклад основного матеріалу: аналіз предметної області. Проблему визначення місць розташування рятувальних підрозділів в процесі розробки містобудівної документації або експертизи проектної документації на нове будівництво, зокрема шляхом формування аналітичних карт генерального планування населених пунктів, представлено в праці [4]. Проте в роботі виділена лише загальна проблема, що стосується оптимізації зон обслуговування. В праці зазначено, що одними із найбільш ефективних та широко розповсюджених варіантів визначення зони обслуговування та вибору п'ятна забудови під розміщення депо рятувальних служб, під час розробки містобудівної документації, або розробки генерального планування окремих об'єктів в межах існуючих населених пунктів, є застосування низки програмного забезпечення на базі геопросторових та геоінформаційних систем. До речі, Державний земельний кадастр України також реалізовано на базі використання подібних систем.

Автори у роботі [5] розглянули процеси реалізації програмного вибору та розробки моделей максимально оптимізованих і стратегічно ефективних зон покриття, наближених до оптимального варіанта, де розміщено об'єкти культурної та історичної спадщини, для

розташування та будівництва рятувальних депо. Результатом моделювання імітаційних сценаріїв, в тому числі з відсотковим відхиленням від початкових даних, логістичних функцій прогнозування пожеж, аналізом інформаційної бази із надзвичайними ситуаціями та пожежами в

регіоні, за допомогою баз даних геоінформаційних систем розроблена математична модель та візуальний інтерфейс системи. Орієнтація системи спрямована на підтримку прийнятих рішень щодо моделювання і перевірки надійності прийнятих рішень із розміщення депо (рис. 1).

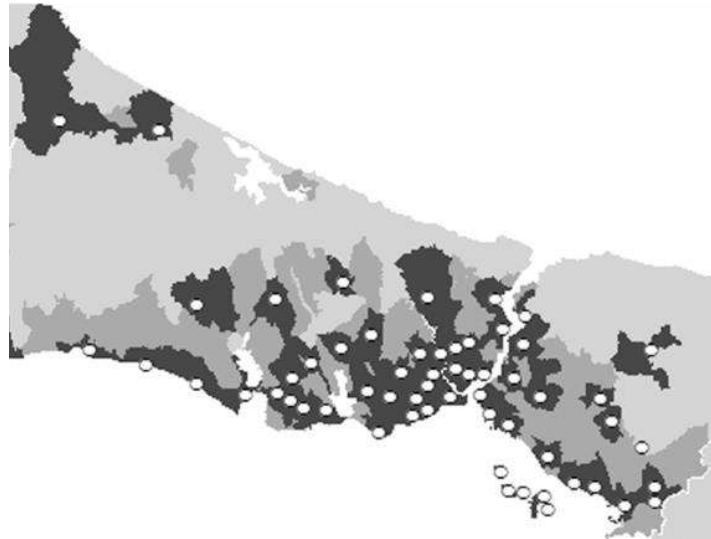


Рисунок 1 – Результати моделювання місць розташування рятувальних депо за допомогою геоінформаційних систем [5]

Деякі дослідження виділяють загальні критерії розвитку безпекової ситуації в межах об'єднаної територіальної громади шляхом розроблення концептуальної моделі управління проектами розвитку регіональних систем безпеки життєдіяльності [6]. Натомість у подібних наукових дослідженнях із використанням геоінформаційних та просторових систем та з використанням наперед закладених критеріїв вибору оптимального місця розташування [7] отримано можливість скоротити модельований середній час реагування на події з 7 до 5 хв. Скорочення часу реагування на події стало можливим завдяки інтеграції до геоінформаційного середовища певних критеріїв, а саме: щільності населення; віддаленості від магістральних транспортних сполучень; відстані до існуючих депо від змодельованих осередків події; відстані до об'єктів із процесами зберігання або використання небезпечних речовин; наявності забудови із горючих будівельних конструкцій та наявності сейсмоактивних районів в модельному просторі. Як результат досліджень, авторами запропоновано: класифікацію растрових даних, необхідних для моделювання, оболонку і шари критеріальної карти, модель розрахунку вибору місця розташування депо, передумови перенесення існуючих рятувальних підрозділів [8]. А в деяких працях додатково приділено увагу ще й технічній естетиці побутових умов проєктованих рятувальних підрозділів [9].

Просторове планування депо у населених пунктах є досить важливим завданням при плануванні безпекових середовищ і організації контролю. На теперішній час, за умови розбудови населених пунктів все частіше застосовуються моделі геоінформаційних систем для оцінки пожежних ризиків. У роботі [10] запропоновано методи оптимізації просторового розташування рятувальних підрозділів на основі оцінки ризиків. Організовані та проведені емпіричні дослідження при послідовному коригуванні даних для розрахунку. В роботі розроблені механізми, що забезпечують підтримку прийняття рішень, щодо планування географічних місць розташування пожежних підрозділів.

Оцінювання максимального часу доїзду підрозділів до об'єктів господарювання різних форм власності у населених пунктах з урахуванням їх стану пожежної безпеки [11], кількісного складу спеціальної техніки [12], якісного складу персоналу, що залучається до ліквідації [13, 14], як правило виконують на підставі визначення ризиків можливості виникнення модельних надзвичайних подій [15]. Визначення параметрів і кількісного складу ризиків, відмов комплексних заходів захисту як конструктивів, так і систем об'єкта, надає можливість прогнозування виникнення подій та запроваджувати адекватні заходи реагування на надзвичайні ситуації.

Питання визначення оптимальної чисельності та стратегічної структури рятувальних підрозділів

залежно від затребуваності регіону висвітлено у роботі [16]. Подібні дослідження проводились також у роботі [17], де запропоновано вибір шаблонів для розробки систем підтримки та прийняття рішень щодо оснащення та місць розташування пожежних депо. Автори розробили чотири шаблони виміру динаміки та зосередженості транспортних засобів для створення ефективних схем розташування депо, а також розрахунок реального і критичного часу реагування на події. Змодельований операційний вимір надає можливість реалізації цілей стратегічного планування. Заключним, анонсованим у роботі, етапом розробки системи підтримки просторових рішень – є операційна модель оптимального розташування депо, влаштування ефективного інформаційного зв'язку із підрозділами з можливістю активації і ведення оперативних підрозділів до місця виклику, визначення оптимального маршруту та його зміна за необхідності.

Упорядкування ємнісних багатоцільових задач із розподілу оперативних завдань та розташування рятувальних депо на основі цільових функцій впорядкування ємних проблем виконано у роботі [18]. Фактичні показники виконання рятувальних робіт включено як елементи алгоритму визначення параметрів рятувальних підрозділів. Автори на підставі алгоритмів використання існуючих депо та моделювання подій із виконання рятувальних робіт отримали багатоцільову функцію набору альтернативних рішень, і реалізували метод

ранжування об'єктів для визначення ефективності прийняття рішень щодо необхідності влаштування на окремих територіях додаткових депо.

Задачу у вигляді змішаного цілочисельного програмування щодо моделювання станцій оперативних служб з врахуванням оперативного доїзду на пожежі розкрито у роботі [19]. У роботі розглянуто наявні моделі оптимального розташування нових депо в поєднанні з існуючими станціями, наведено принципи кодування модифікованого бінарного генетичного алгоритму. За свідченням авторів, використання модифікованого генетичного алгоритму дозволяє визначати місця дислокації рятувальних депо значно точніше за бінарні алгоритми, та надає більш об'єктивну картину місць розташування підрозділів.

Інтегративний підхід з елементами інформаційного пошуку, базами геоінформаційних систем і просторової оптимізації для оцінки ефективності рятувальних служб використано у роботі [20]. Процес інформаційного пошуку з метою визначення фактичних і можливих моделей розгортання рятувальних служб представлено на рисунку 2. Використання, у проведеній роботі, просторової оптимізації дає змогу оцінити рівень покриття зон захисту рятувальними службами. Використання процесів накладання фактичних і проєктованих зон захисту надає можливість визначити необхідну кількість депо, оптимізувати наявні депо та автоматизувати моделювання містобудівного планування в контексті розвитку рятувальних служб.

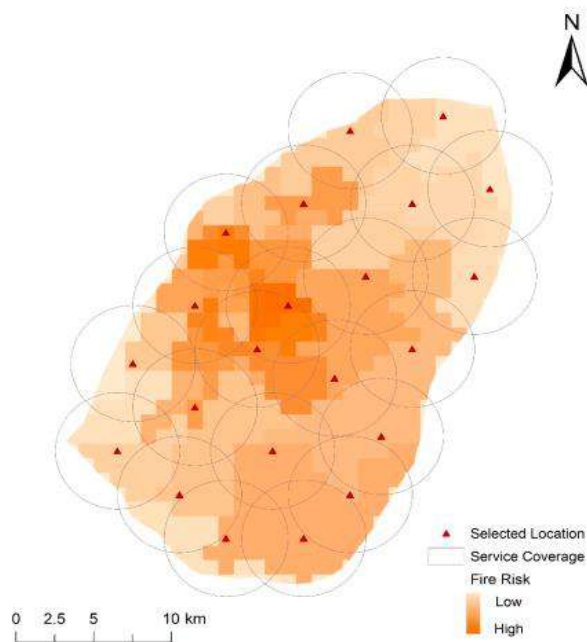


Рисунок 2 – Модель розгортання рятувальних служб шляхом просторової оптимізації [20]

У роботі [21] вирішено питання захисту територій шляхом оптимального розміщення екстрених служб. В означеній праці розподілено

вимоги (критерії), за якими із використанням геоінформаційних систем пропонується створення переліку екстрених служб, що, своєю чергою,

базується на вартісних і культурних оцінках наявних об'єктів в зоні дослідження. У проведених дослідженнях наголошується на неможливості виключення вартісного критерію із просторових моделей визначення оптимальних місць розташування. Цей критерій враховується поряд із кількісними показниками густоти заселення, розташованих об'єктів на визначеній території тощо.

Однією із важливих функцій у населених пунктах, з огляду на зростання сельбищних та промислових територій в межах міст, окреслено захист територій від пожеж та їх наслідків [22, 23]. У зазначених дослідженнях визначено цілі та завдання стратегічного планування захисту від пожеж та надзвичайних ситуацій, організації реагування на них, а також деталізовано підходи до моделювання підрозділів. Результатами досліджень визначено переоцінку існуючої системи моделювання і планування безпеки, розширення об'єму безпекових послуг, можливе зменшення техніки шляхом її локалізації на важливих ділянках.

Можливим варіантом удосконалення процесів реагування на пожежі є зменшення відстаней від пожежних депо до місць виникнення ймовірних подій [24, 25]. Здійснення прогнозування часу реагування на події запропоновано виконувати з урахуванням кластеризації територій. Щоб покращити безпеку територій запропоновано проаналізувати фактичне розташування підрозділів з інтерактивним процесом відкриття і закриття змодельованих рятувальних депо, для визначення об'єктивного часу реагування на подію. В означених працях отримано низку висновків: методологія геопросторової системи не є ідеальною і допускає помилки в моделюванні; інструментарій геоінформаційних систем працює лише із відкритими кодами; стандартний час реагування на подію не збігається із модельованим; окремі модельовані території демонструють суттєву різницю часу доїзду підрозділів до місця події.

Забезпечення безпеки громадян, територій, об'єктів у разі виникнення небезпечних чинників, шляхом організації діяльності добровільних формувань представлено у роботах [26, 27]. Дослідники розкрили низку проблем, пов'язаних із визначенням кількісного показника персоналу, обґрунтуванням критеріїв для прийняття рішень, послідовністю здійснення реагування на події та мінімізації впливу на суспільство. В наукових працях розроблено рекомендації із забезпечення набору інструментів для перспективного підходу до планування і захисту населених пунктів на базі волонтерських організацій та добровільних формувань.

Здійснюючи всебічний аналіз критеріїв безпеки

безпеки в населених пунктах, організації регіональних безпекових функцій, влаштування схем організації дорожнього руху тощо, можна зробити певні висновки про ефективність функціонування рятувальних підрозділів. Відповідно до комплексної оцінки територій та оцінки ризику настання небезпечних подій, у тому числі на транскордонних ділянках, можна виокремити ключові підходи до проектування зон організації захисту населення та територій [28, 29, 30]. Зважаючи на результати проведених робіт, автори запропонували моделі ризику пожеж з урахуванням просторово-часового розподілу пожежонебезпечних сезонів та територій. Також доволі важливим фактором впливу на час вільного розвитку пожежі, у означених працях, названо час слідування від місця постійної дислокації рятувальних підрозділів до місця події.

Шлях слідування транспортних засобів екстрених служб, при розрахунках та моделюванні задач із зменшення часу вільного розвитку пожежі, прийнято вважати як еталонний час у дорозі. Проте зважаючи на відмінність і особливості спеціалізованої техніки, особливості вулично-дорожніх мереж, зміну кількісного і якісного показника автомобілів у транспортному потоці, продуктивність вибраного маршруту, можливість здійснення екстреного випередження [31] виникає потреба у включенні до розрахунків визначення часу слідування додаткових чинників, які впливатимуть на кінцеві параметри. За допомогою алгоритмів Дейкстри, Гауса результати розрахунку контролю транспортних засобів [32] були суттєво наближені до стандартних параметрів руху.

Так, один із методів вибору оптимального маршруту слідування пожежної техніки від депо до місця виклику, що базується на графових моделях, розглядалась у роботах [33, 34, 35], що вказує на суттєве скорочення часу слідування у модельованих ситуаціях. Відповідно до результатів теоретичних досліджень та розрахунків, автори зазначили, що в середньому час вільного розвитку пожежі, з урахуванням прорахованих факторів оптимізації часу слідування підрозділів, скорочується на 7%.

Методи, що дають змогу враховувати проблему взаємодії системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» під час виконання досліджень тривалості слідування, представлені у роботах [36, 37]. В наукових працях також розглянуто сукупність чинників, що впливають на площу пожежі на момент прибуття рятувальних підрозділів до місця події. Авторами зазначено вплив параметрів дорожньо-вуличної мережі на швидкість руху, організацію і забезпечення безпеки учасників руху під час оперативного

переміщення техніки до місця події, вибір потенційно нескладних та безпечних маршрутів руху. Вирішення завдань моделі «водій – автомобіль – дорога – середовище» потребує суттєвого розгляду конфліктних точок транспортних та пішохідних потоків [38, 39], а також організації процесів дорожнього руху.

Вирішення конфліктних ситуацій в схемах організації дорожнього руху у [40, 41, 42], і як наслідок зменшення часу слідування до місця виклику пожежних автомобілів, полягає у ретельному аналізі інтенсивності руху транспортних потоків, параметрів організації регулювання транспортних сполучень, оперативному реагуванню на наявність корків на шляху слідування техніки, організації об'їзду черг транспорту в місцях інтенсивного пішохідного руху та паркування. Результатом розв'язків модельованих задач, оптимізації процесів організації дорожнього руху, в тому числі, і за допомогою методу Монте-Карло, розроблено ряд інформаційних програм сповіщення диспетчерів рятувальних служб про ускладнення, що надає можливість розрахувати затримку в дорозі або перепрограмувати маршрут слідування.

Факт швидкого зростання кількості транспортних засобів і, як наслідок, утворення заторів, які блокують дорожньо-вуличні транспортні мережі, потребує ретельного збору, класифікації, планування та оперативної обробки інформації про дорожній рух і, як наслідок, організації процесів адаптивного керування сигналами світлофорів на шляху слідування підрозділів екстрених служб. Схеми вузлів аналізу автомобільного трафіку потребують відповідного керування персоналом [43] і, як наслідок, оперативного втручання. Модельні задачі наявності або відсутності зв'язку у [44], обробка важливої для екстрених служб інформації, визначення пріоритету критичності [45] шляху слідування, дають можливість визначити перспективні алгоритми маршруту слідування і відповідно проходити завантажені відрізки у найкоротший час.

Одним із варіантів оптимізації управління заторами на транспортних сполученнях є використання інтелектуальних агентів моніторингу руху транспортних засобів, їх швидкості, класифікації транспортного сполучення та дослідження світлофорної сигналізації перехресть. Використання модельних агентів із розпізнаванням екстреного транспорту та надання йому переваг у русі розглянуто у [46, 47]. Обґрунтування розробки алгоритмів для керування світлофорною сигналізацією розраховано для перехресть із постійним регулюванням при максимально інтенсивних потоках транспорту.

Авторами зазначено, що при розробці алгоритмів регулювання, обов'язковим є врахування вузлів перетину різних транспортних мереж [48, 49], оскільки затримка основних або екстрених транспортних потоків, на відміну від вторинних, може стати критичною.

Упорядкування та вдосконалення процесів розвитку регіональних систем безпеки, тобто місцевої та добровільної пожежної охорони, в умовах сучасності є доволі дієвим засобом як місцевої влади, так і територіальних громад, організації безпекових середовищ [50], і, як наслідок, зменшення часу вільного розвитку пожежі.

У [51] з урахуванням імітаційних моделей функціонування систем запропоновано шляхи розвитку зазначених видів пожежної охорони, як складової розвитку різних галузей господарювання. Рішення, щодо управління та розвитку регіональних систем безпеки, пропонується моделювати з використанням ціннісних показників, стратегії розвитку територій, а також особливостей можливих небезпек.

Виклад основного матеріалу: обговорення результатів інформаційно-аналітичних досліджень. Формування оптимізаційної задачі.

Аналізом методів оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів та особливостями їх застосування встановлено низку критеріїв оптимізації, які досліджувались в контексті підвищення ефективності діяльності рятувальних служб. Проте в задачі багатокритеріальної оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів деякі якісні критерії доцільно перевести у кількісний показник та визначити їх як обмеження. Розглянемо детальніше. Визначення зон обслуговування рятувальних підрозділів залежить від часу слідування рятувальними підрозділами до місця ймовірної події за визначений нормативний час. Відповідно, до множини критеріїв оптимізації можна віднести: час виявлення та повідомлення про пожежу; час збору та виїзду; час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику тощо. Узагальнивши зазначені критерії для більш повної характеристики об'єкта дослідження, задача оптимізації буде зведена до однокритеріальної (скалярної). Зведення багатокритеріальної задачі до скалярної здійснено за допомогою методу головної компоненти з метою спрощення процедури пошуку екстремуму цільової функції. В якості головного критерію (компоненти) обрано час вільного розвитку пожежі, який включає в себе усі часові періоди від повідомлення про пожежу до введення перших вогнегасних засобів. Відтак, за умови обрання головного критерію, усі решта критеріїв зводяться до обмежень (не перевищуючи нормативного часу).

В окремих працях [52] висвітлені науково-обґрунтовані підходи щодо зонування та визначення місць дислокації рятувальних підрозділів. Проте в цій та інших працях основна ідея зводиться до категорювання окремих територій за пожежонебезпекою залежно від місць розташування рятувальних підрозділів.

Повертаючись до процесів розробки містобудівної та проектної документації, зазначених у п. 15.1.3 ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій», вимог, щодо визначення радіусу району виїзду дорогами загального користування та розрахункового часу

прибуття підрозділів до місця виклику дорогами загального користування, в учасників містобудівної діяльності постає питання: яким чином необхідно виконувати проектні рішення з урахуванням розширення площ населених пунктів, зміни інфраструктури та транспортного сполучення? Існує певна сукупність параметрів (чинників) впливу на модельовані та фактичні параметри безпечних зон. За результатами аналітичного огляду наукових праць, встановлено низку таких параметрів (чинників) та їх складових, що впливають на критерій оптимізації. Її узагальнення знайшло відображення на рисунку 4.

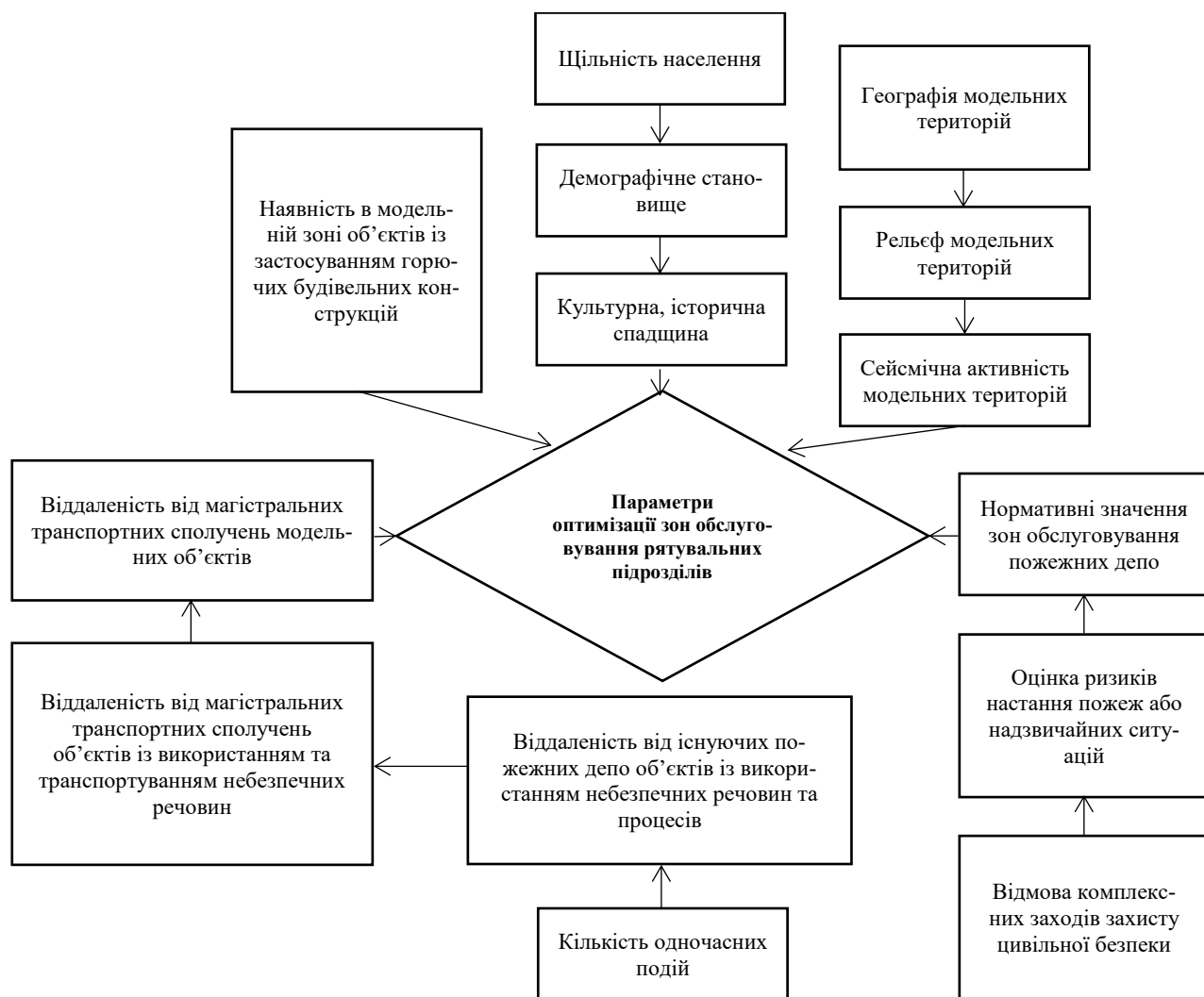


Рисунок 4 – Параметри оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів

При розробці містобудівної документації і визначенні меж зон обслуговування рятувальних підрозділів також необхідно враховувати щільність і поверховість забудови, наявність природних перешкод (річки, озера, лісові масиви і насадження, ерозійні процеси земляних мас, різкі зміни рельєфних відміток тощо) і їх об'їзних шляхів, наявність і кількість об'єктів промислового комплексу, житлового та громадського фонду, а саме їх насиченість у окремих територіях. Крім того,

питання необхідної чисельності спеціальної техніки та персоналу розглядались поверхнево та у більшості робіт не враховувались.

Низкою теоретичних та експериментальних праць, які орієнтовані на дослідження часу доїзду рятувальних підрозділів від місця дислокації до місця події, окреслено вплив сукупних факторів під час слідування. Огляд факторів (чинників) впливу на час доїзду підрозділів рятувальних служб узагальнено на рисунку 5.



Рисунок 5 – Параметри впливу на час слідування рятувальних підрозділів

Відповідно до визначених параметрів, одними із визначальних критеріїв зменшення часу вільного розвитку пожежі є час слідування рятувальної техніки до місця виклику і маршрутизація [53, 54]. Своєю чергою, на швидкість руху рятувальної техніки впливає низка організаційно-технічних заходів, які розглянемо далі.

Зважаючи на основне завдання досліджень та визначені параметри оптимізації, сформульовано скалярну оптимізаційну задачу, яка полягає у мінімізації часу вільного розвитку пожежі шляхом скорочення часу слідування рятувальних підрозділів до місця виклику. Час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику залежить від низки параметрів, вирішальними з яких є: відстань від рятувального депо до найвіддаленішого пункту зони обслуговування; швидкість руху рятувальної техніки, яка залежить від технічних характеристик автомобілів, періоду доби, погодних умов, стану (категорійності) транспортно-дорожньої мережі. Вирішення цієї задачі загалом орієнтоване на оптимізацію зон обслуговування рятувальних підрозділів. Адже зменшення часу слідування рятувальних підрозділів безпосередньо впливатиме на районування зон відповідальності рятувальних підрозділів, шляхом визначення досяжності прибуття підрозділів до місця ймовірної пожежі у межах нормативного показника.

Із урахуванням критерію оптимізації (зменшення часу вільного розвитку пожежі) та означених параметрів оптимізації, постає питання щодо побудови цільової функції, яка представлена виразом (1):

$$T = f(p_1, p_2) \rightarrow \min \quad (1)$$

де p_1 – відстань від рятувального депо до найвіддаленішого населеного пункту зони обслуговування; p_2 – швидкість руху рятувальної техніки, яка, своєю чергою, описується функціональною залежністю обмежень (2):

$$p_2 = f(k_1, k_2, k_3, k_4), \quad (2)$$

k_1 – обмеження швидкості технічними характеристиками автомобіля; k_2 – обмеження швидкості залежно від періоду доби; k_3 – обмеження швидкості залежно від погодних умов; k_4 – обмеження швидкості умовами транспортно-дорожньої мережі.

Зважаючи на описану цільову функцію та обмеження її параметрів, необхідно побудувати математичну модель залежності критерію оптимізації від її параметрів. Формулювання та опис цієї моделі із використанням методів регресійного аналізу, а також розв'язок самої оптимізаційної задачі, є предметом подальших досліджень. Визначення обмежень параметрів

оптимізації та їх вплив на критерій потребує проведення як теоретичних так і емпіричних досліджень, що також є окремими складовими подальших досліджень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Інформаційно-аналітичний огляд наукових досягнень галузі навів на такі висновки:

1. Шляхом аналітичного огляду наукових досліджень предметної області встановлені фундаментальні досягнення щодо застосування методів визначення зон обслуговування рятувальних підрозділів, що дозволило виділити основні критерії та параметри оптимізації часу вільного розвитку пожежі, а також сформулювати завдання подальших досліджень.

2. На основі аналітичних досліджень параметрів оптимізації часу вільного розвитку пожежі описана цільова функція та її обмеження, що лягає в основу математичної моделі визначення екстремуму критерію оптимізації.

Список літератури:

1. Паснак І. Вплив критичного часу пожежі в приміщенні промислового підприємства на технології її ліквідації. Науковий вісник НЛТУ. 2012. Вип. 22.6. С. 103-114.

2. Придатко О., Смотр О., Мартин Є., Придатко В., Солотвінський І. Оптимізація методів теорії масового обслуговування для вирішення прикладних завдань розвитку регіональних систем безпеки життєдіяльності. Системи обробки інформації. 2019. Вип. 2 (157). С. 146-152.

3. Паснак І. Розкриття особливостей впливу організаційних чинників на тривалість вільного розвитку пожежі. Науковий вісник НЛТУ. 2014. Вип. 24.3. С. 372-377.

4. Pérez J., Maldonado S., Pérez J., Marianov V. A reconfiguration of fire station and fleet locations for the Santiago Fire Department. International Journal of Production Research. 2016. Vol. 54(11). P. 3170-3186.

5. Aktaş E., Özyayın Ö., Bozkaya B., Ülengin F., Önsel Ş. Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. Interfaces. 2013. Vol. 43(3). P. 240-255.

6. Придатко О., Солотвінський І., Кокотко І., Івановський М. Модель портфельного управління проектами розвитку регіональних систем безпеки життєдіяльності. Управління розвитком складних систем. зб. наук. праць Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, гол. ред. Лізунов П. П. КНУБА. 2018. № 36. С. 42-50.

7. Erden T., Coşkun M. Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. Vol. 10. P. 2127–2134.

8. Tali J., Malik M., Divya S., Nusrath A., Mahalingam B. Location-Allocation model applied to

urban public services: Spatial analysis of fire stations in Mysore urban area Karnataka, India. International Journal of Advanced Research and Development. 2017. Vol. 2(5). P. 795-801.

9. Мартин Є., Небелюк В. Оптимізація побутових умов у пожежних частинах місцевої пожежної охорони об'єднаних територіальних громад. Науковий вісник ТДАТУ. 2018. Вип. 8, том 2. С. 1-8.

10. Zhou J. Research on Layout Optimization Method of Urban Fire Station based on Fire Risk. Assessment In Advanced Materials Research. 2014. Vol. 838. P. 2162-2169.

11. Кузик А., Ємельяненко С. Оцінювання часу слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця пожежі. Пожежна безпека. 2013. Вип. 23. С. 86-92.

12. Ємельяненко С., Харчук А., Міллер О., Мартин О. Аналіз пожежних ризиків для висотних та багатоповерхових житлових будинків міста Львів. Пожежна безпека. 2015. Вип. 27. С. 57-63.

13. Бурак Н. Управління проектом підготовки рятувальників для ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах невизначеності. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, ЛДУ БЖД. 2015. 24с.

14. Придатко О. Моделі та методи управління програмою освітніх проектів підготовки рятувальників. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, ЛДУ БЖД. 2014. 21с.

15. Гуліда Е., Мовчан І., Васильєв М. Методологія прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій в містах з урахуванням ризиків. Пожежна безпека. 2019. Вип. № 35. С. 16-22.

16. Prydatko O., Popovych V., Malets I., Prydatko V., Solotvinskyi I. Algorithm of rescue units logistic support planning in the process of regional life safety systems development. MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 294. P. 1-7.

17. Sakellariou S., Samara F., Tampekis S., Sfougaris A., Christopoulou O. Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for the active forest-urban fires management through location planning of mobile fire unit. Environmental Hazards. 2019. Vol. 19(2). P. 131-151.

18. Bolouri S., Vafaeinejad A., Alesheikh A., Aghamohammadi H. The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2018. Vol. 7(2). [Електронний ресурс].

19. Macit I. Solving fire department station location problem using modified binary genetic algorithm: a case study of Samsun of Turkey. European Scientific Journal. 2015. Vol. 11. P. 10–25.

20. Church R., Li W. Estimating spatial efficiency using cyber search, GIS, and spatial optimization: a case study of fire service deployment in Los Angeles

County. *International Journal of Geographical Information Science*. 2016. Vol. 30(3). P. 535-553.

21. Yin P., Mu L. Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. *Applied Geography*. 2012. Vol. 34. P. 247–254.

22. Murray A. Optimising the spatial location of urban fire stations. *Fire Safety Journal*. 2013. Vol. 62. P. 64–71.

23. Renkas A., Popovych V., Dominik A. Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2021. Vol. 2 (446). P. 144 – 150.

24. Das S., McCarter A., Minieri J., Damaraju N., Padmanabhan S., Horng (Polo) D. ISPAK: Interactive Visual Analytics for Fire Incidents and Station Placement. *Chau Georgia Tech*. 2016. P. 29-36.

25. Мартин Є., Малець І., Лебедев М. Геометричне моделювання областей параметрів пожежно-технічних систем. *Науковий вісник ЛНТУ Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2011. Вип. 6. С.164 – 167.

26. Degel D., Wiese L., Rachuba S., Werners B. Reorganizing an existing volunteer fire station network in Germany. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2014. Vol. 48(2). P. 149-157.

27. Pereira P., Mierauskas P., Úbeda X., Mataix-Solera J., Cerda A. Fire in Protected Areas - the Effect of Protection and Importance of Fire Management. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2012. Vol. 1(59). P. 52-62.

28. Dong X., Li Y., Pan Y., Huang Y., Cheng X. Study on urban fire station planning based on fire risk assessment and GIS technology. *Procedia engineering*. 2018. Vol. 211. P. 124-130.

29. Хмель П., Мартин Є. Геометричні засоби багатовимірнього простору в проектно-орієнтованому управлінні транскордонними оперативнорятувальними підрозділами. *Математика. Геометрія. Інформатика*. 2014. С. 221-239.

30. Хмель П., Мартин Є. Моделювання процесів проектно-орієнтованого управління пожежнорятувальними підрозділами транскордонних територій. *Пожежна безпека*. 2014. Вип. 9. С.123-129.

31. Jiawen W., Meiping Y., Wanjing M., Xiaoguang Y. Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 96. P. 2147-2158.

32. Zhenhua Z., Qing H., Jizhan G., Xiaoling L. Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles. *Transportation Research Part C. Emerging Technologies*. 2016. Vol. 65. P. 97-110.

33. Гуліда Е. Зменшення тривалості вільного розвитку пожежі на основі оптимізації шляху

слідкування пожежних до місця її виникнення. *Пожежна безпека*. 2013. Вип. 23. С. 64-70

34. Hulida E., Pasnak I., Vasilyeva E. Methodology for Reducing the Duration of the Free Development of Fire. *ВіТР*. 2017. Vol. 48 (4). P. 80–87.

35. Гуліда Е., Ренкас А. Вплив пожеж на екологічну безпеку навколишнього середовища. *Науковий вісник НГУ*. 2014. Вип. 5. С. 91-100.

36. Паснак І. Розкриття особливостей впливу параметрів вулично-дорожньої мережі на тривалість слідкування та безпеку руху спеціальних транспортних засобів. *Пожежна безпека*. 2015. Вип. 12. С. 209-216.

37. Паснак І., Придатко О., Гаврилюк А., Колеснікова А., Гангур Ю. Аналіз чинників впливу на тривалість слідкування пожежного автомобіля до місця виклику. *Науковий вісник НЛТУ*. 2016. Вип. 26.1. С. 286-291.

38. Черненко А., Халіпова Н., Леснікова І. Щодо моделювання транспортних потоків для аналізу завантаженості доріг в містах. *Збірник наукових праць ДНУЗТ. Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. Вип.12. С. 90-98.

39. Кашканов А., Пальчевський О. Проблеми функціонування транспортних систем великих міст України в сучасних умовах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. Вип. 1(18). С. 87-97.

40. Pasnak I., Renkas A. Optimization of the duration of emergency vehicle movement to the place of fire. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15 (4 Part 1). P. 117-124.

41. Musolino G., Polimeni A., Rindone C., Vitetta A. Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 87. P. 193-202.

42. Хмель П., Мартин Є., Полотай О. Управління освітніми проектами створення та захисту інформації супровідної документації забезпечення діяльності транскордонних оперативнорятувальних підрозділів. *Пожежна безпека*. 2014. Вип. 10. С.142-150.

43. Придатко О., Паснак І. Дослідження інтеграційних процесів запровадження ІТ-технологій підготовки фахівців гірничорятувальних підрозділів. *Науковий вісник НГУ*. 2017. Вип. 1. С. 108-113.

44. Wang Z., Zlatanova S., Moreno A., Oosterom P., Toro C. A data model for route planning in the case of forest fires. *Computers & Geosciences*. 2014. Vol. 68. P. 1-10.

45. Shelke M., Malhotra A., Mahalle P. Fuzzy priority based intelligent traffic congestion control and emergency vehicle management using congestion-aware routing algorithm. *Journal of Ambient Intell Human Comput*. 2019. [Електронний ресурс].

46. Karthikeyan T., Bhuvaneswari N., Sujatha S. Traffic Handling Approach with Intelligent Speed

Control and Prioritization of Emergency Vehicles using PCM Agent. *International Journal of Computer Technology and Application (IJCTA)*. 2012. Vol. 3(4). P. 1545-1549.

47. Хмель П., Підгородецький Я., Оленюк Ю., Мартин Є. Об'єктно-орієнтоване управління проектами маршрутних перевезень засобами GPS- моніторингу. *Пожежна безпека*. 2013. Вип. 8. С.101-106.

48. Pasnak I., Renkas A. Justification of traffic signaling modes at intersections considering the priority of public transport. *Transport technologies*. 2021. P. 13-24.

49. Григорук С., Лісцина М. Оптимізаційна модель розподілу транспортних потоків та підвищення їх пропускної здатності на регульованому перехресті. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. Вип. 4. С. 196-201.

50. Ковальчук О., Зачко О. Моделі життєвого циклу розвитку проєктних команд в системі цивільного захисту. *Вісник ЛДУБЖ*. 2022. Вип. 25. С. 71-78.

51. Щербаченко О. Обґрунтування сценаріїв розвитку систем пожежогасіння об'єднаних територіальних громад. *Вісник ЛДУБЖД*. 2018. Вип. 17. С. 14-22.

52. Ратушний Р. Системний підхід до структурування портфелів проєктів розвитку територіальних пожежно-рятувальних формувань. *Вісник ЛДУБЖД*. 2019. Вип.19. С. 44-50.

53. Гащук Л., Гащук П., Домінік А., Сичевський М. Енергоощадні аспекти застосування cruise-керування автомобільною аварійно-рятувальною технікою. *Пожежна безпека*. 2022. Вип. 40. С. 40-54.

54. Гащук Л., Гащук П. Принципи маршрутизації дрібногуртових автомобільних перевезень. *Вісник ЛДУБЖД*. 2023. Вип. 27. С. 150-157.

References:

1. Pasnak I. (2012). Vplyv krytychnoho chasu pozhezhi v prymishchenni promyslovoho pidpryyemstva na tekhnolohiyi yiyi likvidatsiyi. *Naukovyy visnyk NLTU*. Vyp. 22.6. pp. 103-114.

2. Prydatko O., Smotr O., Martyn YE., Prydatko V., Solotvins'kyi I. (2019). Optymizatsiya metodiv teorii masovoho obsluhovuvannya dlya vyrishennya prykladnykh zavdan' rozvytku rehional'nykh system bezpeky zhyttyediyal'nosti. *Systemy obrobky informatsiyi*. Vyp. 2 (157). pp. 146-152.

3. Pasnak I. (2014). Rozkryttya osoblyvostey vplyvu orhanizatsiynykh chynnykiv na tryvalist' vil'noho rozvytku pozhezhi. *Naukovyy visnyk NLTU*. Vyp. 24.3. pp. 372-377.

4. Pérez J., Maldonado S., Marianov V. (2016). A reconfiguration of fire station and fleet locations for the Santiago Fire Department. *International*

Journal of Production Research. Vol. 54 (11). pp. 3170-3186.

5. Aktaş E., Özaydın Ö., Bozkaya B., Ülengin F., Önsel Ş. (2013). Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. *Interfaces*. 2013. Vol. 43(3). pp. 240-255.

6. Prydatko O., Solotvins'kyi I., Kokotko I., Ivanovs'kyi M. (2018). Model' portfel'noho upravlinnya proektamy rozvytku rehional'nykh system bezpeky zhyttyediyal'nosti. *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*. Zb. nauk. prats' Kyiv. nats. un-t bud-va i arkhitektury; hol. red. Lizunov P. P. Kyiv. KNUBA, 2018. № 36. pp. 42-50.

7. Erden T., Coşkun M. (2010). Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 10. pp. 2127-2134.

8. Tali J., Malik M., Divya S., Nusrath A., Mahalingam B. (2017). Location-Allocation model applied to urban public services: Spatial analysis of fire stations in Mysore urban area Karnataka, India. *International Journal of Advanced Research and Development*. Vol. 2(5). pp. 795-801.

9. Martyn YE., Nebelyuk V. (2018). Optymizatsiya pobutovykh umov u pozheznykh chastynakh mistsevoyi pozhezhnoyi okhorony ob'yednanykh terytorial'nykh hromad. *Naukovyy visnyk TDATU*. Vyp. 8, tom 2. pp. 1-8.

10. Zhou J. (2014). Research on Layout Optimization Method of Urban Fire Station based on Fire Risk. *Assessment In Advanced Materials Research*. Vol. 838. pp. 2162-2169.

11. Kuzyk A., Yemel'yanenko S. (2013). Otsynuvannya chasu sliduvannya pozhezho-ryatuvai'nykh pidrozdiliv do mistysya pozhezhi. *Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD*. Pozhezha bezpeka. Vyp. 23. pp. 86-92.

12. Yemel'yanenko S., Kharchuk A., Miller O., Martyn O. (2015). Analiz pozheznykh ryzykiv dlya vysotnykh ta bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv mista L'viv. *Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD*. Pozhezha bezpeka. Vyp. 27. pp. 57-63.

13. Burak N. (2015). Upravlinnya proektom pidhotovky ryatuvai'nykh dlya likvidatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy v umovakh nevyznachenosti. *Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.13.22 upravlinnya proektamy ta prohramamy*. L'viv, LDUBZHD. 24 p.

14. Prydatko O. (2014). Modeli ta metody upravlinnya prohramoyu osvitykh proektiv pidhotovky ryatuvai'nykh. *Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.13.22 upravlinnya proektamy ta prohramamy*. L'viv, LDU BZHD. 21 p.

15. Hulida E., Movchan I., Vasylyev M. (2019). Metodolohiya prohnozuvannya vynyknennya nadzvychaynykh sytuatsiy v mistakh z urakhuvanniam ryzykiv. *Zbirnyk naukovykh prats'*

LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. № 35. pp. 16-22.

16. Prydatko. O., Popovych V., Malets I., Prydatko V., Solotvinskyi I. (2019). Algorithm of rescue units logistic support planning in the process of regional life safety systems development. MATEC Web of Conferences. Vol. 294. pp. 1-7.

17. Sakellariou S., Samara F., Tampekis S., Sfougaris A., Christopoulou O. (2019). Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for the active forest-urban fires management through location planning of mobile fire unit. Environmental Hazards. Vol. 19(2). pp. 131-151.

18. Bolouri S., Vafaeinejad A., Alesheikh A., Aghamohammadi H. (2018). The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. ISPRS International Journal of Geo-Information. Vol. 7(2). [Електронний ресурс].

19. Macit I. (2015). Solving fire department station location problem using modified binary genetic algorithm: a case study of Samsun of Turkey. European Scientific Journal. Vol. 11. P. 10–25.

20. Church R., Li W. (2016). Estimating spatial efficiency using cyber search, GIS, and spatial optimization: a case study of fire service deployment in Los Angeles County. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 30(3). pp. 535-553.

21. Yin P., Mu L. (2012). Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. Applied Geography. Vol. 34. pp. 247–254.

22. Murray A. (2013). Optimising the spatial location of urban fire stations. Fire Safety Journal. Vol. 62. pp. 64–71.

23. Renkas A., Popovych V., Dominik A. (2021). Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. Vol. 2 (446). pp. 144–150.

24. Das S., McCarter A., Minieri J., Damaraju N., Padmanabhan S., Horng (Polo) D. (2016). ISPAK: Interactive Visual Analytics for Fire Incidents and Station Placement. Chau Georgia Tech. pp. 29-36.

25. Martyn YE., Malets' I., Lebedyev M. (2011). Heometrychne modelyuvannya oblastey parametriv pozhezhno- tekhnichnykh system. Naukovyy visnyk LNTU Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo. Vyp. 6. pp.164-167.

26. Degel D., Wiesche L., Rachuba S., Werners B. (2014). Reorganizing an existing volunteer fire station network in Germany. Socio-Economic Planning Sciences. Vol. 48(2). pp. 149-157.

27. Pereira P., Mierauskas P., Úbeda X., Mataix-Solera J., A. (2012). Cerda Fire in Protected Areas - the

Effect of Protection and Importance of Fire Management. Environmental Research, Engineering and Management. Vol. 1(59). pp. 52-62.

28. Dong X., Li Y., Pan Y., Huang Y. (2018). Cheng Study on urban fire station planning based on fire risk assessment and GIS technology. Procedia engineering. Vol. 211. pp. 124-130.

29. Khmel' P., Martyn YE. (2014). Heometrychni zasoby bahatovymirnogo prostoru v proektno-oriyentovanomu upravlinni transkordonnykh operatyvno-ryatuval'nykh pidrozdilamy. Matematyka. Heometriya. Informatyka. pp. 221-239.

30. Khmel' P., Martyn YE. (2014). Modelyuvannya protsesiv proektno-oriyentovanoho upravlinnya pozhezhno-ryatuval'nykh pidrozdilamy transkordonnykh terytoriy. Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. 9. pp.123-129.

31. Jiawen W., Meiping Y., Wanjing M., Xiaoguang Y. (2013). Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control. Procedia – Social and Behavioral Sciences. Vol. 96. pp. 2147-2158.

32. Zhenhua Z., Qing H., Jizhan G., Xiaoling L. (2016). Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 65. pp. 97-110.

33. Hulida E. (2013). Zmenshennya tryvalosti vil'noho rozvytku pozhezhi na osnovi optymizatsiyi shlyakhu sliduvannya pozhezhnykh do mistysya yiyi vynyknennya. Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. 23. pp. 64-70.

34. Hulida E., Pasnak I., Vasilyeva E. (2017). Methodology for Reducing the Duration of the Free Development of Fire. BiTP. Vol. 48 (4). pp. 80–87.

35. Hulida E., Renkas A. (2014). Vplyv pozhezh na ekolohichnu bezpeku navkolyshn'oho seredovyscha. Naukovyy visnyk NHU. Vyp. 5. pp. 91-100.

36. Pasnak I. (2015). Rozkryttya osoblyvostey vplyvu parametriv vulychno-dorozhn'oyi merezhi na tryvalist' sliduvannya ta bezpeku rukhu spetsial'nykh transportnykh zasobiv. Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. 12. pp. 209-216.

37. Pasnak I., Prydatko O., Havrylyuk A., Kolesnikova A., Hanhur YU. (2016). Analiz chynnykiv vplyvu na tryvalist' sliduvannya pozhezhnoho avtomobilya do mistysya vyklyku. Naukovyy visnyk NLTU. Vyp. 26.1. pp. 286-291.

38. Chernenko A., Khalipova N., Lesnikova I. (2016). Shchodo modelyuvannya transportnykh potokiv dlya analizu zavantazhenosti doriyv mistakh. Zbirnyk naukovykh prats' DNUZT. Transportni systemy ta tekhnolohiyi perevezhen'. Vyp.12. pp. 90-98.

39. Kashkanov A., Pal'chevs'kyy O. (2022). Problemy funktsionuvannya transportnykh system velykykh mist Ukrainy v suchasnykh umovakh. Suchasni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni ta transporti. Vyp. 1(18). pp. 87-97.

40. Pasnak I., Renkas A. (2020). Optimization of the duration of emergency vehicle movement to the place of fire. *Transport Problems*. Vol. 15 (4 Part 1). pp. 117-124.
41. Musolino G., Polimeni A., Rindone C., Vitetta A. (2013). Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Vol. 87. pp. 193-202.
42. Khmel' P., Martyn YE., Polotay O. (2014). Upravlinnya osvithimyy proektamy stvorenniya ta zakhystu informatsiyi suprovodnoyi dokumentatsiyi zabezpechennya diyal'nosti transkordonnykh operatyvno – ryatuval'nykh pidrozdiliv. *Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka*. Vyp. 10. pp.142-150.
43. Prydatko O., Pasnak I. (2017). Doslidzhennya intehratsiynykh protsesiv zaprovadzhennya IT-tekhnologiy pidhotovky fakhivtsiv hirnychoryatuval'nykh pidrozdiliv. *Naukovyy visnyk NHU*. Vyp. 1. pp. 108-113.
44. Wang Z., Zlatanova S., Moreno A., Oosterom P., Toro C. (2014). A data model for route planning in the case of forest fires. *Computers & Geosciences*. Vol. 68. pp. 1-10.
45. Shelke M., Malhotra A., Mahalle P. (2019). Fuzzy priority based intelligent traffic congestion control and emergency vehicle management using congestion-aware routing algorithm. *Journal of Ambient Intell Human Comput.* [Електронний ресурс].
46. Karthikeyan T., Bhuvaneswari N., Sujatha S. (2012). Traffic Handling Approach with Intelligent Speed Control and Prioritization of Emergency Vehicles using PCM Agent. *International Journal of Computer Technology and Application (IJCTA)*. Vol. 3(4). pp. 1545-1549.
47. Khmel' P., Pidhorodets'kyy YA., Olenyuk YU., Martyn YE. (2013). Ob'yektno–oriyentovane upravlinnya proektamy marshrutnykh perevezen' zasobamy GPS-monitorynhu. *Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka*. Vyp. 8. pp.101-106.
48. Pasnak I., Renkas A. (2021). Justification of traffic signaling modes at intersections considering the priority of public transport. *Transport technologies*. pp. 13-24.
49. Hryhoruk S., Lisitsyna M. (2019). Optymizatsiyna model' rozpodilu transportnykh potokiv ta pidvyshchennya yikh propusknoyi zdlatnosti na rehul'ovanomu perekhresti. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*. Vyp. 4. pp. 196-201.
50. Koval'chuk O., Zachko O. (2022). Modeli zhyttyevoho tsykladu rozvytku proyektnykh komand v systemi tsyvil'noho zakhystu. *Visnyk LDUBZH*. Vyp. 25. pp. 71-78.
51. Shcherbachenko O. (2018). Obgruntuvannya stsenariyv rozvytku system pozhezhohasinnya ob'yednanykh terytorial'nykh hromad. *Visnyk LDUBZHD*. Vyp. 17. pp. 14-22.
52. Ratushnyy R. (2019). Systemnyy pidkhid do strukturuvannya portfeliv proektiv rozvytku terytorial'nykh pozhezhno-ryatuval'nykh formuvan'. *Visnyk LDUBZHD*. Vyp.19. pp. 44-50.
53. Hashchuk L., Hashchuk P., Dominik A., Sychevs'kyy M. (2022). Enerhooshchadni aspekty zastosuvannya cruise-keruvannya avtomobil'noyu avariyno-ryatuval'noyu tekhnikoju. *Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka*. Vyp. 40. pp. 40-54.
54. Hashchuk L., Hashchuk P. Pryntsypy marshrutyzatsiyi dribnohurtovykh avtomobil'nykh perevezen'. *Visnyk LDUBZHD*. Vyp. 27. pp. 150-157.

© В. В. Придатко, Д. О. Чалий,
О. В. Придатко, В. А. Кобко, 2023.
Оглядова стаття.
Надійшла до редакції 27.11.2023.
Прийнято до публікації 06.12.2023.



A. A. Ренкас

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5518-3508> – A. A. Ренкас



arthur.rencas@gmail.com

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПОЖЕЖНИХ АВТОЦИСТЕРН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НЕСПРАВНОСТЕЙ

Анотація. Проблема виникнення пожеж, зокрема в природних екосистемах, є на сьогодні досить актуальною в теперішній час. Лісові пожежі, пожежі, які виникають внаслідок спалювання сухою на відкритій території, пожежі торфовищ завдають шкоди довкіллю та населенню, яке проживає поблизу таких масивів. Умовою зниження цього негативного впливу є своєчасне реагування на них та гасіння в найкоротші терміни. Для цього необхідно забезпечити надійність протипожежних засобів, що застосовуються для їх гасіння, зокрема, пожежних автоцистерн.

Мета роботи полягає у підвищенні надійності роботи парку пожежних автомобілів в межах адміністративного району для забезпечення безвідмовного реагування на пожежі в екосистемах.

Методи дослідження. Для аналізу показників надійності та працездатності пожежних автоцистерн застосовано методи математичної статистики та теорії надійності.

Результати дослідження. Під час дослідження здійснено аналіз літературних даних і нормативних документів щодо надійності автомобілів на стадії експлуатації. На другому етапі проведено вибірку пожежних автомобілів для дослідження показників надійності парку пожежних автомобілів підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони. Здійснено аналіз несправностей, що виникають на пожежних автомобілях підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони, а також досліджено показники надійності парку пожежних автомобілів підрозділів пожежної охорони в межах адміністративного району.

Висновки. Аналіз несправностей систем пожежних автоцистерн показав, що найчастіше виходить з ладу двигун внутрішнього згорання, водопіпні комунікації (пошкодження вакуумного насоса, засувок та вентилів), а також систем трансмісії та пожежного насосу. При цьому тривалість ремонту цих систем становить 10-13 діб. Дослідження показників надійності парку пожежних автомобілів підрозділів пожежної охорони, показало, що ймовірність безвідмовної роботи парку протягом місяця в середньому становить 0,75, а коефіцієнт технічної готовності парку пожежних автоцистерн, що експлуатуються в пожежній охороні, становив 0,913. Для забезпечення безвідмовної роботи парку пожежних автомобілів достатньо здійснити резерв заміщенням однією пожежною автоцистерною на чотири підрозділи місцевої та добровільної пожежної охорони.

Ключові слова. пожежна техніка, пожежна автоцистерна, показники надійності, пожежі в природних екосистемах, лісові пожежі.

A. A. Renkas

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

THE METHOD OF INCREASING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF FIRE TRUCKS BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR MALFUNCTIONS

Abstract. The occurrence of fires in natural ecosystems is an urgent problem nowadays. Wildfires harm the environment and the population. The condition for reducing this negative impact is responding to them and extinguishing them in the shortest time. It is necessary to ensure the reliability of firefighting means used for extinguishing wildfires.

The purpose of the article is to improve the reliability of the district's fire truck fleet to ensure a trouble-free response to fires in ecosystems.

Research methods. The methods of mathematical statistics and reliability theory were used to analyse the reliability and performance of fire tankers.

Results of the study. The study analysed literature and regulatory documents on the reliability of vehicles at the stage of operation. In the second stage, a sample of fire trucks was selected to study the reliability indicators of the fire truck fleet of state, local and voluntary fire protection units. An analysis of malfunctions that occur on fire trucks of the fire units is carried out, and the reliability indicators of the fire truck fleet of fire units are studied.

Conclusions. Analysis of fire truck systems malfunctions showed that the most common failures are the internal combustion engine, water lines, transmission systems, and fire pumps. The repair time for these systems is 10-13 days. A study of reliability indicators showed that the probability of a fire truck fleet's uptime during a month averaged 0.75, and the fleet's

technical readiness ratio was 0.913. To ensure the trouble-free operation of the fire truck fleet, it is enough to make a reserve by replacing one fire truck with four fire units.

Keywords. Fire equipment, fire trucks, reliability indicators, fires in natural ecosystems, wildfires.

Постановка проблеми. Успішне гасіння пожеж в природних екосистемах залежить від вчасного їх виявлення та якнайшвидшої доставки сил та засобів до місця їх виникнення. Сумарний час від початку виникнення пожежі до її ліквідації визначатиме величину завданих економічних та екологічних збитків. Зменшення цього часу є важливою науково-практичною задачею.

Надійність пожежно-рятувальної техніки, яка залучається до ліквідації таких пожеж, також має значний вплив на їх тривалість. Так, виникнення несправностей пожежно-рятувальної техніки в процесі експлуатації призводить до необхідності залучення підрозділів, які розташовані на більший відстані від місця виникнення пожежі. Відповідно до національного законодавства [1] в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС необхідно передбачати 1-кратний резерв основних пожежних автомобілів та 0,5-кратний резерв спеціальних пожежних автомобілів. Проте у сільській місцевості, де найчастіше виникають пожежі в екосистемах, у підрозділах місцевої та добровільної пожежної охорони резерв такої техніки не передбачається, що призводить до зниження технічної готовності парку пожежно-рятувальної техніки в межах адміністративного району.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питанням зниження тривалості пожеж в екосистемах шляхом оптимального розміщення пожежних підрозділів присвячено велику кількість наукових праць. Зокрема, авторами [2-3] запропонували метод визначення оптимального місця розміщення засобів пожежогасіння, що дає змогу скоротити час вільного розповсюдження низової лісової пожежі на 25% та чисельність працівників для її локалізації на 53,8%. У роботі [4] розглянуто логістичні ланцюги застосування засобів пожежогасіння для боротьби з надзвичайними ситуаціями в природних екосистемах та лісових пожежах відповідно до обладнання, яке перебуває на балансі аварійно-рятувальних підрозділів та лісгосподарських підприємств України. Проте, вихід з ладу пожежно-рятувальної техніки, що залучається до гасіння пожежі, призведе до різкого зростання цих показників. Тому важливим завданням є дослідження надійності пожежних автомобілів та вжиття заходів з підвищення показників надійності.

Стан проблеми забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем розглянуто в монографії [5]. Основні поняття надійності автомобільних транспортних систем отримано на основі аналізу

відмінностей та аналогій із надійністю технічних систем, підсистем і їх елементів. Праця спрямована на оптимізацію перевезень вантажів і пасажирів з урахуванням надійності автомобілів парку автотранспортних підприємств. Ці результати можуть бути використані для розв'язання проблем надійності інших автомобільних транспортних систем, зокрема техніки пожежно-рятувальних служб.

Для забезпечення надійності автомобільних транспортних систем важливим є нормативно-правове забезпечення. Аналіз наявності такої законодавчої бази проведено у роботі [6]. У статті виявлено основні проблеми нормативно-правового регулювання, що має вплив на надійність роботи автомобільного транспорту. Важливим є також нормативно-правове регулювання, що дасть змогу підвищити надійність автомобільного парку пожежно-рятувальних підрозділів.

У більшості праць особливу увагу приділяють впливу на надійність транспортних систем людського фактора, інформаційних систем керування транспортними процесами, а також дорожньо-транспортних пригод та заторів. Так, робота [7] присвячена вивченню людського фактора, а саме: роботі людини-оператора (водія, диспетчера), які прямо чи опосередковано впливають на надійність системи. У статті [8] на основі аналізу розвитку теорії надійності та її показників сформульовано показники надійності транспортних систем та побудовано систему факторів, що визначають їх надійність. Запропоновано та обґрунтовано нові показники надійності, такі як аварійний простій, пов'язаний із ДТП. Проте, для виконання завдань за призначенням пожежно-рятувальних підрозділів найбільш важливим чинником в надійності автомобільних транспортних систем є справність та безвідмовна робота пожежно-рятувальної техніки.

У роботі [9] розглядаються теоретичні основи прогнозування надійності пожежних автомобілів. Пропонується розроблена методика визначення технічного стану автомобіля, що у майбутньому дасть змогу зменшити кількість ремонтів та експлуатаційних витрат на обслуговування пожежного автомобіля. Як зазначають автори, для удосконалення методики необхідно провести експериментальні дослідження. Тому необхідно проаналізувати статистичні дані відмов пожежних автомобілів.

Враховуючи вищевикладене, доцільно розглянути статистику відмов пожежних автомобілів, щоб оцінити надійність парку пожежних автомобілів в межах адміністративних одиниць.

Мета роботи полягає у підвищенні надійності роботи парку пожежних автомобілів в межах адміністративного району для забезпечення безвідмовного реагування на пожежі в екосистемах.

Для її досягнення вирішувалися такі завдання:

- огляд та аналіз літературних даних і нормативних документів щодо надійності автомобілів на стадії експлуатації;
- вибірка пожежних автомобілів для дослідження показників надійності парку пожежних автомобілів підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони;
- аналіз несправностей, що виникають на пожежних автомобілях підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони;
- дослідження показники надійності парку пожежних автомобілів підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони;
- розробка рекомендацій для забезпечення надійності пожежних автомобілів з метою безвідмовного реагування підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони на пожежі в екосистемах.

Результати досліджень

У 2023 році в Україні в природних екосистемах виникло 647 пожеж, до яких відносяться пожежі лісових масивів та торфовищ. Окрім цього, на відкритих територіях в Україні виникло 37495 пожеж, близько 75 % з яких – пожежі, що виникають внаслідок випалювання сухої рослинності. Такі пожежі призводять до екологічних збитків, а також до значних побічних матеріальних збитків, що пов'язані із залученням пожежно-рятувальних підрозділів на їх ліквідацію.

Для дослідження вибрано пожежні автоцистерни, які зазвичай використовуються у сільській місцевості для гасіння пожеж в природних екосистемах, доставки особового складу та подачі вогнегасних речовин до осередку виникнення пожежі. У рамках реформування ДСНС щодо створення підрозділів місцевої пожежної охорони у територіальних громадах відбувався процес передачі пожежних автоцистерн старих зразків до

новоутворених підрозділів. У підрозділах державної пожежної охорони, які залучаються до гасіння пожеж в сільській місцевості, експлуатуються більш нові автомобілі. Розподіл пожежних автоцистерн, які залучаються до гасіння пожеж у сільській місцевості, за роками виробництва виглядає таким чином: 32 % – автомобілі 1989-2000 років виробництва; 36 % – 2001-2010 років виробництва та 32 % – з 2011 року виробництва і донині.

Вибірка автомобілів для проведення досліджень становить 24 пожежні автоцистерни у співвідношенні за роками виробництва, що наведені вище. Серед пожежних автоцистерн наявні автомобілі вітчизняного виробництва на шасі автомобілів ЗіЛ, КаМАЗ та МАЗ, а також закордонного та вітчизняного виробництва на шасі автомобілів Mercedes-Benz, IVECO та MAN.

Для аналізу несправностей, які виникають в пожежних автоцистернах, що залучаються до гасіння пожеж в природних екосистемах, вибрано період 41 місяць: з 01 січня 2019 року до 01 червня 2022 року.

Аналіз несправностей пожежних автоцистерн показав, що усі їх можна розділити на групи за системами, які дають збій. Так було отримано такі групи несправностей:

- несправність двигуна внутрішнього згорання;
- несправність трансмісії автомобіля;
- несправність систем керування автомобіля;
- несправність електрообладнання автомобіля;
- несправність ходової частини автомобіля;
- пошкодження кузовних деталей автомобіля;
- несправність водопіпних комунікацій;
- несправність пожежного насоса.

Розподіл за кількістю несправностей за групами та відсотковим співвідношення до загальної кількості несправностей у період з 01 січня 2019 року до 01 червня 2022 року наведено на рис. 1а. Розподіл за тривалістю ремонту за групами несправностей та відсотковим співвідношення до сумарної тривалості ремонту усіх автомобілів у період з 01 січня 2019 року до 01 червня 2022 року наведено на рис. 1б.

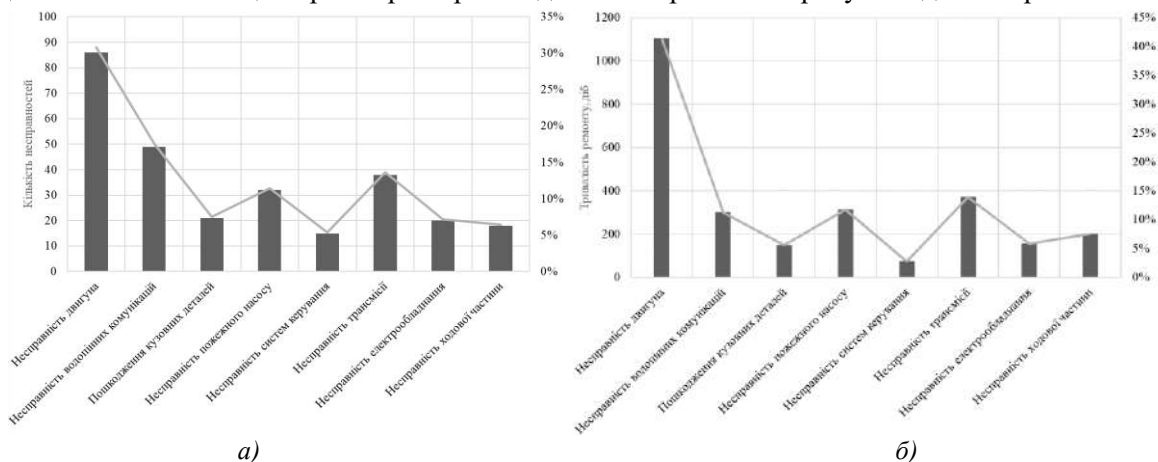


Рисунок 1 – Розподіл несправностей: а) за кількістю; б) за тривалістю ремонту за 41 місяць експлуатації

Найчастіше в пожежних автоцистернах виникають несправності, пов'язані з двигуном внутрішнього згорання: кількість несправностей – 86, загальна тривалість ремонту – 1105 діб. У середньому на ремонт однієї несправності витрачено 13 діб. До основних несправностей двигуна внутрішнього згорання відносяться пошкодження системи запалювання, системи живлення двигуна та системи охолодження.

Також часто в пожежних автоцистернах виникають несправності водопіпних комунікацій (49), проте тривалість ремонту тут одна із найнижчих, порівняно з іншими групами несправностей – 6 діб. Основними несправностями є пошкодження вакуумного насоса, а також засувки та вентилів. Окремо винесені несправності, пов'язані із виходом з ладу пожежного насоса, середній термін ремонту яких становить 10 діб, а основною причиною є негерметичність насоса.

Несправність будь-якої із вищезгаданих систем пожежної автоцистерни призведе до неможливості роботи та невиконання функцій за призначенням первинного підрозділу пожежної охорони на пожежній автоцистерні.

Необхідною умовою для забезпечення безперебійної роботи підрозділів пожежної охорони є дослідження показників надійності парку пожежних автомобілів підрозділів державної, місцевої та добровільної пожежної охорони.

Для дослідження ймовірності безвідмовної роботи парку пожежних автоцистерн, що експлуатуються в пожежній охороні, використано показник безвідмовної роботи, що залежить від загальної кількості пожежних автоцистерн (N) та кількості автоцистерн, що вийшли з ладу за час t, n(t):

$$P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N}. \quad (1)$$

За час t прийнято календарний місяць. При цьому прийнято, що пожежні автомобілі, які були пошкоджені, не ремонтуються. Дослідження проводились з початку вибраного періоду, з 01 січня 2019 року. Уже у жовтні 2019 року справних автомобілів не залишилось би. Характеристики зміни ймовірності безвідмовної роботи зображено на рис. 2

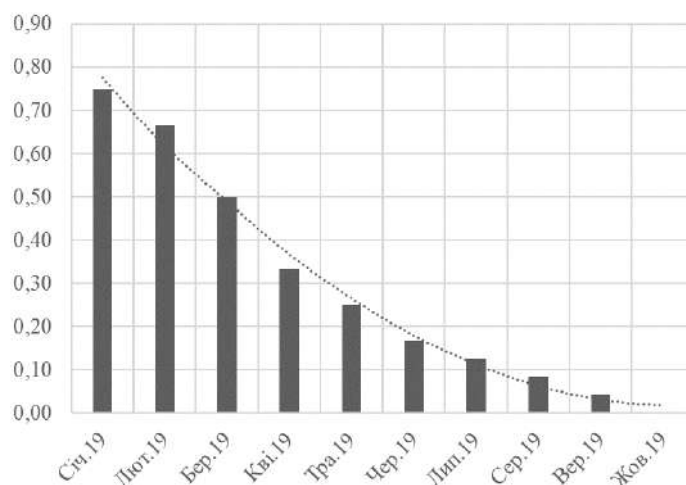


Рисунок 2 – Характеристики зміни ймовірності безвідмовної роботи за 10 місяців експлуатації парку пожежних автоцистерн

Для комплексної оцінки надійності сукупності пожежних автоцистерн доцільно розглянути показник технічної готовності. Коефіцієнт технічної готовності визначається з такою залежністю:

$$\alpha_T = \frac{\sum_{i=1}^A D_{Ti}}{A \cdot D_K}, \quad (2)$$

де D_{Ti} – кількість днів справної роботи i -ого автомобіля, A – кількість автомобілів на території, D_K – кількість днів в періоді, що розглядається (1279 днів).

При розрахунках коефіцієнт технічної готовності парку пожежних автоцистерн, що експлуатуються в пожежній охороні, становив 0,913. Коефіцієнт технічної готовності для парку пожежних автоцистерн повинен бути максимально наближеним до одиниці, оскільки пожежні автомобілі підрозділів пожежної охорони використовуються постійно і повністю.

Також доцільно розглянути інтенсивність відмов пожежних автоцистерн протягом періоду, що розглядається, по місяцях. Цей показник визначається за такою залежністю:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

де Δt – інтервал часу, місяць.

Результати розрахунків інтенсивності відмов протягом періоду, що розглядався, наведені на рис. 3.

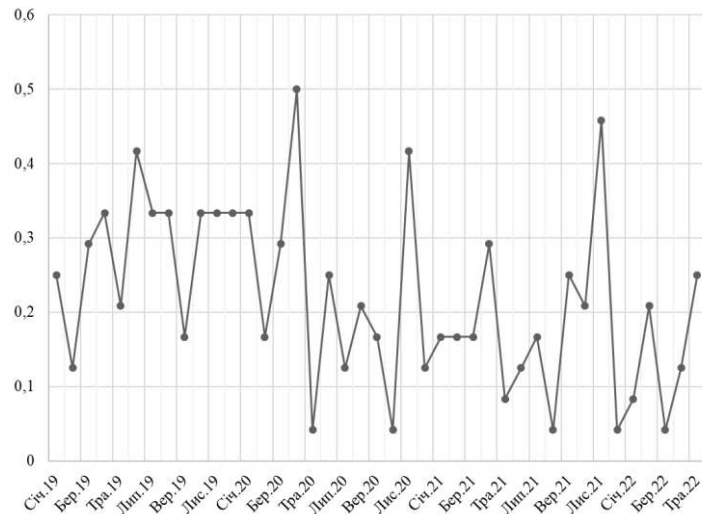


Рисунок 3 – Інтенсивність відмов за 41 місяць експлуатації парку пожежних автоцистерн

Як видно з графіка жодної закономірності відмов пожежних автоцистерн за сезонністю не спостерігається. Так, найвища інтенсивність відмов спостерігається у квітні 2020 року та листопаді 2021 року, а найнижча у травні 2020 року, жовтні 2020 року, серпні 2021 року, грудні 2021 року та березні 2022 року. Середнє значення інтенсивності відмов становить 0,22 1/місяць.

Корисним показником для прогнозування виникнення несправностей на пожежних автоцистернах є середній наробіток до відмови. Визначається на такою залежністю:

$$T = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j}, \quad (4)$$

де t – час справної роботи j -ого об'єкта між відмовами; n_j – число відмов j -ого об'єкта за час t .

Здійснено аналіз середнього наробітку до відмов пожежних автоцистерн. Графічну залежність цього показника від року випуску автомобіля наведено на рис. 5.

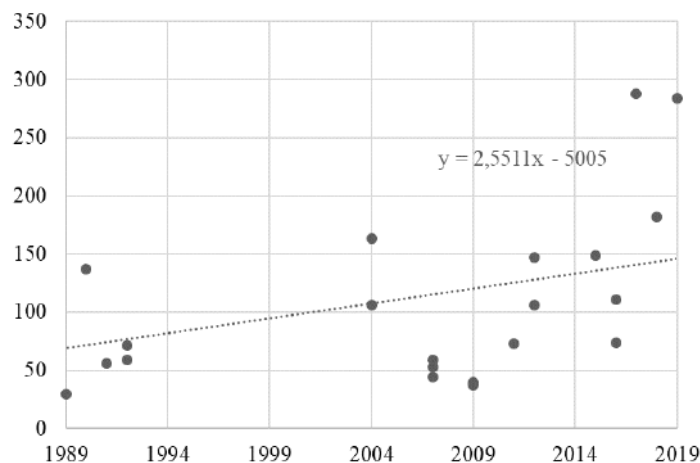


Рисунок 4 – Залежність наробітку до відмов пожежних автоцистерн залежно від року випуску

Як видно з рис. 4 спостерігається зростання цього показника залежно від року випуску, проте кореляція між цими показниками є низькою. Це може пояснюватися невдалим компонуванням та наявністю неякісних деталей в окремих типах

пожежних автоцистерн, що виготовлялись та надходили у підрозділи пожежної охорони з 2007 по 2017 рік. Середнє значення наробітку до відмов пожежних автоцистерн становить 103,3 дні.

Розглянемо, чи підпорядковується величина відмов пожежних автоцистерн нормальному закону розподілу.

$$f(T, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(-\frac{(T-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}, \quad (5)$$

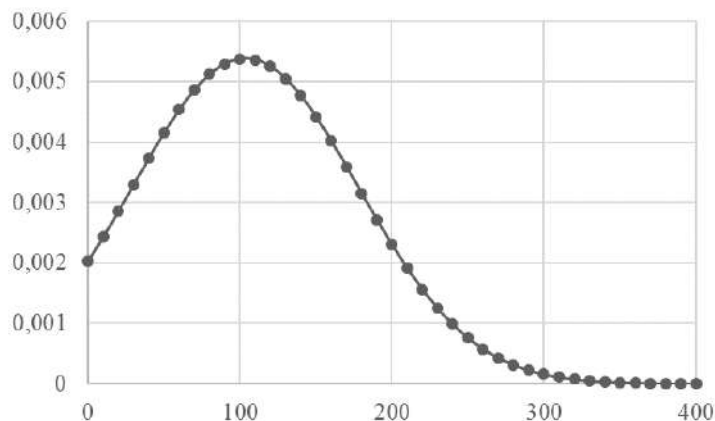


Рисунок 5 – Графік розподілу щільності ймовірності відмов пожежних автоцистерн

Максимальна щільність ймовірності розташована близько до середнього значення, але графік розтягнутий в ширину через велике стандартне відхилення. Це означає, що значення величини в цьому розподілі можуть значно відрізнятися від середнього значення, і вони можуть бути розподілені у великих межах.

Найефективнішим способом підтримання працездатності системи, а саме постійної готовності підрозділів пожежної охорони, є резервування заміщенням пожежних автоцистерн [10]. Для державної пожежної охорони передбачено 100 % основних пожежних автомобілів. Для місцевої та добровільної пожежної охорони такого резерву не передбачено. Враховуючи, що ймовірність безвідмовної роботи пожежних автоцистерн протягом місяця становить 0,75 достатньо забезпечити резерв по одній пожежній автоцистерні на кожні чотири, які експлуатуються в підрозділах місцевої та добровільної пожежної охорони.

Висновок. Аналіз несправностей систем пожежних автоцистерн показав, що найчастіше виходить з ладу двигун внутрішнього згорання, водопінні комунікації (пошкодження вакуумного насоса, засувки та вентилів), а також систем трансмісії та пожежного насоса. При цьому тривалість ремонту цих систем становить 10-13 діб. Для підрозділів місцевої та добровільної пожежної охорони це означає, що протягом цього періоду вони не здатні виконувати завдання за призначенням.

Дослідження показників надійності парку пожежних автомобілів підрозділів пожежної охорони, показало, що ймовірність безвідмовної роботи парку протягом місяця в середньому

де μ – середнє значення розподілу (103,3); σ – стандартне відхилення розподілу (74,09).

Графік розподілу щільності ймовірності відмов пожежних автоцистерн наведено на рис. 5.

становить 0,75, а коефіцієнт технічної готовності парку пожежних автоцистерн, що експлуатуються в пожежній охороні, становить 0,913.

Для забезпечення безвідмовної роботи парку пожежних автомобілів достатньо здійснити резерв заміщенням однією пожежною автоцистерною на чотири підрозділи місцевої та добровільної пожежної охорони.

Список літератури:

1. Про затвердження Настанови з експлуатації транспортних засобів в органах та підрозділах ДСНС України. Наказ ДСНС України від 27.06.2013 № 432. Режим доступу : zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0432388-13#Text
2. Renkas A.A., Popovych V.V., Rudenko D.V. (2022) Optimization of Fire Station Locations to Increase the Efficiency of Firefighting in Natural Ecosystems. *Environ. Res. Eng. Manag.*, vol. 78, no. 1, pp. 78. DOI: 10.5755/j01.erem.78.1.25581
3. Renkas A.A., Popovych V.V., & Dominik A.A. (2021). Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. *Series of Geology and Technical Sciences*, vol. 2, pp. 144-150. DOI: 10.32014/2021.2518-170X.46.
4. Popovych V.V., Gapalo A.I., Shukel I.A., & Renkas A.A. (2020). Logistic chains of application of firefighting equipment for suppression of forest and natural ecosystems fires. In *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. 499-506. DOI: 10.5593/sgem2020/5.1/s20.063
5. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних

систем : монографія. Кропивницький : ТОВ "КОД", 2017. - 369 с.

6. Аулін В.В., Голуб Д.В. (2016) Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. технічні науки, №2 (77). С. 28-35.

7. Rangra S., Sallak M., Schön W. & Vanderhaegen F. (2015). On the study of human reliability in transportation systems of systems. In 2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE), pp. 208-213.

8. Tkhoruk Y., Kucher O., Holotiuk M., Krystopchuk M., & Tson O. (2019). Modeling of assessment of reliability transport systems. Proceedings of ICCPT 2019, Tern. TNTU, May 28-29, 2019, pp. 204-210.

9. Васильєва, О. Е., Палканинець, В. В. (2013). Аналіз сучасних методів прогнозування надійності пожежних автомобілів з метою удосконалення процесу їх технічного обслуговування. Науковий вісник НЛТУ України, 23(15). С. 119-126.

10. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1996. 75 с.

References:

1. State Emergency Service of Ukraine (2013). On the approval of the Guidelines for the operation of vehicles in bodies and units of the State Emergency Service of Ukraine. Order at 27.06.2013 № 432. Retrieved from zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0432388-13#Text

2. Renkas, A.A., Popovych, V.V., & Rudenko, D.V. (2022). Optimization of Fire Station Locations to Increase the Efficiency of Firefighting in Natural Ecosystems. Environ. Res. Eng. Manag., 78 (1), 97-104. doi: 10.5755/j01.arem.78.1.25581

3. Renkas, A.A., Popovych, V.V., & Dominik, A.A.

(2021). Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. Series of Geology and Technical Sciences, 2, 144-150. doi: 10.32014/2021.2518-170X.46.

4. Popovych, V.V., Gapalo, A.I., Shukel, I.A., & Renkas, A.A. (2020). Logistic chains of application of firefighting equipment for suppression of forest and natural ecosystems fires. In 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. 499-506. doi: 10.5593/sgem2020/5.1/s20.063

5. Aulin, V.V., Golub, D.V., Hryniv, A.V., & Lysenko, S.V. (2017) Methodological and theoretical foundations of ensuring and improving the reliability of the functioning of automobile transport systems: monograph. Kropyvnytskyi: LLC "CODE.

6. Aulin, V.V., & Holub, D.V. (2016) Regulatory and legal ensuring of the reliability of transport systems in Ukraine. Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. Ser. technical sciences, №2 (77), 28-35.

7. Rangra, S., Sallak, M., Schön, W. & Vanderhaegen, F. (2015). On the study of human reliability in transportation systems of systems. In 2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE), 208-213.

8. Tkhoruk, Y., Kucher, O., Holotiuk, M., Krystopchuk, M., & Tson, O. (2019, May). Modeling of assessment of reliability transport systems. Proceedings of ICCPT 2019, Tern. TNTU. 204-210.

9. Vasilyeva, O.E., & Palkanyets, V.V. (2013). Analysis of modern methods of predicting the reliability of fire engines to improve their maintenance. Scientific Bulletin of UNFU, 23(15), 119-126.

10. Reliability of equipment. Terms and definitions. (1996) DSTU 2860-94 from 01 January 1996. Kyiv: Institute of reliability problems of machines and structures [in Ukrainian].

© А. А. Ренкас, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 19.09.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



Н. Ю. Соляник, О. Б. Назаровець, Ю. І. Рудик

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5850-1360> – Н. Ю. Соляник

<https://orcid.org/0000-0003-4532-9259> – О. Б. Назаровець

<https://orcid.org/0000-0002-7372-5876> – Ю. І. Рудик



o.nazarovets@ldubgd.edu.ua

ВИПРОБУВАННЯ З'ЄДНУВАЧІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗА ТЕРМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Вступ. Серед альтернативних джерел електроенергії значна кількість суб'єктів господарювання обирає сонячну енергію. Причиною цього є низка факторів: автономність, ефективність, простота експлуатації та доступність. Стрімке збільшення використання фотоелектричних систем в приватному секторі українців обумовлює покращення рівня пожежної безпеки цих систем та їхніх компонентів. В групу ризику потрапляють з'єднувачі, провідники, розподільні коробки та інвертори. З вищезгаданих компонентів фотоелектричні з'єднувачі є найбільш вразливими до імпульсних перенапруг, механічних ушкоджень та високих (низьких) температур.

Мета. Експериментальним шляхом дослідити фотоелектричний з'єднувач типу МС-4 та провідники, що з'єднуються за допомогою струмового перевантаження, на можливість виникнення короткого замикання та перенавантажень, чим визначити місця підвищеної небезпеки у фотоелектричній системі.

Методи. У дослідженні використовували метод струмового перевантаження. Для цього використовували електроустановку, яка містить: автотрансформатор з регульованою напругою від 0 до 240 В; силовий трансформатор потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці $U_1=220$ В і напругою на вторинній обмотці $U_2=5$ В; трансформатор струму типу ТК-20 з параметрами: $I_1/I_2=300/5$ А; вимірювальні прилади (амперметри, вольтметри); стіл з паранітовою плитою, на поверхню якої виведені контактні затискачі.

Результати. Отримані результати випробувань свідчать про те, що з'єднувачі постійного струму типу МС-4 різних виробників по-різному реагують на перенавантаження та стрімке збільшення напруги в мережі, оскільки термічна деструкція провідників та з'єднувачів за однакових параметрів почалася в різний проміжок часу.

Висновки. У результаті дослідження визначили місця підвищеної небезпеки фотоелектричної системи саме на провідниках та з'єднаннях. Використання несертифікованого обладнання призведе до катастрофічних наслідків не лише для суб'єкта господарювання, а й для оперативно-рятувальних служб цивільного захисту.

Ключові слова. Фотоелектрика, пожежна безпека, з'єднувачі фотоелектричних систем.

N. Yu. Solyanyk, O. B. Nazarovets, Yu. I. Rudyk

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTORS TESTING DYE THERMAL INDICATORS OF FIRE SAFETY

Introduction. Among alternative sources of electricity, a significant number of business entities choose solar energy, this is preceded by a number of factors: autonomy, efficiency, ease of operation and availability. The rapid increase in the use of photovoltaic systems in the private sector of Ukrainians leads to an improvement in the level of fire safety of these systems and their components. Connectors, conductors, junction boxes and inverters fall into the risk group. Of the above components, photovoltaic connectors are the most vulnerable to impulse overvoltages, mechanical damage and high (low) temperatures.

Purpose. Experimentally investigate by testing a photovoltaic connector of the MS-4 type and conductors connected using a current overload to the possibility of creating a short circuit and creating overloads, then identify weaknesses in the photovoltaic system.

Methods. The current overload method was used in the study. For this purpose, an electrical installation was used, which contains: an autotransformer with an adjustable voltage from 0 to 240 B, a power transformer with a capacity of 4.5 kVA with a voltage at the primary winding of 220 V and a voltage at the secondary winding -5 V; current transformer type TK-20 with parameters: $I_1/I_2=300/5$ A; measuring instruments (ammeters, voltmeters); table with paranite plate on the surface of which contact clamps are brought out.

Results. The obtained test results indicate that DC connectors of the MS-4 type, depending on the manufacturer, react differently and overload and a rapid increase in voltage in the network. Since the thermal destruction of conductors and connectors under the same parameters began at different times.

Keywords. Photovoltaics, fire safety, PV connectors.

Вступ. На сьогодні серед альтернативних джерел енергії (тепла Землі, енергії вітру, припливів та відпливів, біогазу тощо) провідне місце займає сонячна енергія. Це пов'язано з головними перевагами цього виду енергії: загальна доступність, екологічність, практична невичерпність, можливість безпосереднього перетворення сонячної енергії у видимому та ближньому інфрачервоному спектрі випромінювання у теплову або електричну енергію. Повна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі лише за тиждень, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля та урану [1]. В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії: річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні еквівалентний 6 млрд. тонн умовного палива, його використання дало б змогу замінити близько 5 млрд м³ природного газу [2]. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт·год/м²) є досить високим і набагато вищим, ніж, наприклад, у Німеччині – 1000 кВт·год/м² чи у Польщі – 1080 кВт·год/м² [7].

На даний час ринок пропонує велику кількість фотоелектричних систем різних виробників і тому для коректного вибору їх типу та якості необхідні прості методики та обладнання для проведення випробувань. Водночас у міжнародних нормативних документах [14, 15] передбачена трудомістка

процедура калібрування використовуваної контрольно-вимірювальної апаратури, що суттєво ускладнює випробування таких систем.

Актуальність теми підтверджується тим, що використання енергії сонячного випромінювання в паливно-енергетичному балансі України є важливим напрямом реалізації політики відновлення і відбудови на засадах енергозбереження і одним із пріоритетів у створенні повоєнної високоефективної, безпечної, екологічно чистої енергетики.

Постановка проблеми. На сьогодні немає підстав вважати, що ризик пожежі, пов'язаний з фотоелектричними панелями, більший, ніж той, який пов'язаний з будь-яким іншим електричним обладнанням. Але, як і багато нових технологій, фотоелектричні системи можуть створювати і нові ризики.

Проаналізувавши ринок [3, 4, 5, 6], можемо стверджувати, що найпоширенішими з'єднувачами фотоелектричних систем є MC-4 – компоненти, які широко застосовують в фотоелектричній практиці країни Євросоюзу.

MC-4 (Multi Connector 4 mm) (рис. 1) – це електричний з'єднувач з можливістю приєднати провідник діаметром 4-6 мм². Корпус цього компонента (2, 3) виготовлений з полівінілхлориду, а внутрішні елементи – контактні з'єднання (1) – з лудженої міді з вмістом міді близько 93 %.

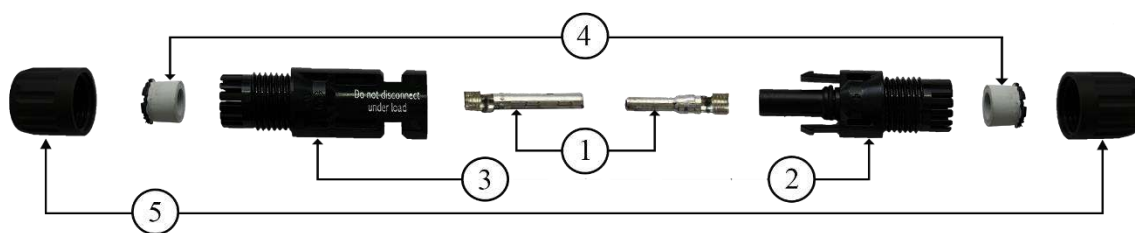


Рисунок 1 – Загальна будова з'єднувача постійного струму типу MC-4:

1 – контактні роз'єми; 2 – швидкознімна гніздова частина з'єднувача;

3 – швидкознімна штекерна частина з'єднувача; 4 – гумово-пластикові ущільнювачі;

5 – затискачі-ущільнювачі

Найбільшою небезпекою цих систем є аварійний режим роботи: виникнення струмових перевантажень (коротке замикання або перевантаження) внаслідок чого, елементи, виготовлені з полівінілхлориду, розплавляються – можливе роз'єднання контакту. При цьому є ризик загорання суміжних конструктивних елементів будівлі, а саме: покрівлі (що може спричинити розповсюдження пожежі горищем та конструктивними елементами будівлі) та компонентів системи, що перебувають під

напругою. Зазначимо, що це становить додаткову небезпеку під час ліквідації наслідків надзвичайної події або ситуації для працівників оперативно-рятувальних служб цивільного захисту.

Окрім з'єднувачів фотоелектрична система створює додаткове пожежне навантаження через низку обладнання, яке входить до цих систем. Зокрема це: розподільчі коробки, кабельна продукція, вимикачі струму, інвертори та самі фотоелектричні панелі.

Важливим аспектом у цій проблемі є некваліфі-

ване підключення фотоелектричних систем в приватному секторі (коли нехтують правилами з'єднання панелей різної потужності, а також використанням з'єднувачів різних виробників, що може спричинити зростання перехідних опорів і навіть замикання фотоелектричної системи, а також позарегламентний режим роботи системи), що призводить до загорання та пожеж. Якщо фотоелектричні системи розміщуються на землі (за допомогою певних конструкцій) слід доглядати за ділянкою, щоб убезпечити її від захаращення, а також враховувати межу вогнестійкості матеріалу, з якого виготовлено ці конструкції. Необхідно захистити систему від механічних та природних ушкоджень, оскільки внаслідок цього можливе утворення «гарячих тріщин», що створюватиме ризик ураження струмом суб'єктів господарювання та працівників оперативно-рятувальних служб цивільного захисту.

При розміщенні фотоелектричних систем на фасаді будинку слід забезпечити покриття стін негорючими матеріалами оздоблення, щоб унеможливити поширення полум'я по конструктивних елементах будинку. Якщо фотоелектрична система розміщується на покрівлі, необхідно врахувати протипожежні відстані, відповідно до ІЕС 60364 [7]. Це знизить ризики для рятувальних служб, дасть змогу безпечно піднятися до осередку пожежі на покрівлі та переміщення рятувальників. Також потрібно забезпечити негорюче покриття,

розташоване поряд із системою, щоб зменшити ризик поширення пожежі по покрівлі та конструктивних елементах будівлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень в галузі безпеки фотоелектричних систем дає змогу оцінити пожежну небезпеку з'єднань різних типів з'єднувачів [8], запобігання пожежам на фотоелектричних системах шляхом моніторингу та огляду систем за допомогою тепловізора та програмного забезпечення, що за лічені секунди вказує місце несправності системи [9-11]. Дослідження [12] – це правила безпеки праці та правила пожежної безпеки фотоелектричних систем. Досліджено та визначено причини займання та перенавантаження розподільчих коробок, що використовуються в фотоелектричних системах, а також досліджено залежність матеріалу, що знаходиться під системами, до швидкості розповсюдження пожежі від займання компонентів системи [13].

Мета. Експериментальним шляхом дослідити фотоелектричний з'єднувач типу МС-4 та провідники, що з'єднуються, за допомогою струмового перевантаження на можливість утворення короткого замикання та створення перенавантажень, чим визначити втрату цілісності ізоляційних матеріалів фотоелектричних систем.

Методи. У дослідженні використовували метод струмового перенавантаження. Для цього використовувалась електроустановка (рис. 2).

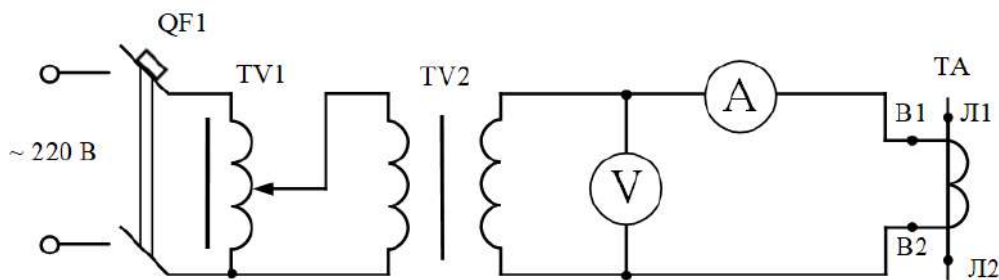


Рисунок 2 – Схема лабораторної установки

Для дослідження поведінки з'єднувачів та провідників створювали довготривале струмове перевантаження, використовували електроустановку, яка містить: автотрансформатор (TV1) з регульованою напругою від 0 до 240 В; силовий трансформатор (TV2) потужністю 4,5 кВА з напругою на первинній обмотці $U_n=220$ В і напругою на вторинній обмотці $U_v=5$ В; трансформатор струму (ТА) типу ТК-20 з параметрами: $I_1/I_2=300/5$ А; вимірювальні прилади (амперметри, вольтметри); стіл з паронітовою плитою на поверхні якої виведені контактні затискачі. Вимірювання температури відбувалося

за допомогою термопар з перетворювачем типу РТ-0102 та тепловізора марки FLIR K2.

Виклад основного матеріалу. У провіднику створювали струмові навантаження фіксували, час, значення температури та сили струму з'єднувача та провідника. Значення напруги та сили струму фіксувалися за допомогою вольтметра та амперметра, ввімкнених у схему лабораторної установки, а температури – за допомогою тепловізора та термопар. Гарячий спай термопар фіксували на поверхні контактної з'єднувача для отримання значень температури зовнішньої шару з'єднувача (ізоляції) [16, 17].

Щоб побачити наскільки впливає провідник на з'єднувач до швидкознімної гніздової частини приєднали провідник, який позиціонується на ринку, як кабель для з'єднань фотоелектричних систем (виконаний з лудженої міді, в якості ізоляції – полівінілхлорид), а до швидкознімної штекерної частини приєднали провідник вітчизняного зразка. В ході проведення досліду, поступово навантажували з'єднувальну ділянку за допомогою лабораторної установки. Змінювали параметри навантаження ділянки з'єднання частин фотоелектричної системи за

допомогою автотрансформатора TV1 (рис. 2).

Експериментальні значення сили струму, обумовлені допустимими струмами для провідників певного перерізу, згідно з ПУЕ [3] табл. 1.3.4. імітувалось 2, 3 та 4-кратне струмове перевантаження.

Сила струму, який протікав по провіднику, становила 150 А, напруга – 40 В. При таких параметрах навантажували провідник зі з'єднувачем протягом 20 хв. Залежність температури T від часу t в місці контакту провідників, розміщених у з'єднувачі, зображена на рисунку 3.

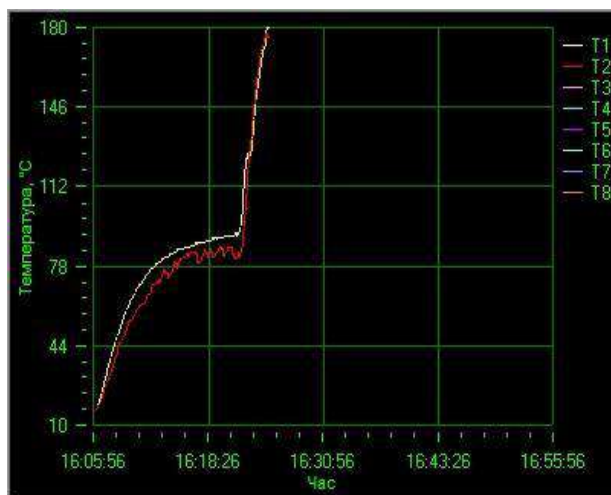


Рисунок 3 – Залежність температури T від часу t .

Починаючи з 20 хв ампервольтметр показав, що сила струму, що протікає по провіднику, становить 170 А, а напруга 105 В.

Результати вимірювань термопарами зафіксовано за допомогою тепловізора (рис. 4) – 424 °C.



Рисунок 4 – Максимальна температура T на провіднику

При цих параметрах в зоні з'єднувача почався процес незворотного термічного розкладання та зуглення ізоляції. Впродовж наступних трьох хвилин в ізоляційних матеріалах провідників відбувалися процеси необоротного термічного розкладання та зуглення, а жила втратила

цілісність (рис. 5 b, c). Сам з'єднувач при навантаженні струмом силою 150 А при значенні напруги 40 В та температурі на поверхні з'єднувача 85 °C впродовж 23 хв, цілісності та ізоляції не втратив, але наявні ознаки необоротного термічного розкладання з'єднувача (рис. 5 a).

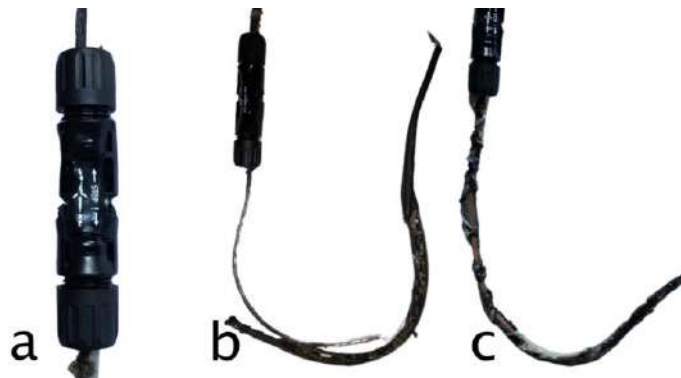


Рисунок 5 – Вигляд зразків після проведення випробувань:
а) з'єднувач фотоелектричний типу МС-4 після проведення випробування;
б) кабель для з'єднань фотоелектричних систем після проведення випробування;
с) кабель вітчизняного зразка після проведення випробування

При проведенні повторного випробування використовували ідентичну схему підключення. При цьому стрімко збільшували силу струму та напругу. Це дало змогу побачити, як поводить себе з'єднувач та провідник при стрибках напруги. Жила кабелю на момент росту параметрів втратила цілісність (рис. 6) в результаті струмового перевантаження, що не дало змоги продовжувати збільшувати силу струму на з'єднувачі, частина

провідника залишилась без ізоляції через плавлення внутрішнього шару ізоляції що призвело до інтенсивного димоутворення.

Оскільки в дослідженні використовували два зразки різних виробників, то повторили такі ж умови, що і в досліді №1 та №2, врахувавши при цьому площу поперечного перерізу провідника, та замінили кабель площею перерізу 4 мм^2 на мідний провідник площею поперечного перерізу 6 мм^2 .

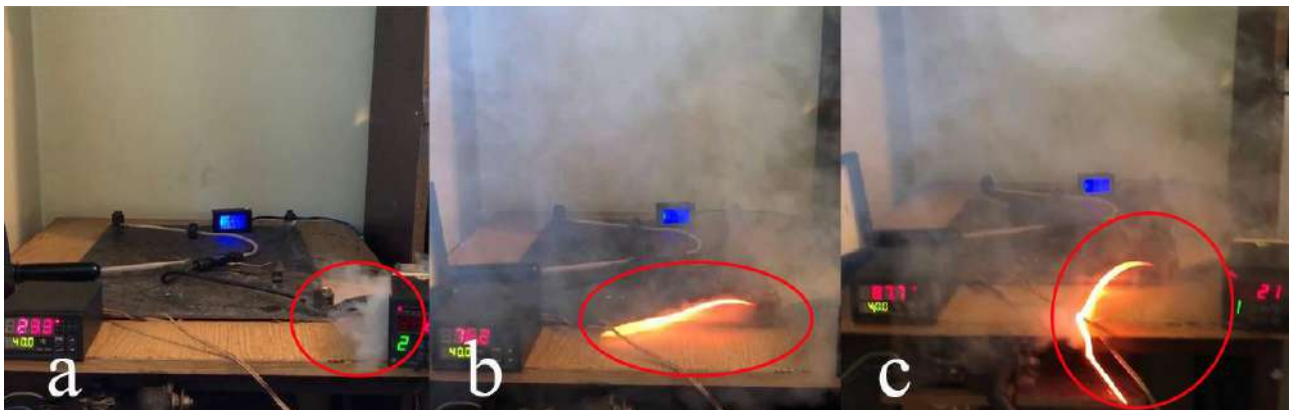


Рисунок 6 – Момент втрати цілісності внаслідок короткого замикання провідника для з'єднання фотоелектричних систем

Важливо звернути увагу на те, що від площі поперечного перерізу провідника залежать, як ризики утворення загорання (пожежі), так і швидкість приведення системи до нормального режиму роботи після пошкодження провідника або короткого замикання.

В досліді №3, окрім заміни провідників замінили також з'єднувачі одного виробника на з'єднувачі іншого, зовнішніх відмінних ознак та характеристик не виявлено, проте ціна з'єднувачів, що використовувались в досліді №1, №2 в два рази більша від тих, що використовували у досліді №3 та №4. Відповідно до параметрів поперечних перерізів провідників обираємо допустимі параметри сили

струму за допомогою таблиць з ПУЕ [3]. Впродовж 37 хв здійснили трикратне перенавантаження шляхом створення на автотрансформаторі відповідної сили струму. Протягом 35 хв сила струму, що протікала провідником та з'єднанням, становила 110 А, на 35 хв змінили параметри на автотрансформаторі. Станом на 36 хв сила струму становила 160 А.

До 35 хв значних термічних деструкцій не виявлено, незначні плавлення спостерігались на провідниках в зоні контакту зі з'єднувачем. На з'єднувачі в цьому проміжку часу були ознаки плавлення і втрати початкової форми. Максимальна температура в місці з'єднання становила 176°C (рис. 7).

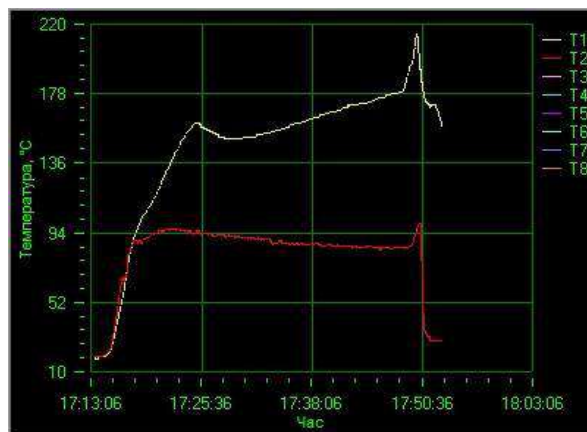


Рисунок 7 – Залежність температури T від часу t

Починаючи з 35 хвилини температура стрімко змінила свої значення і досягла максимальних значень на 36 хв – 219 °С.

Димоутворення провідників та з'єднувача спостерігалось з 5 хв проведення дослідів, але воно було незначним, на 35 хв інтенсивність димоутворення збільшилась через термічну

деструкцію ізоляції провідників та з'єднання. Дослід завершено на стадії втрати цілісності з'єднувача та ізоляції провідників.

Якщо в дослідах №1 та №2 з'єднувач витримав струмове перенавантаження, то з'єднувач, що використовувався в досліді №3, втратив ізоляційну цілісність (рис. 8).



Рисунок 8 – Провідник(а) та з'єднання типу MC-4(б) після проведення випробування

Повторення дослідів із зразком з'єднувача, що використовувався у досліді №3, використовуючи при цьому ідентичну схему підключення, дало змогу зафіксувати

найвищу температуру (рис. 9). Дослід проводили 23 хвилини. У період з 1 по 20 хв, сила струму, що протікав по провіднику та з'єднувачу, становила 144 А.

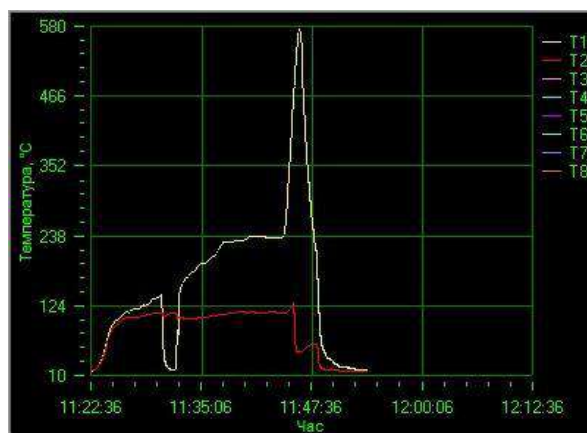


Рисунок 9 – Залежність температури T від часу t .

Протягом цього часу максимальна температура з'єднувача становила 238 °С (рис. 9). Корпус з'єднувача в зоні контакту провідників втратив ізоляційну цілісність, почалось необоротне термічне розкладання та обуглення ізоляційних матеріалів; з 5-ї хвилини розпочалось незначне димоутворення.

На 20-ту хвилину змінили параметри сили струму на автотрансформаторі до значення 166 А. Наступні 3 хвилини супроводжувалися високою температурою – 580 °С (рис. 9) та значним

димоутворенням. Внаслідок цього, з'єднувач втратив цілісність ізоляції, що спостерігали на попередньому етапі, збільшив зону термічної деструкції, це призвело до остаточного плавлення ізоляції в зоні з'єднання (рис. 11). Провідники в цей період остаточно втратили цілісність ізоляції, що супроводжувалося інтенсивним димоутворенням.

Впродовж всього випробування з'єднувач та провідники були нагріті приблизно до однакової температури, про що свідчить запис вимірювань тепловізором (рис. 10).

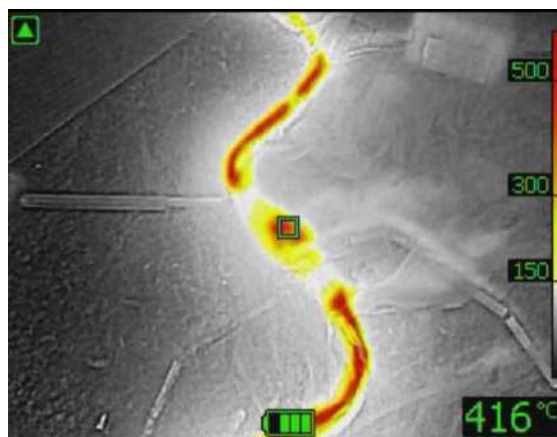


Рисунок 10 – З'єднувач та провідники на 22 хв випробування, сила струму становить 166 А

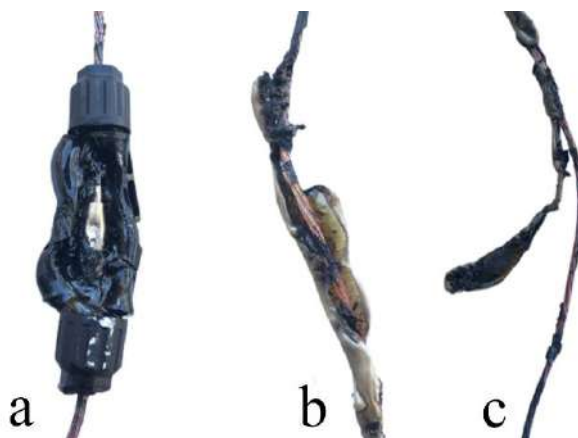


Рисунок 11 – З'єднувач (а) та провідники (b),(c) після випробування

Варто зазначити, що з'єднувачі, що використовувалися у дослідях №1 та №2 більш стійкіші до струмових перевантажень порівняно з тими, що використовувались в дослідях №3, №4, оскільки №1 та 2 значних деформацій та втрати початкової форми не мають.

Висновки. Розглянуто стан та напрямки досліджень обладнання, яке використовується для фотоелектричних систем, визначено вплив показників струмових перевантажень і температури на стан безпеки експлуатації фотоелектричних систем. Провівши дослідження визначили місця фотоелектричної системи, які найчутливіші до термічної дії струмів короткого замикання, а саме на

контактних з'єднаннях та провідниках. Використання несертифікованого обладнання призведе до збільшення ризиків виникнення аварійних ситуацій та підвищення рівня небезпеки не лише суб'єкта господарювання, а й для оперативно-рятувальних служб цивільного захисту. Також покращить практичне застосування результатів використаної методики вимірювання параметрів та визначення теплотехнічної ефективності з'єднувачів кабельних ліній фотоелектричних систем під час експлуатації. Перспективним є також подальше дослідження вогнестійкості та інших показників пожежної безпеки фотоелектричних систем при експлуатації.

Подяка. Робота виконана завдяки грантової підтримки Національного Фонду Досліджень України, реєстраційний номер проєкту 0123U103529 (2022.01/0009) «Оцінювання та прогнозування загроз відбудові та сталому функціонуванню об'єктів критичної інфраструктури» за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

Список літератури:

1. Малєєв В. О., Безпальченко В. М., Макачук Д. С. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали II-ої Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, аспірантів і молодих вчених. Херсон : ХНТУ, 2017. С. 74–70.

2. Дробишева В. П., Токар К. П., Федоренко Г. А. Сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії в Україні. Науковий вісник будівництва. 2014. № 1. С. 165-168.

3. Georgette Kilgore «10 Solar Panel Connector Types Ranked, When to Use Each (And When Not To).» URL: 8billiontrees.com/solar-panels/solar-panel-connector-types/

4. Василюха Х. В. Вдосконалення нормативно-технічної бази випробувань сонячних перетворювачів : дис. канд. техн. наук : 05.01.02 / Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2017. 170 с.

5. Serkez Kh., Yatsuk V., Mykyjchuk M., Dyak R., Oleskiv T. Metrological assurance of the sun energy collector testing. Pomiary, Automatyka, Kontrola. Vol. 59. Nr 9. 2013. P. 901-905.

6. IEC 60364 DIN VDE 0100 Erection of low-voltage installations Design, connection and components of lowvoltage systems, protective measures.

7. Todd Karin, David Penalva, James Nagel. The Ultimate Safety Guide for Solar PV Connectors. An In-Depth Primer with Best Practices for Solar Professionals and Asset Owners PV Evolution Labs (PVEL)/ 2022

8. Steve Pester, principal consultant, BRE National Solar Centre. Fire and Solar PV Systems – Investigations and Evidence/ SICE, BEIS Date: 11th May 2018 Report Number: P100874-1004 Issue 2.5

9. ДСТУ EN IEC 61730-2:2018. Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 2. Вимоги до випробувань (EN IEC 61730-2:2018; AC:2018-06, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT) [Чинний від 2021-12-21]. Вид. офіц. Київ, 2021. 106 с.

10. Steve Pester, principal consultant, BRE National Solar Centre. Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Fire and Rescue Services. BEIS Date: 15th May 2017 Report Number: P100874-1008 Issue 2.4

11. International energy agency photovoltaic power systems programme Task 13 Performance,

Operation and Reliability of Photovoltaic Systems Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates Report IEA-PVPS T13-25:2022 October 2022

12. Deutscher feuerwehr verband «Einsatz an Photovoltaikanlagen» Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. 2010. p. 3-15.

13. Mykyichuk, M., & Rudyk, Y. Material testing and results estimation by safety indexes. Виміррювальна техніка та метрологія, 2021. 82(2). 38-45.

14. GUIDELINE Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization Project Sponsor Dr.-Ing. Klaus Prume, Project Sponsor Jülich Dipl.-Ing. Jochen Viehweg, Project Sponsor Jülich

15. Rudyk Y. and Shunkin V. Determination of the quantity of combustible material in cable products in the process of fire safety testing. Fire Safety, no. 34, pp. 78-83, Jul. 2019.

16. Гудим В. І., Юрків Б. М. Назаровець О. Б. Математичне моделювання процесів нагрівання провідників внутрішніх електричних мереж житлових та громадських будівель Пожежна безпека. № 26. Львів, 2015. С. 59–64

References:

1. Maleev V. O., Bezpachenko V. M., Makarchuk D. S. (2017). Prospects for the development of solar energy in Ukraine. Current problems of modern energy: materials of the II All-Ukrainian scientific and practical Internet conference of students, postgraduates and young scientists, graduate students and young scientists. pp. 74–70.

2. Drobysheva V. P., Tokar K. P., Fedorenko G. A. (2014). Current state of use of renewable energy sources in Ukraine. Scientific Bulletin of Construction. 2014. No. 1. pp. 165-168.

3. Georgette Kilgore 10 Solar Panel Connector Types Ranked, When to Use Each (And When Not To). URL: 8billiontrees.com/solar-panels/solar-panel-connector-types/

4. Vasylykha Kh. V. (2017). Improvement of the regulatory and technical base for testing solar converters. Lviv Polytechnic National University Lviv, Ukraine.

5. Serkez Kh., Yatsuk V., Mykyjchuk M., Dyak R., Oleskiv T. Metrological assurance of the sun energy collector testing. Pomiary, Automatyka, Kontrola. Vol. 59. Nr 9/2013. pp. 901-905.

6. IEC 60364 DIN VDE 0100 Erection of low-voltage installations Design, connection and components of lowvoltage systems, protective measures.

7. Todd Karin, David Penalva, James Nagel, (2022). The Ultimate Safety Guide for Solar PV Connectors. An In-Depth Primer with Best Practices for Solar Professionals and Asset Owners PV Evolution Labs (PVEL), 2022

8. Steve Pester. (2018). Principal consultant, BRE

National Solar Centre Fire and Solar PV Systems – Investigations and Evidence» SICE, BEIS Date: 11th May 2018 Report Number: P100874-1004 Issue 2.5

9. DSTU EN IEC 61730-2:2018. Determination of safety of photovoltaic modules. Part 2. Test requirements (EN IEC 61730-2:2018; AC:2018-06, IDT; IEC 61730-2:2016, IDT).

10. Steve Pester. (2017). Principal Consultant, BRE National Solar Centre Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Fire and Rescue Services. BEIS Date: 15th May 2017 Report Number: P100874-1008 Issue 2.4

11. International energy agency photovoltaic power systems programme Task 13 Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates Report IEA-PVPS T13-25:2022 October 2022

12. Deutscher feuerwehr verband. (2010). Einsatz

an Photovoltaikanlagen» Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. pp. 3-15.

13. Mykyichuk M., Rudyk Y. (2021). Material testing and results estimation by safety indexes. Measuring technique and metrology. 82(2). 38-45.

14. GUIDELINE Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization Project Sponsor Dr.-Ing. Klaus Prume, Project Sponsor Jülich Dipl.-Ing. Jochen Viehweg, Project Sponsor Jülich

15. Rudyk Y. and Shunkin V. (2019). Determination of the quantity of combustible material in cable products in the process of fire safety testing”, Fire Safety, vol. 34, pp. 78-83.

16. Hudym V. I., Yurkiv B. M., Nazarovets O. B. (2015). Mathematical modeling of heating processes in conductors of in-ternal electrical networks in housing and public buildings Fire Safety: vol. 26. pp. 59–64.

© Н. Ю. Соляник, О. Б. Назаровець,
Ю. І. Рудик, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 10.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен, В. Л. Петровський

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1633-5458> – Ю. О. Терлецький

<https://orcid.org/0000-0003-1655-3825> – О. Ю. Пазен

<https://orcid.org/0000-0002-5323-7824> – В. Л. Петровський



opazen@gmail.com

ВПЛИВ ТОВЩИНИ OSB/3 ПЛИТИ НА ПОКАЗНИКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Проблема. OSB (плити деревностружкові з орієнтованою стружкою) - це багат шарові плити, що виготовлені з деревинної стружки з додаванням клею. У зовнішніх шарах стружка спрямована вздовж довжини плити, а у внутрішньому шарі вона може бути розташована впоперек, орієнтована, як правило, під кутом до стружки зовнішнього шару. Такі міцнісні характеристики та стійкість до вологості спричиняють широке застосування їх у будівництві, а саме: будівництві будівель за каркасною технологією, облаштуванні покрівель, зведенні зовнішніх і внутрішніх стін, настилі для підлоги та перекриття, сходових маршів і майданчиків тощо. Однак суттєвим недоліком таких плит є їх показники пожежної небезпеки, а саме горючості.

Метою статті є дослідження впливу товщини OSB/3 плити на показники пожежної небезпеки, зокрема розповсюдження полум'я, та групи горючості.

Методи дослідження. У роботі використано експериментальний метод дослідження, регламентований ДСТУ Б В.2.7-70-98 та ДСТУ 8829:2019, щодо визначення показників пожежної безпеки OSB/3 плит залежно від їх товщини.

Основні результати дослідження. Об'єктом випробувань були зрізи матеріалу OSB/3 плити, що складаються на 90% з деревинної стружки, склеєної синтетичними смолами з додаванням інших хімічних компонентів. Для цих зрізів визначалась група поширення полум'я, згідно з ДСТУ Б В.2.7-70-98 (ДСТУ 8829:2019), та група горючості, згідно з ДСТУ 8829:2019. Випробуванню піддавались зрізи товщиною 10, 12, 15, 18 та 22 мм по 5 зрізів розмірами 1100x250 мм для кожної товщини OSB/3 плити.

Іншим дослідом встановлювалась група горючості OSB/3 плити товщиною 10, 12, 15, 18, та 22 мм, відповідно до ДСТУ 8829:2019. Встановлено, що при збільшенні товщини зрізів зменшується довжина пошкодження та час полум'яного горіння.

Висновок. Експериментально встановлено, що товщина OSB/3 плити впливає на показники її пожежонебезпечності. Встановлено, що при збільшенні товщини зрізів зменшується довжина пошкодження та час полум'яного горіння при випробуванні на групу розповсюдження та групу горючості. Час спалахування при випробуванні на групу розповсюдження полум'я збільшується. Таким чином товщина зрізів впливатиме на результати випробувань щодо визначення групи поширення полум'я та групи горючості, однак для підтвердження цього припущення необхідно додатково дослідити, як впливає товщина OSB/3 плити на показники пожежної небезпеки.

Ключові слова: OSB/3 плита, група розповсюдження полум'я, група горючості, пожежна безпека.

Y. O. Terletskyi, O. Y. Pazen, V. L. Petrovskyi

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

INFLUENCE OF OSB/3 BOARD THICKNESS ON FIRE DANGER INDICATORS

Introduction. OSB (wood chipboard with oriented chips) are multilayer boards made of wood chips with the addition of glue. In the outer layers, the chips are directed along the length of the plate, and in the inner layer, it can be located transversely, oriented, as a rule, at an angle to the chips of the outer layer. Such strength characteristics and moisture resistance allow them to be used more and more widely in construction, namely the construction of buildings using frame technology, the arrangement of roofs, the construction of external and internal walls, flooring for floors and ceilings, the construction of staircases and platforms, etc. However, a significant drawback of such plates is their performance from the point of view of fire safety, namely flammability.

The article aims to study the effect of OSB/3 board thickness on fire hazard indicators, in particular flame spread and flammability group.

Methods. The work uses experimental research methods of determining the fire safety indicators of OSB/3 boards, depending on their thickness, regulated by DSTU B V.2.7-70-98 and DSTU 8829:2019.

Results. The object of the tests were samples of OSB/3 board material, consisting of 90% wood shavings glued together with synthetic resins with the addition of other chemical components. For these samples, the flame spread group was determined according to DSTU B V.2.7-70-98 (DSTU 8829:2019) and the flammability group according to DSTU 8829:2019. Samples with a thickness of 10, 12, 15, 18 and 22 mm were subjected to the test, 5 samples with dimensions of 1100x250 mm for each thickness of the OSB/3 plate.

Another experiment determined the flammability group of OSB/3 boards with a thickness of 10, 12, 15, 18, and 22 mm following DSTU 8829:2019. It was established that when the thickness of the sample increases, the length of the damage and the time of flame burning decrease.

Conclusion. It was experimentally established that the thickness of the OSB/3 board affects its fire hazard indicators. It was established that when the thickness of the sample increases, the length of the damage and the time of flame burning decrease in the test for the spreading group and the flammability group. The flash time in the flame spread group test is increased. Thus, the thickness of the sample will affect the results of the tests for the determination of the flame spread group and the flammability group, however, to confirm this assumption, additional studies on the effect of the thickness of the OSB/3 board on the fire hazard indicators are needed.

Keywords: OSB/3 board, flame spread group, flammability group, fire hazard.

Постановка проблеми. OSB (плити деревинностружкові з орієнтованою стружкою) - це багатошарові плити, виготовлені з деревинної стружки з додаванням клею. У зовнішніх шарах стружка спрямована вздовж довжини плити, а у внутрішньому шарі її може бути розташовано впоперек, орієнтовано, як правило, під кутом до стружки зовнішнього шару. Такі плити, відповідно до [1], класифікуються на 4 типи:

OSB/1 – плити ненавантажувані загальної призначеності та плити для внутрішнього

використання в сухих умовах;

OSB/2 – плити навантажувані для використання в сухих умовах;

OSB/3 – плити навантажувані для використання у вологих умовах;

OSB/4 – плити високонавантажувані для використання у вологих умовах.

Такі плити мають високі міцнісні характеристики та все більш широко застосовуються у будівництві. Механічні властивості наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Механічні властивості OSB/3 плити [1]

Властивості OSB/3 плити	Одиниця	Діапазон товщин плит, мм				
		від 6 до 10	від 10 до 18	від 18 до 25	від 25 до 32	від 32 до 40
Міцність на вигин (головна вісь)	МПа	22	20	18	16	14
Міцність на вигин (мала вісь)	МПа	11	10	9	8	7
Модуль пружності під час вигину (головна вісь)	МПа	3500	3500	3500	3500	3500
Модуль пружності під час вигину (мала вісь)	МПа	1400	1400	1400	1400	1400
Міцність на розтяг	МПа	0,34	0,32	0,3	0,29	0,26

Такі міцнісні характеристики та стійкість до вологи сприяють широкому застосуванню їх у будівництві, зокрема будівництві за каркасною технологією, облаштуванні покрівлі, зведенні зовнішніх і внутрішніх стін, настилів для підлоги та перекриття, спорудженні сходових маршів і майданчиків тощо. Однак суттєвим недоліком таких плит є їх показники пожежної небезпеки, а саме: параметри горючості та розповсюдження полум'я. У зв'язку з цим дослідження впливу чинників пожежної небезпеки OSB/3 плит, а саме їх товщини, є важливим науково-технічним завданням.

Аналіз літературних джерел. Дослідження різноманітних характеристик OSB плит відображені у працях різних авторів. Так, у роботі [2] розглянута екологічна безпека плит OSB, їх властивість до виділення в процесі експлуатації ряду шкідливих речовин. Автори праці [3] експериментально досліджували поведінку дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням на основі OSB/3 плит та без нього в умовах впливу стандартного температурного режиму пожежі. Внаслідок цього встановлено ефективність використання цих плит в якості вогнезахисного облицювання в 2 шари товщиною 10 мм. Незважаючи на те, що OSB/3 є

горючими, вони здатні витримувати дію полум'я і не займатись при цьому деякий час [3]. Подібними дослідженнями займалися автори роботи [4]. Було проведено експерименти на шести повномасштабних зразках стін CFS, в яких ізоляційний матеріал з алюмосилікатної вати був розташований поза рамою CFS і затиснутий між двома шарами дощок з боку вогню замість того, щоб бути розміщеним у порожнині. В експериментах було задіяно п'ять типів панелей, включаючи гіпсокартон, болівійську магнієву плиту, орієнтовані стандартні плити (OSB), плити з автоклавного легкого бетону (ALC) і плити з кам'яної вати.

Вплив шліфування та покриття ультрафіолетовим затвердником на вогнестійкість OSB плит досліджували автори роботи [5]. Було оцінено вплив такої обробки на шорсткість поверхні, стабільність розмірів і вогнестійкість OSB.

Незважаючи на широке застосування OSB плит, великий інтерес науковців до міцнісних характеристик цього матеріалу та дослідження з точки зору пожежної безпеки, поза увагою залишилось питання впливу товщини OSB плити на показники горючості та розповсюдження полум'я, особливо під час їх складування. Тому, на думку авторів варто приділити увагу цим питанням, оскільки, наприклад, під час складування готової продукції товщина палети OSB плити може дорівнювати від 1120 до 1270 мм, і це значною мірою впливатиме на процес розвитку пожежі.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу товщини OSB/3 плити на показники пожежної небезпеки, зокрема розповсюдження полум'я та групи горючості, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-70-98 та ДСТУ 8829:2019.

Виклад основного матеріалу.

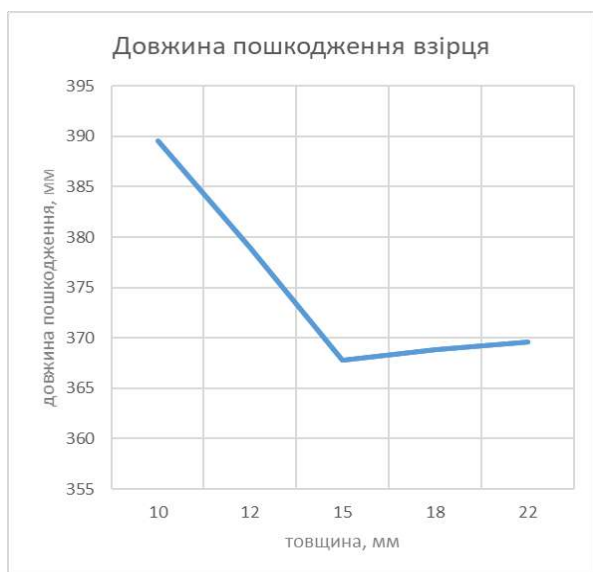
Розповсюдження полум'я – розповсюдження полум'яного горіння по поверхні взірця в результаті впливу описаного в [6]. Сутність методу полягає у визначенні величини теплового потоку, за якого розпочинається та припиняється поширення полум'я поверхнею, та теплоти стійкого горіння взірця під час дії на нього джерела запалювання та променистого теплового потоку.

Об'єктом випробувань були взірці матеріалу OSB/3 плити, що складаються на 90% з деревинної стружки, склеєної синтетичними смолами з додаванням інших хімічних компонентів. Для цих взірців визначалась група поширення полум'я, згідно [6] та група горючості, згідно з [7]. Випробуванню піддавали взірці товщиною 10, 12, 15, 18 та 22 мм по 5 взірців розмірами 1100x250 мм для кожної товщини OSB/3 плити.

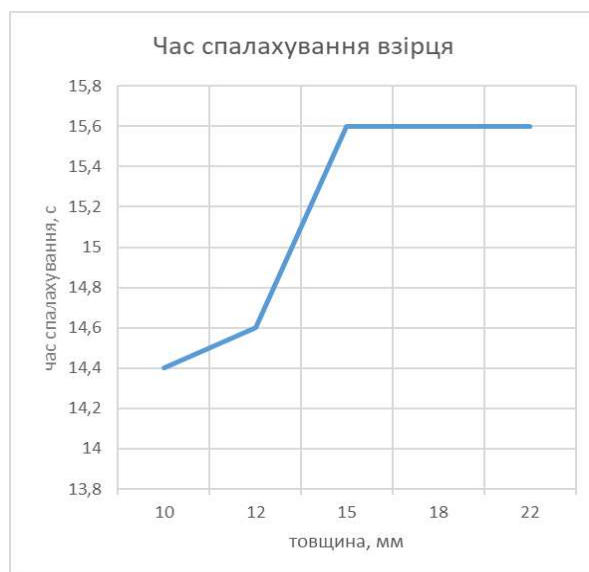
Взірець матеріалу, закріплений на азбоцементній плиті, встановлюють у камеру на платформі, закривають дверцята камери та вмикають секундомір. Після витримки протягом 2 хв приводять полум'я пальника у контакт із взірцем у точці «0» на центральній осі взірця. Залишають факел полум'я в цьому положенні протягом $10 \pm 0,2$ хв. Після закінчення цього часу пальник повертають у вихідне положення [6].

За відсутності займання взірця протягом 10 хв випробування вважають завершеним. У випадку займання взірця випробування закінчують при припиненні полум'яного горіння або після закінчення 30 хв від початку впливу на взірець газового пальника шляхом спонукального гасіння.

Результати випробувань наведено на рис.1-3

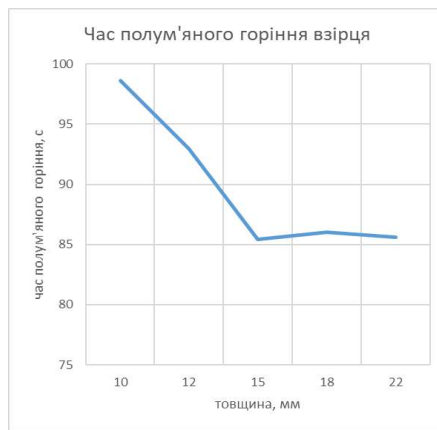


а)



б)

Рисунок 1 – Залежність деяких показників пожежної небезпеки від товщини взірців при визначенні групи розповсюдження полум'я:
а) довжина пошкодження; б) час спалахування;



в)

Продовження рисунка 1 – Залежність деяких показників пожежної небезпеки від товщини взірців при визначенні групи розповсюдження полум'я:
в) час полум'яного горіння

З рисунка 1 добре видно, що при збільшенні товщини взірця зменшується довжина пошкодження та час полум'яного горіння, а час спалахування збільшується. Так, середня довжина пошкодження для взірця товщиною 10 мм становить 389,6 мм, для товщини 15 мм – 367,8 мм, а для взірця товщиною 22 мм – 369,6 мм. Середній час полум'яного горіння для взірця товщиною 10 мм становить 98,6 с, для 15 мм – 85,4 с, а для взірця 22 мм – 85,6 с. Також спостерігається незначне збільшення середнього часу спалахування, від 14,4 для взірця товщиною 10 мм до 15,6 для взірців товщиною 15, 18 та 22 мм. Виходячи з цих даних, можна зробити проміжний висновок, що товщина взірця впливатиме на результати випробувань щодо визначення групи поширення полум'я.

Іншим дослідом встановлювалась група горючості OSB/3 плити товщиною 10, 12, 15, 18, та 22 мм відповідно до [7].

Суть методу полягає у введенні 4-ох взірців,

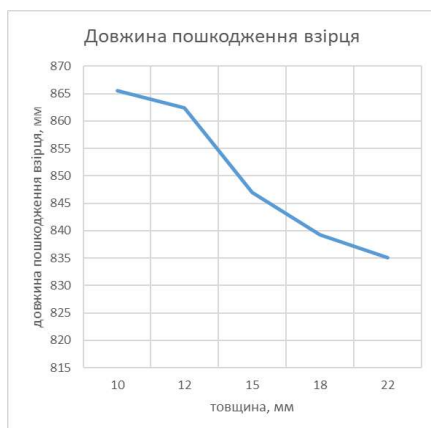
закріплених в тримачі, до камери згоряння, дій на взірці полум'я від джерела запалювання з заданими параметрами.

Для кожного випробування виготовлялись 12 взірців завдовжки 1000 мм та завширшки 190 мм та відповідної товщини. Для кожної товщини матеріалу проводилось 3 випробування.

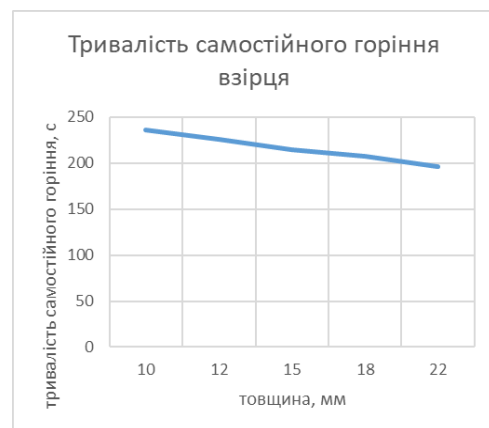
Тривалість дії полум'я на взірець від джерела запалювання повинна становити 10 хв. По закінченню 10 хв джерело запалювання виключають. За наявності полум'я або ознак тління фіксують тривалість самостійного горіння (тління). Випробування вважають закінченим після охолодження взірців до температури навколишнього середовища [7].

Для кожного випробування визначають такі показники: температуру димових газів, тривалість самостійного горіння (тління), довжину пошкодження взірця, масу взірця після випробування.

Результати випробувань наведено на рис.2



а)



б)

Рисунок 2 – Залежність деяких показників пожежної небезпеки від товщини взірців при визначенні групи горючості:
а) довжина пошкодження; б) час полум'яного горіння

З рисунка 2 видно, що при збільшенні товщини взірця зменшується довжина пошкодження та час полум'яного горіння. Так середня довжина пошкодження для взірця товщиною 10 мм становить 865,6 мм, для товщини 15 мм – 846,9 мм, а для взірця товщиною 22 мм – 835,1 мм. Тривалість самостійного горіння для взірця товщиною 10 мм становить 236 с, для 15 мм – 215 с, а для взірця 22 мм – 196 с. Виходячи з цих даних, можна зробити проміжний висновок, що товщина взірця впливатиме на результати випробувань щодо визначення групи горючості OSB/3 плити.

Висновок. Експериментально встановлено, що товщина OSB/3 плити впливає на показники її пожежонебезпечності. Встановлено, що при збільшенні товщини взірця зменшується довжина пошкодження та час полум'яного горіння при випробуванні на групу розповсюдження та групу горючості. Час спалахування при випробуванні на групу розповсюдження полум'я збільшується. Таким чином товщина взірця може впливати на результати випробувань щодо визначення групи поширення полум'я (а саме на довжину пошкодження, час спалахування та тривалість самостійного горіння) та групи горючості (довжини пошкодження та тривалості самостійного горіння), однак для підтвердження цього припущення необхідно провести додаткові дослідження з OSB/3 плитами іншої товщини, (наприклад 30, 40 та 50 мм) щодо їх впливу на показники пожежної безпеки.

Список літератури:

1. ДСТУ EN 300:2008. Плити деревинностружкові з орієнтованою стружкою (OSB). Терміни та визначення понять, класифікація та технічні вимоги (EN 300:2006, IDT).
2. Лоїк В., Бабаджанова О., Синельников О. Фактори небезпеки використання плит OSB. Міжнародний науковий журнал «Грааль науки». 2023, №29. С. 121-128. doi.org/10.36074/grail-of-science.07.07.2023.017
3. Фещук Ю. Л., Поздєєв С. В., Ніжник В. В. Експериментальні дослідження поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням в умовах пожежі. Проблеми пожежної безпеки. 2017. №42. С. 155-164.
4. Chen, W., Ye, J., Bai, Y., & Zhao, X. L. Improved fire resistant performance of load bearing cold-formed steel interior and exterior wall systems. Thin-Walled Structures. 2013. № 73, pp. 145-157. doi.org/10.1016/j.tws.2013.07.017
5. Evans, P. D., & Cullis, I. Effect of sanding and

coating with UV-cured finishes on the surface roughness, dimensional stability and fire resistance of oriented strandboard. Holz als Roh-und Werkstoff. 2008. №3(66), pp.191-199.

doi.org/10.1007/s00107-008-0238-4

6. ДСТУ Б В.2.7-70-98 Матеріали будівельні. Метод випробування на розповсюдження полум'я.

7. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація.

References:

1. DSTU EN 300:2008. Plyty derevynnostruzhkovi z oriyentovanoyu struzhkoyu (OSB). Terminy ta vyznachennya ponyat, klasyfikatsiya ta tekhnichni vymohy [Chipboards with oriented strand board (OSB). Terms and definitions, classification and technical requirements] (EN 300:2006, IDT) [in Ukrainian].
2. Loyik V., Babadzhanova O., Synelnykov O. (2023). Faktory nebezpeky vykorystannya plyt OSB [Danger factors of using OSB plates]. Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal «Hraal nauky», №29, S. 121-128. doi.org/10.36074/grail-of-science.07.07.2023.017 [in Ukrainian].
3. Feshchuk YU. L., Pozdyeyev S. V., Nizhnyk V. V. (2017) Eksperymentalni doslidzhennya povedinky derevyanykh kolon z vohnezakhysnym oblytsyuvanniam v umovakh pozhazhi [Experimental studies of the behavior of wooden columns with fire-resistant cladding under fire conditions]. Problemy pozhazhnoyi bezpeky, №42, S. 155-164 [in Ukrainian].
4. Chen, W., Ye, J., Bai, Y., & Zhao, X. L. (2013). Improved fire resistant performance of load bearing cold-formed steel interior and exterior wall systems. Thin-Walled Structures, № 73, pp. 145-157. doi.org/10.1016/j.tws.2013.07.017 [in English].
5. Evans, P. D., & Cullis, I. (2008). Effect of sanding and coating with UV-cured finishes on the surface roughness, dimensional stability and fire resistance of oriented strandboard. Holz als Roh-und Werkstoff, №3(66), pp.191-199. doi.org/10.1007/s00107-008-0238-4 [in English].
6. DSTU B V.2.7-70-98 Materialy budivelni. Metod vyprovuvannya na rozpovsyudzhennya polumya [Building materials. Flame propagation test method] [in Ukrainian].
7. DSTU 8829:2019 Pozhezhovybukhonebezpechnist rehovyn i materialiv. Nomenklatura pokaznykiv i metody yikhnoho vyznachennya. Klasyfikatsiya [Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination. Classification] [in Ukrainian].

© Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен,
В. Л. Петровський, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 29.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



Marek Chmiel

Politechnika Częstochowska, Polska

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8662-7127> – Marek Chmiel



marek.chmiel@pcz.pl

WPLYW NAPĘDÓW ELEKTRYCZNYCH I AUTOMATYKI STOSOWANYCH W DRZWIACH PRZECIWOPOŻAROWYCH NA BEZPIECZEŃSTWO EWAKUACJI OSÓB Z BUDYNKU PODCZAS POŻARU

Streszczenie: Głównym zadaniem drzwi przeciwpożarowych jest zapobieganie rozprzestrzenianiu się ognia, dymu i ciepła wewnątrz budynku oraz umożliwianie bezpiecznej ewakuacji osób. W razie wystąpienia pożaru zamykają się automatycznie. Istnieją również drzwi przesuwne przystosowane do działań w przypadku alarmu pożarowego. Wyposażone są w systemy automatyki pozwalające na ich automatyczne otwieranie się w momencie wykrycia pożaru, co ułatwia ewakuację ludzi i umożliwia szybszy dostęp służb ratowniczych. Istnieje wiele dodatkowych czynników i rozwiązań związanych z drzwiami przeciwpożarowymi i drzwiami automatycznymi, które warto uwzględnić w kontekście bezpieczeństwa pożarowego. W drzwiach przeciwpożarowych można zainstalować systemy alarmowe i monitorowania, które po wykryciu pożaru automatycznie otworzą drzwi, wyślą sygnał do służb ratowniczych i włączą inne systemy zabezpieczające, takie jak systemy oddymiania czy gaszenia pożaru. Obecnie stosowane są innowacyjne rozwiązania związane z drzwiami przeciwpożarowymi, takie jak drzwi aktywne termicznie, które automatycznie reagują na wzrost temperatury i w przypadku pożaru zamykają się. Również systemy sterowania drzwiami i ich monitoringu stają się coraz bardziej zaawansowane, umożliwiając zdalne zarządzanie i monitorowanie statusu drzwi w czasie rzeczywistym. Elementy napędowe i automatyka drzwi przeciwpożarowych podlegają szczegółowym wymaganiom, określonym w normach i przepisach.

Słowa kluczowe: drzwi przeciwpożarowe, bezpieczeństwo, ewakuacja, instalacje.

Маре́к Хмі́ль

Ченстоховський політехнічний університет, Республіка Польща

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ТА АВТОМАТИКИ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ДВЕРЕЙ НА БЕЗПЕКУ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ З БУДІВЛІ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ

Ано́тація: Основним завданням протипожежних дверей є запобігання поширенню вогню, диму та тепла всередині будівлі та можливість безпечної евакуації людей. У разі виникнення пожежі вони закриваються автоматично. Є також розсувні двері, що застосовуються у випадку пожежної тривоги. Вони оснащені системами автоматизації, які їх автоматично відкривають при виявленні пожежі, що полегшує евакуацію людей і забезпечує швидкий доступ рятувальних служб. Існує багато додаткових факторів і рішень, пов'язаних з протипожежними та автоматичними дверима, які варто враховувати в контексті пожежної безпеки. Протипожежні двері можна оснастити системами сигналізації та моніторингу, які при виявленні пожежі автоматично відкривають двері, передадуть сигнал рятувальним службам і активують інші системи безпеки, наприклад, системи димовидалення або пожежогасіння. На сьогодні використовуються інноваційні рішення, пов'язані з протипожежними дверима, такі як термоактивні двері, які автоматично реагують на підвищення температури і закриваються в разі пожежі. Системи контролю та моніторингу дверей також стають все більш досконалими, дозволяючи дистанційне керування та моніторинг стану дверей у реальному часі. До елементів приводу та автоматики протипожежних дверей висуваються особливі вимоги, визначені стандартами та правилами.

Ключові слова: протипожежні двері, охорона, евакуація, установки.

Marek Chmiel

Częstochowa University of Technology, Poland

GLASS PARTITIONS FOR FIRE PROTECTION IN CONSTRUCTION

Summary: The main purpose of fire doors is to prevent the spread of fire, smoke and heat inside a building and to enable the safe evacuation of people. In the event of a fire, they close automatically. There are also sliding doors suitable for operation in the event of a fire alarm. They are equipped with automation systems that allow them to open automatically when a fire is

detected, making it easier to evacuate people and allowing faster access for the emergency services. There are many additional factors and solutions associated with fire doors and automatic doors that are worth considering in terms of fire safety. Fire doors can be fitted with alarm and monitoring systems that will automatically open the door when a fire is detected, send a signal to the emergency services and activate other safety systems such as smoke extraction or fire suppression systems. Innovative solutions related to fire doors are now being used, such as thermally active doors that automatically react to a rise in temperature and close in the event of a fire. Door control and monitoring systems are also becoming increasingly sophisticated, enabling remote management and real-time monitoring of door status. The drive components and automation of fire doors are subject to specific requirements, as defined by standards and regulations.

Keywords: fire doors, safety, evacuation, installations.

Wstęp

Do pożaru może dojść w każdym momencie, niezależnie od starań osób odpowiadających za stan budynku czy jego ochronę. Dotyczy to przede wszystkim budynków użyteczności publicznej, w których codziennie przebywa wiele osób. Duża liczba użytkowników tymczasowych i ich ogromna rotacja (zwłaszcza w przypadku wydarzeń masowych organizowanych w budynkach lub w punktach komunikacyjnych) utrudniają wykrycie i zneutralizowanie zagrożeń. W razie pożaru ogromną rolę odgrywają nie tylko czujniki, które jako pierwsze zasygnalizują niepokojące zdarzenie, ale także inne elementy systemu ochrony przeciwpożarowej. Jednym z nich są drzwi przeciwpożarowe, które powinny spełniać niezbędne wymagania techniczne.

Ich głównym zadaniem jest zapobieganie rozprzestrzenianiu się ognia, dymu i ciepła wewnątrz budynku oraz umożliwianie bezpiecznej ewakuacji osób. W razie wystąpienia pożaru zamykają się automatycznie. Drzwi przeciwpożarowe są wykonane z materiałów ognioodpornych i cechują się specjalnymi właściwościami, takimi jak wytrzymałość na działanie wysokich temperatur i utrzymywanie integralności strukturalnej przez określony czas. Ważne jest, aby drzwi te były odpowiednio skonstruowane i miały odpowiednie certyfikaty oraz oznaczenia, które potwierdzają ich zgodność z normami przeciwpożarowymi.

Istnieją również drzwi przesuwne przystosowane do działań w przypadku alarmu pożarowego. Wyposażone są w systemy automatyki pozwalające na ich automatyczne otwieranie się w momencie wykrycia pożaru, co ułatwia ewakuację ludzi i umożliwia szybszy dostęp służb ratowniczych.

Istnieje wiele dodatkowych czynników i rozwiązań związanych z drzwiami przeciwpożarowymi i drzwiami automatycznymi, które warto uwzględnić w kontekście bezpieczeństwa pożarowego.

W drzwiach przeciwpożarowych można zainstalować systemy alarmowe i monitorowania, które po wykryciu pożaru automatycznie otworzą drzwi, wyślą sygnał do służb ratowniczych i włączą inne systemy zabezpieczające, takie jak systemy oddymiania czy gaszenia pożaru.

Obecnie stosowane są innowacyjne rozwiązania, takie jak drzwi aktywne termicznie, które automatycznie reagują na wzrost temperatury i w

przypadku pożaru zamykają się. Również systemy sterowania drzwiami i ich monitoringu stają się coraz bardziej zaawansowane, umożliwiając zdalne zarządzanie i monitorowanie statusu drzwi w czasie rzeczywistym.

Drzwi przeciwpożarowe powinny być odpowiednio oznakowane, aby były łatwo rozpoznawalne w przypadku zagrożenia pożarowego. Oznakowanie powinno zawierać informacje o klasie pożarowej drzwi, czasie ich odporności oraz oznaczenia ewakuacyjne, takie jak strzałki wskazujące drogę ewakuacyjną.

Ważne jest, aby drzwi przeciwpożarowe i drzwi przesuwne automatyczne były regularnie konserwowane i poddawane przeglądom – zapewni to ich poprawne działanie i spełnianie ich funkcji w razie zagrożenia pożarem. Dlatego inwestowanie w odpowiednie drzwi przeciwpożarowe oraz systemy automatyzacji drzwiowych może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa w budynkach i ochrony życia oraz mienia w przypadku pożaru.

Personel odpowiedzialny za budynek, w którym znajdują się drzwi przeciwpożarowe i automatyczne, musi być odpowiednio przeszkolony w zakresie obsługi tych systemów. Powinien być świadomy procedur ewakuacyjnych, zasady otwierania i zamykania drzwi oraz wiedzieć, jak postępować w przypadku alarmu pożarowego.

Drzwi przeciwpożarowe i automatyczne odgrywają kluczową rolę w zabezpieczeniu budynków przed rozprzestrzenianiem się ognia i dymu. Elementy napędowe i automatyka drzwi przeciwpożarowych podlegają szczegółowym wymaganiom, określonym w normach i przepisach.

1. Konstrukcja drzwi przeciwpożarowych

Drzwiami przeciwpożarowymi nazywane są ruchome zamknięcia umieszczone w pionowych przegrodach, które mają określoną klasę odporności ogniowej. Drzwi przeciwpożarowe są projektowane w taki sposób, aby w razie pożaru były w stanie zatrzymać przedostawanie się ognia do innych pomieszczeń lub stref, co pozwala na zminimalizowanie skutków pożaru. Klasyfikowane są na podstawie swojej odporności ogniowej, którą określa się w jednostkach czasu, takich jak 0,5 godz., 1 godz. lub 1 godz. 30 min. To oznacza, że zapewniają skuteczną ochronę przed ogniem przez określony czas, umożliwiając bezpieczną ewakuację ludzi i

pozwalając straży pożarnej na skuteczną interwencję ratowniczo-gaśniczą [1].

Jeden z rodzajów drzwi przeciwpożarowych stanowi *konstrukcja płaszczowa*, w której skrzydło drzwiowe wykonane jest z blachy stalowej [1]. Blacha poszycia skrzydła zazwyczaj ma grubość od 0,7 do 1,5 mm, a samo skrzydło może mieć grubość od 40 do 75 mm. W celu wzmocnienia konstrukcji wzdłuż krawędzi bocznych oraz na dolnej i górnej krawędzi umieszcza się dodatkowe wzmocnienia wykonane z blachy stalowej. Jako główny materiał izolacyjny używana jest wełna mineralna, która ma wysoką temperaturę topnienia, nie niższą niż 1000°C. Wkład z wełny mineralnej powinien mieć odpowiednią gęstość, aby zapewnić właściwą izolacyjność podczas pożaru. W przypadku drzwi o odporności półgodzinnej (klasy EI2 30) gęstość wełny mineralnej waha się od 150 do 220 kg/m³. Ościeżnice drzwi płaszczowych najczęściej są profilowane z blachy stalowej o grubości od 1,5 do 2,0 mm. Te dodatkowe elementy konstrukcyjne zapewniają odpowiednią wytrzymałość i stabilność całej konstrukcji drzwiowej [1].

Drzwi przeciwpożarowe płaszczowe cechuje wysoka skuteczność w ograniczaniu rozprzestrzeniania się ognia i dymu. Dzięki swojej solidnej konstrukcji i skuteczności są często stosowane w różnych budynkach i obiektach, w których wymagana jest podwyższona ochrona przeciwpożarowa [1].

Innym rozwiązaniem są *drzwi przeciwpożarowe ramowe*. Konstrukcja tych drzwi składa się z ramy wykonanej z połączonych ze sobą zimnogiętych kształtowników (profilu). Wnętrze ramy wypełnione jest nieprzeziernym panelem (płytą) lub szkłem przeciwpożarowym. Stosowane kształtowniki stalowe mają różne przekroje i konstrukcje, dostosowane do konkretnego systemu drzwi. Grubość skrzydła drzwi zależy od wymiarów ramy, systemu oraz klasy odporności ogniowej i może wynosić od kilkudziesięciu do nawet stu kilku milimetrów. Wypełnienie nieprzeziernego panelu izolacyjnego zazwyczaj wykonane jest z płyty z wełny mineralnej, pokrytej okładzinami z blachy stalowej. Taka kombinacja zapewnia wysoką odporność ogniową oraz izolację termiczną [1].

Ościeżnice drzwi ramowych również są wykonane ze stalowych kształtowników zimnogiętych, co zapewnia dodatkową wytrzymałość i stabilność konstrukcji. Drzwi przeciwpożarowe ramowe są skutecznym rozwiązaniem chroniącym przed rozprzestrzenianiem się ognia i dymu. Ich konstrukcja zapewnia odpowiednią trwałość oraz wytrzymałość na działanie wysokich temperatur. Są powszechnie stosowane w różnego rodzaju obiektach, w których wymagana jest skuteczna ochrona przeciwpożarowa. Dzięki swojej solidnej budowie i skuteczności są cenionym rozwiązaniem w branży bezpieczeństwa [1].

Specjalne poszycie skrzydła w drzwiach przeciwpożarowych stanowi innowacyjne rozwiązanie w konstrukcji stalowych drzwi przeciwpożarowych. Sklejenie poszycia skrzydła z wypełnieniem izolacyjnym pozwala uzyskać idealnie płaską powierzchnię [1].

Tradycyjnie poszycie skrzydła, zwłaszcza o dużej powierzchni, miało tendencję do falowania, co negatywnie wpływało na estetykę drzwi. Dzięki technologii klejenia problem ten został rozwiązany, a drzwi zyskały atrakcyjny wygląd. Zastosowana technologia umożliwia również wykonanie drzwi o strukturze drewnopodobnej, ponieważ eliminuje konieczność spawania lub zgrzewania, co mogło powodować uszkodzenie folii zintegrowanej z blachą poszycia [1].

2. Drzwi przeciwpożarowe a gwarancja szybkiej ewakuacji

Drzwi przeciwpożarowe stanowią niezwykle istotny element zabezpieczający budynki przed rozprzestrzenianiem się ognia i dymu podczas pożaru. Ich właściwa konstrukcja, montaż i utrzymanie mają kluczowe znaczenie dla skutecznej ewakuacji osób oraz minimalizacji strat materialnych. Poniżej omówione zostaną kluczowe aspekty, które podkreślają rolę drzwi przeciwpożarowych jako gwarancji szybkiej ewakuacji.

Drzwi przeciwpożarowe są specjalnie zaprojektowane i wykonane z materiałów o wysokiej odporności na działanie ognia. Standardowe drzwi przeciwpożarowe muszą spełniać określone normy i kryteria dotyczące odporności na ogień, takie jak określony czas wytrzymałości na jego oddziaływanie. Czas ten określa, jak długo drzwi będą chronić przed przenikaniem ognia i dymu. Dzięki takiemu opóźnieniu osoby znajdujące się w budynku mają więcej czasu na bezpieczną ewakuację i uniknięcie zagrożenia. Drzwi przeciwpożarowe są również skuteczną barierą dla dymu. Dym jest często bardziej niebezpieczny niż samo ognisko pożaru, ponieważ zawiera toksyczne substancje i narażenie na kontakt z nim może prowadzić do utraty świadomości. Drzwi przeciwpożarowe, dzięki swojej konstrukcji i szczelności, ograniczają przenikanie dymu z jednego pomieszczenia do drugiego, umożliwiając tym samym ewakuację osób w bezpieczniejszym środowisku.

Aby móc zapewnić szybką i skuteczną ewakuację, drzwi przeciwpożarowe powinny spełniać odpowiednie wymagania oraz być odpowiednio oznakowane i wyposażone w sygnalizację, która informuje o ich roli i dostępności w przypadku pożaru. Wymagania dotyczą odpowiedniej szerokości drzwi, a także skrzydeł, które po całkowitym otwarciu nie mogą zmniejszać szerokości drogi ewakuacyjnej – jeśli są spełnione, ułatwia to ewakuację. Oznakowanie drzwi przeciwpożarowych obejmuje umieszczenie tabliczek z informacjami o klasie

pożarowej, czasie wytrzymałości na ogień oraz oznaczeń ewakuacyjnych, takich jak strzałki wskazujące drogę ewakuacyjną. Dodatkowo drzwi przeciwpożarowe mogą być wyposażone w systemy sygnalizacji, które automatycznie informują o stanie drzwi w przypadku pożaru. Są to np. lampki sygnalizacyjne, które świecą na czerwono w momencie, gdy drzwi są zamknięte, a na zielono, gdy są otwarte. To umożliwia łatwe i szybkie zlokalizowanie dostępnych drzwi ewakuacyjnych w sytuacji awaryjnej.

Zasadniczą funkcją drzwi przeciwpożarowych jest wydzielenie dwóch stref – bezpiecznej i tej, na której może rozprzestrzeniać się ogień. Ogromną rolę pełni SAP, czyli system sygnalizacji alarmowej pożarowej. Drzwi przeciwpożarowe powinny być do niego podłączone.

Aby drzwi przeciwpożarowe mogły pełnić swoją rolę w ewakuacji, konieczne jest utrzymanie ich w odpowiednim stanie. Konserwacja i regularne przeglądy powinny być przeprowadzane zgodnie z określonym harmonogramem i wytycznymi producenta. W ramach tych przeglądów sprawdza się stan uszczelnień, zawiasów, zamków oraz innych elementów, które mogą wpływać na działanie drzwi. W razie stwierdzenia uszkodzeń lub nieprawidłowości należy dokonać niezbędnych napraw lub wymienić drzwi.

Prawidłowo działające drzwi przeciwpożarowe, które są regularnie konserwowane i sprawdzane, stanowią kluczowy element szybkiej ewakuacji w przypadku pożaru. Ważne jest, aby zarządcy budynków i odpowiedzialni za bezpieczeństwo utrzymywali wysoki standard konserwacji drzwi przeciwpożarowych i przeprowadzali regularne

przeglądy – aby mieć pewność, że drzwi są gotowe do spełnienia swojej roli w razie potrzeby. To warunek skuteczności ochrony życia i mienia w sytuacji awaryjnej.

Sposób zamykania drzwi przeciwpożarowych dzieli je na dwa typy: drzwi przesuwne i przymykowe. Każdy z nich ma inne cechy i zastosowania. Decyzja o wyborze rodzaju drzwi zależy w dużej mierze od indywidualnych potrzeb i charakterystyki danego budynku. Drzwi przeciwpożarowe przesuwne i przymykowe mają różne właściwości, takie jak szerokość wejścia, wymiary miejsca przed nimi i po bokach, które można dostosować do określonych warunków.

Drzwi przeciwpożarowe przesuwne otwierają się przez przesuwanie jednego lub dwóch skrzydeł drzwi po torach lub prowadnicach. Ich otwieranie i zamykanie jest płynne i ciche. Są zazwyczaj stosowane w pomieszczeniach o dużym natężeniu ruchu, takich jak supermarkety, teatry, kina, galerie handlowe, dworce kolejowe itp. Mogą być używane w trybie automatycznym, jak i ciągłego otwarcia lub zamknięcia. Stosowanie drzwi tego typu pozwala na oszczędzanie miejsca, ponieważ nie wykorzystują przestrzeni przed i za nimi. Ze względu na brak szyny, progów czy stopni drzwi przesuwne są w pełni przystosowane do potrzeb osób niepełnosprawnych. Mogą być również wyposażone w dodatkowe funkcje, takie jak automatyczne otwieranie i zamknięcie, czujniki ruchu, sygnalizację dźwiękową i świetlną, które pomagają w szybkiej ewakuacji w przypadku pożaru [2]. Podczas pożaru otwierają się, a dzięki zastosowaniu akumulatorów jest to możliwe również w przypadku odcięcia zasilania. Z uwagi na konstrukcję słabo sprawdzają się w zadaniu odcięcia stref pożarowych.



Ryc. 1. – Drzwi przesuwne

Drzwi przeciwpożarowe przymykowe to tradycyjne drzwi, na zawiasach. Mogą mieć jedno- lub dwuskrzydłową konstrukcję. Drzwi przymykowe są często stosowane w mniejszych pomieszczeniach, takich jak biura, szkoły, szpitale, hotele, a także w domach jednorodzinnych. W przypadku pożaru automatycznie

zamykają się dzięki zastosowaniu mechanizmów samozamykających, zamków elektromagnetycznych – jeżeli mają odciąć strefę pożarową lub otwierają – aby ułatwić ewakuację z budynku. Mają one również specjalne uszczelki ognioodporne, które zapewniają ochronę przed przenikaniem ognia i dymu przez szczeliny [2].



Ryc. 2. – Drzwi przemykowe

Przy wyborze odpowiedniego rodzaju drzwi przeciwpożarowych warto wziąć pod uwagę: układ pomieszczeń, rodzaj działalności prowadzonej w budynku, dostępną przestrzeń, a także wymagania norm i przepisów przeciwpożarowych. Ostateczny wybór pomiędzy drzwiami przesuwными i przemykowymi powinien być dokładnie przemyślany, aby zapewnić maksymalną ochronę przed pożarem, a jednocześnie dostosowanie do specyficznych warunków budynku.

3. Napędy w drzwiach automatycznych

Napędy elektryczne stosowane na drogach pożarowych są istotnym elementem systemów bezpieczeństwa pożarowego w budynkach i obiektach. Zapewniają one kontrolowane otwieranie i zamykanie drzwi przeciwpożarowych oraz umożliwiają szybką i skuteczną ewakuację w razie pożaru.

Istnieje kilka rodzajów napędów elektrycznych stosowanych na drogach pożarowych, a najpopularniejsze z nich to:

- napędy elektromechaniczne – wykorzystują silniki elektryczne do napędu mechanizmu otwierającego/zamykającego drzwi, są wydajne i niezawodne, często stosowane w dużych obiektach.

- napędy elektrohydrauliczne – kombinują energię elektryczną z układem hydraulicznym oraz zapewniają

większą siłę i moment obrotowy, mogą być stosowane w dużych i ciężkich drzwiach przeciwpożarowych.

Napędy elektryczne na drogach pożarowych są zazwyczaj wyposażone w różne funkcje i tryby pracy, które umożliwiają dostosowanie ich działania do konkretnych potrzeb. Mogą mieć programowalne czasy otwierania i zamykania, tryby awaryjne, reagowanie na sygnały alarmowe czy też zdalne sterowanie. Są zazwyczaj wyposażone w systemy zasilania awaryjnego. Wykorzystują baterie lub generatory, aby zapewnić ciągłość działania napędu nawet przy braku zasilania z sieci.

Często mają wbudowane systemy bezpieczeństwa, tj. czujniki przeszkód, czujniki zatrzymujące. Mogą być również monitorowane za pomocą centralnego systemu zarządzania, który pozwala na nadzór i diagnostykę ich pracy.

Napędy elektryczne na drogach pożarowych powinny być zgodne z odpowiednimi normami i przepisami bezpieczeństwa, takimi jak normy dotyczące drzwi przeciwpożarowych oraz systemów zarządzania pożarem. Ich prawidłowe zainstalowanie, konserwacja i regularne przeglądy są kluczowe dla utrzymania ich sprawności i skuteczności w razie wystąpienia pożaru.



Ryc. 3. – Napęd drzwi przemykowych

Bezpieczeństwo pożarowe obiektu, w którym zainstalowane są zautomatyzowane systemy przeciwpożarowe, jest stale monitorowane. Gdy tylko system wykryje pożar, automatycznie uruchamia procedurę gaszenia oraz jednocześnie alarmuje personel i jednostki straży pożarnej. Niezwykle istotne jest ciągłe nadzorowanie poziomu bezpieczeństwa pożarowego, gdyż od szybkości reakcji na wybuch pożaru do podjęcia akcji gaśniczej często zależy powodzenie całej operacji.

W przypadku zagrożenia pożarowego szybka reakcja ma kluczowe znaczenie dla skuteczności akcji gaśniczej. Właściwe i terminowe dostarczenie informacji umożliwia podejmowanie trafnych decyzji bez zwłoki, co pozwala zapobiec dalszemu rozprzestrzenianiu się ognia i minimalizuje szkody. Systemy bieżącego monitorowania bezpieczeństwa pożarowego pozwalają na ciągłe śledzenie aktualnego stanu wszystkich zainstalowanych systemów bezpieczeństwa i technicznych zabezpieczeń w obiekcie, co sprzyja szybkiej identyfikacji wszelkich potencjalnych zagrożeń i reakcji na nie [3].

Pisząc o bezpieczeństwie, ewakuacji osób z budynków podczas pożaru należy zwrócić uwagę na systemy, które wiążą się z systemami automatyki pożarowej:

- wizualizację systemów bezpieczeństwa.
- system wizualizacji zdarzeń pożarowych.

Wizualizacja systemów bezpieczeństwa stanowi niezwykle cenne narzędzie zarówno w normalnym trybie funkcjonowania obiektu, jak i w sytuacjach zagrożenia. W codziennym użytkowaniu umożliwia pełną kontrolę nad stanem wszystkich elementów poszczególnych systemów, zapewniając ich sprawność i gotowość do skutecznego wykrycia zagrożenia. Dzięki temu personel może na bieżąco monitorować działanie systemów, co ma kluczowe znaczenie dla utrzymania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Jednak prawdziwa waga wizualizacji systemów bezpieczeństwa ukazuje się w sytuacjach alarmowych. Gdy nastąpi zaalarmowanie, umożliwia ona błyskawiczne podjęcie decyzji, precyzyjne zlokalizowanie miejsca zagrożenia pożarowego lub włamania oraz wdrożenie odpowiednich scenariuszy postępowania. Dzięki natychmiastowemu dostępowi do kluczowych informacji personel może szybko i skutecznie reagować na występujące zagrożenia, co może zminimalizować ryzyko szkód i zagrożenia dla ludzi [3].

Wizualizację systemów bezpieczeństwa reguluje ustawa o ochronie przeciwpożarowej z dnia 24 sierpnia 1991 r. [4] oraz rozporządzenie MSWiA z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [5], precyzuje rodzaje systemów i urządzeń przeciwpożarowych oraz kategorie budynków, w których są one bezwzględnie wymagane.



Ryc. 4. – Wizualizacja systemów na stanowisku operatorskim

Do systemów wymienianych przez ustawodawcę należą m.in. systemy sygnalizacji pożaru, instalacje wentylacji pożarowej, oświetlenie ewakuacyjne czy też dźwiękowe systemy ostrzegawcze. Mają one na celu wykrycie zagrożenia pożarowego, poinformowanie o nim służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo oraz wspomaganie przeprowadzenia w jak najkrótszym czasie bezpiecznej i szybkiej ewakuacji zagrożonych ludzi. Narzędziem, które wspomaga służby w realizacji tych działań jest

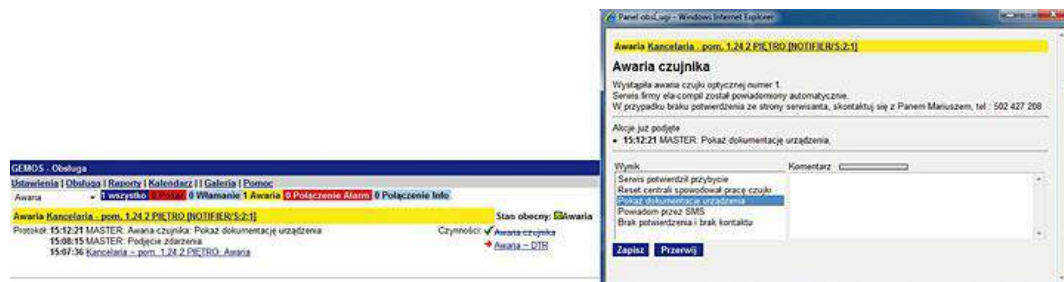
wizualizacja systemu sygnalizacji pożaru i urządzeń automatyki pożarowej (ryc. 4).

Wizualizacja systemu sygnalizacji pożaru polega na czytelnym i zrozumiałym przedstawieniu służbom obiektu (operatorom) danych, które wpływają z systemu, w celu podjęcia odpowiedniej decyzji. Na ekranie komputera, na planach sytuacyjnych, odzwierciedlany jest aktualny stan wszystkich elementów detekcyjnych i wykonawczych, co wprowadza uporządkowany, ustandaryzowany sposób

prezentowania stanów systemów, niezależnie od ich producentów. Wizualizacja może dotyczyć pojedynczego systemu sygnalizacji pożaru (wizualizacja jednosystemowa) lub większej liczby systemów (wizualizacja wielosystemowa). W zależności od wielkości i charakteru obiektu wizualizacja może odbywać się na jednym lub większej liczbie stanowisk.

Wizualizacja ma za zadanie wskazanie miejsca wystąpienia zdarzenia wraz ze wszystkimi wskazówkami, niezbędnymi do prawidłowego zachowania się podczas sytuacji krytycznej. Przykładem może być podanie operatorowi informacji

tekstowej prezentowanej na stosie alarmowym (ryc. 5). Nieocenioną pomocą jest także wykorzystanie grafik – planów sytuacyjnych obiektu w formacie pikselowym lub nowocześniejszym, wektorowym. Grafiki prezentujące plany sytuacyjne obiektu umożliwiają szybkie zlokalizowanie miejsca wystąpienia alarmu. Pozwalają również na zastosowanie warstw graficznych, na których można umieszczać czujniki różnych systemów, okablowanie czy rozlokowanie szafek urządzeń rozproszonych itp. Mocną stroną grafik wektorowych jest możliwość dowolnego powiększania planów nawet największych i najbardziej skomplikowanych obiektów, bez utraty jakości.



Ryc. 5. – Informacja tekstowa o zdarzeniu prezentowana na stosie alarmowym

Wizualizacja systemu sygnalizacji pożaru jest przydatna zarówno podczas normalnego funkcjonowania obiektu, ponieważ pozwala kontrolować stan wszystkich elementów, co zapewnia sprawność i gotowość systemu do wykrycia zagrożenia, jak i w sytuacjach zagrożenia, kiedy zachodzi konieczność szybkiego podjęcia decyzji, zlokalizowania miejsca powstania pożaru oraz w realizacji scenariusza pożarowego. Stanom elementów prezentowanych na planach sytuacyjnych przyporządkowane są kolory według pewnego standardu. Szczególnie istotne jest tutaj wykorzystanie podstawowych kolorów, według których można zobrazować stany wszystkich urządzeń:

- zielony – stan normalny
- żółty – uszkodzenie
- czerwony – pożar
- szary – urządzenie wyłączone z pracy/zablokowane.

Dzięki zastosowaniu wizualizacji operator ma możliwość łatwego i wczesnego wykrywania wszelkich awarii i uszkodzeń występujących w systemie sygnalizacji pożaru. Szybka reakcja i usunięcie pojawiających się awarii pozwalają na utrzymanie obiektu na wysokim poziomie technicznym.

Wizualizacja dostarcza funkcjonalnych narzędzi, które wspomagają zarządzanie bezpieczeństwem budynku i zwiększają skuteczność ochrony przed zagrożeniami powodowanymi przez pożar, poprzez dostarczanie pełnej informacji na temat aktualnego stanu systemu sygnalizacji pożaru oraz lokalizacji jego elementów w budynku. Dzięki wizualizacji możliwe jest przedstawienie stanów urządzeń w określony sposób, który skupia uwagę operatora na tym, co się

dzieje w systemie w danym momencie. Wizualizacja na planach sytuacyjnych systemów sygnalizacji pożaru i urządzeń automatyki pożarowej znacząco ułatwia zarządzanie bezpieczeństwem i podnosi jego poziom (ryc. 4).

System wizualizacji zdarzeń pożarowych jest szczególnie przydatny w rozległych obiektach. Daje możliwość podłączenia sygnałów z kilku centralnych jednostek do jednego zintegrowanego systemu, który prezentuje informacje na jednym lub kilku ekranach. Ułatwia zarządzanie całością obiektu, umożliwiając jednoczesny nadzór nad wieloma systemami zlokalizowanymi w różnych budynkach, a to wszystko z wygodnego miejsca [3].

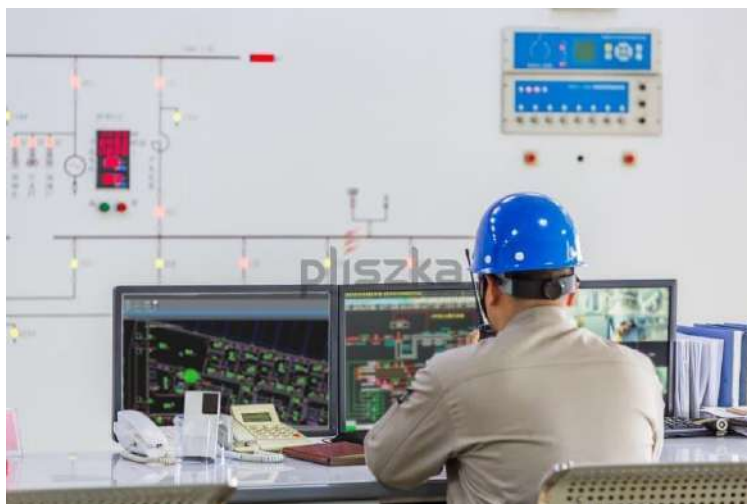
W przypadku zagrożenia pożarowego czas reakcji często ma kluczowe znaczenie dla powodzenia akcji gaśniczej. Dostarczenie odpowiednich informacji na czas umożliwia podjęcie trafnych decyzji bez zbędnej zwłoki, zanim ognisko pożaru rozprzestrzeni się lub spowoduje nieodwracalne szkody. Bieżące monitorowanie bezpieczeństwa pożarowego umożliwia system wizualizacji zdarzeń pożarowych.

System wizualizacji zdarzeń pożarowych umożliwia stały monitoring aktualnego stanu wszystkich systemów bezpieczeństwa i zabezpieczeń technicznych zainstalowanych na chronionym obiekcie. Pozwala uzyskać na odległość informacje o pracy m.in.:

- systemów gaśniczych,
- systemu sygnalizacji pożaru,
- systemu oddymiania,
- dźwiękowego systemu ostrzegawczego,
- systemu kontroli dostępu,
- systemu sygnalizacji włamania i napadu.

Nadzór odbywa się za pośrednictwem tabletu lub komputera PC z dowolnego miejsca. Dane wizualizowane są w postaci graficznej i tekstowej na różnym poziomie szczegółowości. W razie powiadomienia o alarmie osoba odpowiedzialna

za nadzór może natychmiast uzyskać pełen zakres niezbędnych informacji. Na ekranie pojawi się m.in. wskazanie miejsca wystąpienia zdarzenia wraz ze wskazówkami, niezbędnymi do prawidłowego zachowania się podczas sytuacji krytycznej.



Ryc. 6. – Centrala systemu zdarzeń pożarowych

Wizualizacja systemów bezpieczeństwa jest przydatna zarówno podczas normalnego funkcjonowania obiektu, jak i w sytuacjach zagrożenia. Na co dzień pozwala kontrolować stan wszystkich elementów poszczególnych systemów, co zapewnia ich sprawność i gotowość do wykrycia zagrożenia. Natomiast w sytuacji alarmu umożliwia szybkie podjęcie decyzji, zlokalizowania miejsca zagrożenia pożarowego czy włamania oraz realizacji scenariusza postępowania w danej sytuacji.

Rozbudowane centrale systemu wizualizacji zdarzeń pożarowych pozwalają nie tylko kontrolować stan systemów bezpieczeństwa. Mogą również pełnić funkcje centrali sterującej procesem gaszenia, uruchamiając stałe urządzenia gaśnicze i kontrolując przebieg akcji gaśniczej.

Dodatkowo funkcja monitoringu pożarowego umożliwia wysyłanie sygnału alarmu do najbliższej jednostki Państwowej Straży Pożarnej lub służb odpowiedzialnych za ochronę obiektu, dzięki czemu mogą one zareagować na zaistniałe zagrożenie bez zbędnej zwłoki.

System wizualizacji zdarzeń pożarowych jest szczególnie przydatny na rozległych obiektach, zajmujących duże przestrzenie. Umożliwia on podłączenie sygnałów z kilku central do jednego systemu i wizualizację ich wskazań na jednym lub kilku ekranach, co znacznie ułatwia zarządzanie obiektem. Dzięki temu nadzór nad kilkoma systemami zlokalizowanymi w różnych budynkach może odbywać się z jednego miejsca [6].

3. Przepisy prawne i normy dotyczące drzwi przeciwpożarowych

Obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne

części – wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi – należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym przepisach techniczno-budowlanych oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Zapewnić przy tym należy spełnienie podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych określonych w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady UE ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych dotyczących [7]:

- a) nośności i stateczności konstrukcji.
- b) bezpieczeństwa pożarowego.

Organ nadzoru budowlanego wydaje decyzję w sprawie pozwolenia na użytkowanie obiektu budowlanego po przeprowadzeniu obowiązkowej kontroli z udziałem przedstawiciela straży pożarnej (odbiór budynku) [8].

Drzwi przeciwpożarowe są kluczowym elementem ochrony przeciwpożarowej w budynkach. Pełnią tak istotne funkcje, jak ograniczanie rozprzestrzeniania się ognia, dymu i ciepła, umożliwianie bezpiecznej ewakuacji oraz zapewnianie dostępu dla służb ratowniczych. Aby drzwi przeciwpożarowe mogły skutecznie pełnić swoje zadania, muszą spełniać określone wymagania techniczne i normy dotyczące ochrony przeciwpożarowej.

Drzwi przeciwpożarowe są klasyfikowane na podstawie ich odporności ogniowej, co określa czas, przez jaki utrzymują swoje właściwości ognioodporne w warunkach pożaru. Najczęściej stosowane klasy pożarowe to EI 30, EI 60, EI 90 i EI 120, gdzie liczba oznacza minimalny czas wytrzymałości ogniowej w

minutach. Powinny one nosić odpowiednie oznaczenia ogniowe, które informują o ich klasie pożarowej, wytrzymałości ogniowej i innych istotnych cechach, takich jak dymoszczelność czy izolacyjność cieplna. Oznaczenia te są zazwyczaj umieszczane na skrzydle drzwiowym lub na ramie.

Drzwi przeciwpożarowe są wykonane z materiałów ognioodpornych – najczęściej stali, aluminium, drewna lub ich kombinacji. Materiały te mają właściwości opóźniające rozprzestrzenianie się ognia i utrzymują strukturę drzwi w warunkach wysokiej temperatury.

Konieczne wyposażenie drzwi to uszczelnienia ognioodporne, które zapobiegają przenikaniu ognia, dymu i gazów przez szczeliny między skrzydłem a ościeżnicą. Uszczelnienia te mogą być wykonane z niepalnych materiałów, które pod wpływem wysokiej temperatury rozszerzają się, tworząc szczelne zabezpieczenie.

Niezbędne będzie wyposażenie w mechanizmy samozamykające, które zapewnią, że drzwi automatycznie zamkną się po ich otwarciu. Mechanizmy te mogą być oparte na sprężynach, ciężarach lub systemach elektromagnetycznych.

Drzwi przeciwpożarowe powinny być poddawane testom, aby potwierdzić ich wytrzymałość ogniową i spełnienie odpowiednich norm. Potwierdzają to certyfikaty, które świadczą o ich jakości i zgodności z przepisami.

Istnieje wiele czynników, takich jak systemy samozamykania, konstrukcja zawiasów, odporność na udary czy właściwości dymoszczelne, które również mają wpływ na skuteczność działania drzwi w przypadku pożaru. Dbałość o to, aby drzwi przeciwpożarowe były zgodne z

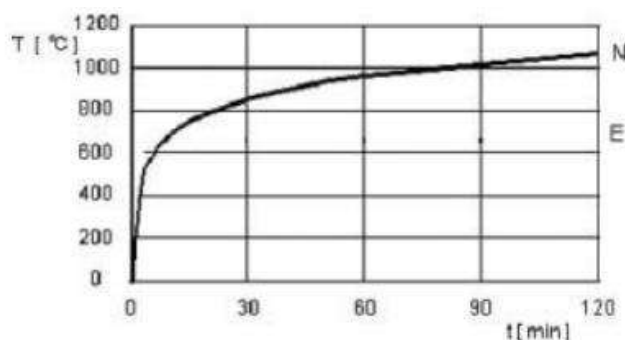
odpowiednimi wymaganiami technicznymi, stanowi kluczowy element zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego w budynkach.

Klasyfikacja drzwi przeciwpożarowych, składająca się z liter E i I oraz indeksu liczbowego, informuje o ich właściwościach związanych z odpornością ogniową. Oznaczenie „E” odnosi się do zdolności drzwi do zachowania szczelności wobec rozprzestrzeniania się ognia, dymu oraz gorąca przez zamknięte drzwi podczas próby ogniowej. Litera „I” mówi o zdolności drzwi do izolowania ciepła i ograniczenia przewodzenia ciepła przez materiał drzwi podczas próby ogniowej.

Indeks liczbowy, czas odporności ogniowej, stanowi liczba umieszczona po literach E i I (np. EI 30, EI 60, EI 90), określająca czas, przez który drzwi będą odporne na działanie ognia w minutach. Czas ten oznacza okres, w którym drzwi zachowują swoje właściwości ognioodporne podczas standardowej próby ogniowej. Drzwi przeciwpożarowe oznaczone jako EI 30 będą odporne na działanie ognia przez 30 min, oznaczone jako EI 60 – przez 60 min, EI 90 – 90 min.

Badania odporności ogniowej należy przeprowadzać zgodnie z normami PN-EN 1634-1:2002, PN-EN 1363-1:2001 [10] i PN-EN 1363-2:2001 [11]. W normach PN-EN 1634-1:2002 oraz PN-EN 1363-1:2001 wyszczególnione są wszystkie szczegóły związane z warunkami przygotowania badań odporności ogniowych drzwi: piec, termometry płytkowe do sprawdzenia temperatury w piecu, termoelementy nawierzchniowe do zbadania temperatury na nienagrzewanej płaszczyźnie drzwi, pomiar ciśnienia, badanie promieniowania itp. [12].

Badania odporności ogniowej realizuje się przez nagrzewanie z obu stron według krzywej standardowej.



Ryc. 7. – Krzywa nominalna temperatura-czas stosowana w badaniach odporności ogniowej drzwi

Dymoszczelność S jest zdolnością elementu do ograniczenia lub eliminacji przemieszczania się dymu z jednej strony elementu na drugą. Wpływa na warunki przeciwpożarowe w kontekście pewności działania samozamykaczy lub elektrozamykaczy (np. drzwi na korytarzach).

Klasy dymoszczelności drzwi określa się następująco:

a) w przypadku klasy dymoszczelności S_m maksymalna prędkość przepływu powietrza mierzona w temperaturze otoczenia oraz w temperaturze 200°C, przy ciśnieniu do 50 Pa, nie przekracza 20 m³/h dla drzwi jednoskrzydłowych lub 30 m³/h dla drzwi dwuskrzydłowych;

b) w przypadku klasy dymoszczelności S_a maksymalna prędkość przepływu powietrza mierzona

w temperaturze otoczenia oraz przy ciśnieniu do 25 Pa, nie przekracza 3 m³/h na metr długości szczeliny pomiędzy zamocowanymi a ruchomymi elementami składowymi drzwi (np. pomiędzy skrzydłem drzwi a ościeżnicą drzwi), z wyłączeniem przepływu przez próg; ta klasyfikacja może być stosowana w połączeniu z innymi symbolami klasyfikacyjnymi drzwi, wymienionymi powyżej, lub zastosowana do drzwi, które nie mają klasyfikacji E, W czy I [12].

W polskich regulacjach budowlanych zostało zdefiniowanych pięć *klas odporności ogniowej* dla budynków. Klasy te oznaczone są literami: A, B, C, D i E, przy czym są ułożone w kolejności malejącej, zaczynając od najwyższej. Przypisanie budynku do konkretnej klasy odporności ogniowej zależy od kilku czynników: jego przeznaczenia oraz sposobu użytkowania (uwzględniającego zagrożenie dla ludzi, zakres od ZL I do V), wysokości budynku oraz stopnia obciążenia termicznego, jaki może wystąpić w przypadku pożaru.

Zgodnie z przepisami dotyczącymi odporności ogniowej budynków ich elementy składowe muszą spełniać określone kryteria. W ramach polskich przepisów techniczno-budowlanych drzwi o oznaczeniach klasowych E lub EW mają określone zastosowanie. Mogą być wykorzystywane wyłącznie w przedsionkach, gdzie pełnią funkcję drugiego zamknięcia, oddzielającego przestrzeń od klatek schodowych. Dotyczy to szczególnie pomieszczeń, w których istnieje potencjalne ryzyko pożaru. Drzwi dymoszczelne mają zastosowanie w przypadku korytarzy o długości przekraczającej 50 m. Te specjalne drzwi, które mają właściwości uszczelniające, przeciwdziałające rozprzestrzenianiu dymu, powinny być używane w celu ochrony przestrzeni wyznaczonych i uznanych za bezpieczne dla ewakuowanych ludzi.

Przepisy prawne uzupełniają normy międzynarodowe, europejskie, dotyczące drzwi automatycznych. Norma EN-ISO 13849-1 [13] opisuje metodykę i kryteria służące do oceny bezpieczeństwa systemów sterowania związanych z maszynami. Norma ta skupia się na osiągnięciu określonego poziomu bezpieczeństwa przez analizę ryzyka, ocenę parametrów systemu sterowania oraz określenie wymagań dotyczących jego architektury i wydajności. Przeprowadza się analizę ryzyka związanego z maszyną, identyfikując potencjalne zagrożenia i określając ich skutki oraz prawdopodobieństwo wystąpienia. Na tej podstawie przypisywane są odpowiednie poziomy bezpieczeństwa [2].

Norma definiuje różne poziomy wydajności bezpieczeństwa, oznaczone jako PL (*Performance Level*) – każdy z tych poziomów odpowiada określonemu prawdopodobieństwu uniknięcia uszkodzenia związanego z ryzykiem. Określa też wymagania dotyczące architektury systemu

sterowania, w tym redundancję, separację i inne aspekty, które mają na celu zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Zawiera również wytyczne odnoszące się do wyboru i projektowania komponentów elektronicznych oraz ich wpływu na ogólny poziom bezpieczeństwa systemu sterowania. Nakłada wymagania dotyczące dokumentacji procesu projektowania, weryfikacji i testowania systemu sterowania w celu potwierdzenia zgodności z założeniami bezpieczeństwa. Norma EN ISO 13849-1 jest istotnym narzędziem dla inżynierów, projektantów i ekspertów ds. bezpieczeństwa, którzy pracują nad projektowaniem i oceną maszyn pod kątem bezpieczeństwa użytkowników i obsługujących personelu [2].

Norma EN 61000-6-2:2006 [14] ma zapewnić, że urządzenia elektryczne i elektroniczne pracujące w środowisku przemysłowym są odporne na zakłócenia elektromagnetyczne i same nie generują nadmiernych zakłóceń, które mogłyby wpływać negatywnie na inne urządzenia w otoczeniu. Określa dopuszczalne poziomy zakłóceń elektromagnetycznych generowanych przez urządzenia w środowisku przemysłowym. Ustala wymagania dotyczące odporności urządzeń na zakłócenia elektromagnetyczne, które mogą występować w przemyśle. Opisuje wytyczne dotyczące konstrukcji i zastosowania złączy oraz kabli w kontekście kompatybilności elektromagnetycznej. Określa też minimalne poziomy odporności elektromagnetycznej dla urządzeń, które mogą być wrażliwe na zakłócenia. Zawiera zasady dotyczące przeprowadzania testów i ocen zgodności z wymaganiami, aby potwierdzić, że urządzenia spełniają wytyczne EMC w środowisku przemysłowym [2].

Norma EN 61000-6-2 jest ważna dla producentów i użytkowników urządzeń elektrycznych i elektronicznych w przemyśle, ponieważ pomaga zapewnić, że urządzenia te mogą współpracować w środowiskach charakteryzujących się wysokim poziomem zakłóceń elektromagnetycznych [2].

Norma EN 60335-2-103:2005 [15] dotyczy bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych użytkowych, w szczególności urządzeń gospodarstwa domowego – napędów bram, drzwi itp. Wymagania te obejmują różne aspekty, w tym:

- bezpieczeństwo elektryczne: wymagania dotyczące izolacji, przewodów, wtyczek, gniazd itp., aby zapewnić bezpieczne korzystanie z urządzeń elektrycznych.

- bezpieczeństwo mechaniczne: wymagania dotyczące konstrukcji obudowy, zabezpieczeń przed dostępem do niebezpiecznych elementów itp..

- bezpieczeństwo termiczne: zapewnienie, że urządzenia nie przegrzewają się i nie stwarzają zagrożenia pożarowego.

- ochrona przed wylądowaniami elektrycznymi: wymagania dotyczące ochrony użytkowników przed

wyładowaniami elektrycznymi.

– oznakowanie i instrukcje użytkowania: wytyczne dotyczące oznakowania bezpieczeństwa oraz instrukcji użytkowania, aby użytkownicy byli właściwie poinformowani o poprawnym i bezpiecznym korzystaniu z urządzeń.

– badania i testy: procedury badawcze i testowe, które pozwalają na potwierdzenie zgodności urządzeń z wymaganiami bezpieczeństwa.

Norma EN 60335-2-103:2005 ma na celu zapewnienie, że urządzenia są bezpieczne w użytkowaniu, minimalizując ryzyko dla użytkowników oraz otoczenia. Jest to część szerszego zbioru norm, które regulują bezpieczeństwo wielu rodzajów urządzeń elektrycznych użytkowych, aby zapewnić spójne i wysokie standardy bezpieczeństwa dla konsumentów [2].

Norma EN 16005:2013 [16] dotyczy bezpieczeństwa użytkowników drzwi automatycznych. Określa wymagania dotyczące bezpieczeństwa, jakie drzwi automatyczne powinny spełniać w celu minimalizacji ryzyka wypadków i obrażeń użytkowników oraz osób przebywających w otoczeniu tych drzwi. Dotyczy to różnych rodzajów drzwi automatycznych, tj. przesuwnych, obrotowych, przemykowych itp. Określa ona wymagania dotyczące minimalizacji ryzyka związanego z użytkowaniem drzwi automatycznych, obejmuje aspekty ochrony przed zgnieceniem, uszkodzeniami, przytraśnięciem i innymi potencjalnymi zagrożeniami. Określa wymagania dotyczące właściwej pracy drzwi automatycznych w różnych warunkach użytkowania – prędkość otwierania i zamykania drzwi, reakcję na obecność użytkowników oraz inne aspekty związane z funkcjonowaniem, a także rodzaje zabezpieczeń i czujników zapewniających bezpieczeństwo użytkowników, np. czujniki obecności, fotokomórki i inne systemy monitorowania otoczenia [2].

Norma ta zawiera wytyczne dotyczące dostarczania odpowiednich instrukcji obsługi oraz oznakowania, aby użytkownicy byli świadomi potencjalnych zagrożeń i zasad właściwego korzystania z drzwi automatycznych. Opisuje procedury badawcze i testowe, które pozwalają na ocenę zgodności drzwi automatycznych z wymaganiami bezpieczeństwa. Ma na celu zapewnienie, że drzwi automatyczne są projektowane, produkowane i użytkowane w sposób, który minimalizuje ryzyko wypadków i obrażeń. Jest to ważne, aby zapewnić bezpieczne korzystanie z tego rodzaju urządzeń w różnych środowiskach, tj. sklepach, biurach, budynkach publicznych i wielu innych [2].

Podsumowanie

Celem opracowania była analiza napędów elektrycznych oraz automatyki stosowanych w drzwiach przeciwpożarowych i ich wpływ na bezpieczeństwo osób ewakuowanych podczas pożaru. Nawiązano również do projektowania i klasyfikacji

drzwi z uwzględnieniem ich budowy.

Omówione zostały napędy elektromechaniczne i elektrohydrauliczne, często stosowane na drogach pożarowych. Napęd elektromechaniczny cieszy się dużą popularnością i jest powszechnie stosowany w obiektach o intensywnym ruchu, on właśnie montowany jest do drzwi przesuwnych. Napęd elektrohydrauliczny, ze względu na swoją specyficzną konstrukcję oraz ograniczenia w użytkowaniu, znajduje zastosowanie w miejscach o małym natężeniu ruchu i jest montowany znacznie rzadziej.

Zautomatyzowane systemy przeciwpożarowe, wykorzystujące różnego rodzaju sensory, czujniki i algorytmy, służą wykrywaniu, monitorowaniu i przeciwdziałaniu zagrożeniom związanym z pożarami. Dzięki zautomatyzowanym systemom przeciwpożarowym możliwe jest szybkie i skuteczne reagowanie na zagrożenia i minimalizowanie ich skutków, co ma ogromne znaczenie w ochronie życia i mienia.

Wymagania przeciwpożarowe są regulowane przez określone standardy i przepisy mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa w przypadku pożaru w różnych budynkach i obiektach. W przypadku drzwi przeciwpożarowych spełnienie tych wymagań ma kluczowe znaczenie, ponieważ drzwi stanowią ważny element ewakuacyjny oraz mogą wpływać na ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu.

W pracy przedstawiono ocenę dotychczasowych rozwiązań dotyczących automatyki pożarowej drzwi przeciwpożarowych w kontekście możliwości zastosowania systemu nadzoru pracy tej automatyki opartego na zintegrowaniu systemu przeciwpożarowego z głównym panelem sterującym drzwi. Taka modyfikacja wyraźnie obniża koszty wykonania całkowitej instalacji i umożliwia wdrożenie dodatkowej ochrony wewnątrz budynku. W praktyce SSP najczęściej instalowane są w budynkach, w których występuje duże zagęszczenie ludzi lub przechowywane są cenne dobra materialne.

Niedbałe podejście do konserwacji i regularnych przeglądów systemu niesie ze sobą potencjalne zagrożenie uszkodzenia kluczowych elementów roboczych. Musimy zdawać sobie sprawę, że system przeciwpożarowy wymaga cyklicznych działań konserwacyjnych i przeglądów. Regularne coroczne przeglądy oraz serwisy systemu przeciwpożarowego mają za zadanie zapewnić jego bezawaryjne działanie przez wiele lat użytkowania.

Literatura

1. Drzwi przeciwpożarowe: konstrukcja, rodzaje i wyposażenie, Forum Branżowe: strona internetowa. URL: stolarka.muratorplus.pl/drzwi/drzwi-przeciwpozarowe-konstrukcja-rodzaje-i-wyposazenie-aa-RGKf-RieT-qUyP.html (dostęp: 22.12.2023).

2. Global 4 System. Instrukcja montażu; materiały firmy Erreka, 2020. URL: access.erreka.com/wp-

content/uploads/2021/05/INSTALLATION_MANUAL_TELESCOPIC_4.pdf (dostęp: 22.12.2023).

3. pliszka.pl/typy-produktow/automatyka-pozarowa/ (dostęp: 22.12.2023).

4. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej: Dz.U. 1991 nr 81, poz. 351 ze zm. URL: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19910810351/U/D19910351Lj.pdf (dostęp: 22.12.2023).

5. Rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów: Dz.U. 2006 nr 80, poz. 563.

URL: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20060800563/O/D20060563.pdf (dostęp: 22.12.2023).

6. Materiały firmy PLISZKA Inżyniering Przeciwpowozarowy (dostęp: 22.12.2023).

7. Rozporządzenie (UE) Parlamentu Europejskiego i Rady nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG: Dz.U. L 88 z 4.04.2011, s. 5-43. URL: eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:PL:PDF (dostęp: 22.12.2023).

8 Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane: Dz.U. 2023 poz. 682, 553, 967. URL: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19940890414/U/D19940414Lj.pdf (dostęp: 22.12.2023).

9 PN-EN 1634-1:2002 Badania odporności ogniowej zestawów drzwiowych i żaluzjowych – Część 1: Drzwi i żaluzje przeciwpożarowe.

10. PN-EN 1363-1:2001 Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne.

11. PN-EN 1363-2:2001 Badania odporności ogniowej – Część 2: Procedury alternatywne i dodatkowe.

12. alfa-system.info/drzwi-przeciwpozarowe-badania-klasyfikacje-wymagania/ (dostęp: 22.12.2023).

13. EN-ISO 13849-1 Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design.

14. EN 61000-6-2:2006 EN 61000-6-2:2006 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments.

15. EN 60335-2-103:2005 Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-103: Particular requirements for drives for gates, doors and windows.

16. EN 16005:2013 Power operated pedestrian doorsets – Safety in use – Requirements and test methods.

References

1. Fire doors: construction, types and equipment

(2021, June). Forum Branżowe (Industry Forum). Retrieved from stolarka.muratorplus.pl/drzwi/drzwi-przeciwpozarowe-konstrukcja-rodzaje-i-wyposazenie-aa-RGKf-RieT-qUyP.html.

2. Global 4 System. Installation manual; Erreka materials, 2020. Retrieved from access.erreka.com/wp-content/uploads/2021/05/INSTALLATION_MANUAL_TELESCOPIC_4.pdf.

3. <https://pliszka.pl/typy-produktow/automatyka-pozarowa/>.

4. Act of 24 August 1991 on fire protection: Journal of Laws 1991 No. 81, item 351 as amended. doi: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19910810351/U/D19910351Lj.pdf.

5. Regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 21 April 2006 on fire protection of buildings, other construction objects and areas: Journal of Laws 2006 No. 80, item 563. doi: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20060800563/O/D20060563.pdf.

6. Materials from the company PLISZKA Inżyniering Przeciwpowozarowy, 2023.

7. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC: OJ L 88, 4.04.2011, pp. 5-43. doi: eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:PL:PDF.

8. Act of 7 July 1994 Construction Law: Journal of Laws of 2023, item 682, 553, 967. doi: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19940890414/U/D19940414Lj.pdf.

9. PN-EN 1634-1:2002 Fire resistance testing of door and louvre assemblies – Part 1: Fire doors and louvres.

10. PN-EN 1363-1:2001 Fire resistance testing – Part 1: General requirements.

11. PN-EN 1363-2:2001 Fire resistance testing – Part 2: Alternative and additional procedures.

12. alfa-system.info/drzwi-przeciwpozarowe-badania-klasyfikacje-wymagania/.

13. EN-ISO 13849-1 Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design.

14. EN 61000-6-2:2006 EN 61000-6-2:2006 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments.

15. EN 60335-2-103:2005 Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-103: Particular requirements for drives for gates, doors and windows.

16. EN 16005:2013 Power operated pedestrian doorsets – Safety in use – Requirements and test methods.

© Marek Chmiel, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 20.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.



This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Roman Kaźmierczak¹, Marek Chmiel²

¹POLFLAM, Polska

²Politechnika Częstochowska, Polska

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8662-7127> – Marek Chmiel



roman.kazmierczak@polflam.com

SZKLANE PRZEGRODY W OCHRONIE PRZECIWPÓŻAROWEJ W BUDOWNICTWIE

Streszczenie: W opracowaniu przedstawione zostały zasady projektowania i realizacji obiektów budowlanych z zastosowaniem ognioodpornych przegród szklanych. Zaprezentowano uwarunkowania badawcze tych elementów oraz możliwości ich zastosowania z uwagi na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa ludziom oraz ograniczenia rozprzestrzeniania ognia wewnątrz i na zewnątrz budynków. Opisane zostały także rozwiązania techniczne wynikające z przepisów techniczno-budowlanych i norm w odniesieniu do wymagań współczesnego projektowania architektonicznego, zwłaszcza szczególnie zagrożonych budynków wysokich i wysokościowych oraz budynków wielofunkcyjnych.

Słowa kluczowe: szkło ognioodporne, przegrody przeciwpożarowe, bezpieczeństwo pożarowe.

Роман Казьмерчак¹, Марек Хміль²

¹POLFLAM, Республіка Польща

²Ченстоховський політехнічний університет, Республіка Польща

СКЛЯНІ ПЕРЕГОРОДКИ ДЛЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ В БУДІВНИЦТВІ

Анотація: У дослідженні представлені принципи проектування та реалізації будівельних конструкцій з використанням вогнестійких скляних перегородок. Наведено умови дослідження цих елементів та можливості їх використання для безпеки людей та обмеження поширення вогню всередині та зовні будівель. Технічні рішення, що впливають з технічних і будівельних норм і стандартів, також описані у зв'язку з вимогами сучасного архітектурного проектування, особливо для висотних і багатофункціональних будівель, що мають підвищений ризик.

Ключові слова: вогнетривке скло, протипожежні перегородки, пожежна безпека.

Roman Kaźmierczak¹, Marek Chmiel²

¹POLFLAM, Poland

²Częstochowa University of Technology, Poland

GLASS PARTITIONS FOR FIRE PROTECTION IN CONSTRUCTION

Summary: The text discusses the principles of designing and implementing building structures using fire-resistant glass partitions. It presents the research conditions for these elements and their potential applications, emphasising the need to ensure people's safety and limit fire spread inside and outside buildings. The work showcases technical solutions derived from technical construction regulations and standards concerning the requirements of contemporary architectural design, especially for high-rise and multi-functional buildings, particularly those at high risk.

Keywords: fire-resistant glass, fire partitions, fire safety.

Wstęp

Według klasycznej historii mineralogii to fenicy kupcy przypadkowo wytopili szkło w ognisku przy transporcie kamienia około 5000 p.n.e., natomiast produkować zaczęto je w Mezopotamii, a najstarsze ślady jego użytkowania pochodzą sprzed 3,5 tys. lat. Metodę produkcji szklanych tafli opanowano w XIV w. we Francji. Masowa produkcja płaskich tafli,

których cena umożliwiała powszechne stosowanie szkła, rozwinęła się dopiero na przełomie XIX i XX w. Proces technologiczny w wielkiej skali uruchomiono zaś w 1913 r. w Belgii. Postęp techniczny w ostatnim stuleciu, wynikający z opracowania nowych technologii, doprowadził do wdrożenia pełnoskalowej produkcji szyb szklanych powszechnie dostępnych cenowo.

Zastosowania szkła budowlanego ściśle wiąże się z rozwojem architektury. Projektanci poszukiwali materiałów pozwalających na wdrażanie oryginalnych, nowoczesnych form i struktur obiektów. Szkło zaczęło coraz odważniej stosować w budynkach o zróżnicowanej funkcji, wysokości i kształcie. Budynki wznoszone są w oparciu o przepisy i normy, które regulują nie tylko kwestie konstrukcyjne i użytkowe, ale również coraz częściej dostrzegane zagrożenia pożarowe. Wymagania przeciwpożarowe wprowadzano i zastrzeczano w związku z pożarami, w których ginęli ludzie i które powodowały znaczne bezpośrednie i pośrednie straty materialne.

W przeszłości, wobec braku alternatywnych opcji, jako przegrody przeciwpożarowe stosowane były tradycyjne materiały, takie jak beton, żelbet, cegła, pustaki, płyty gipsowo-kartonowe, płyty mineralne itp.

Profilaktyka pożarowa w obiektach budowlanych wspierana była i jest instalacjami przeciwpożarowymi szybko wykrywającymi pożar i instalacjami gaśniczymi (ochrona czynna). Oczekiwano, że urządzenia automatyki pożarowej skutecznie zapanują nad procesem spalania i wyeliminują związane z tym zagrożenia. Należy jednak mieć na uwadze, że instalacje gaśnicze są gaśnicze tylko nazwy, ponieważ mają za zadanie stłumić pożar do czasu interwencji straży pożarnej (poza instalacjami ESFR do gaszenia np. magazynów wysokiego składowania). Okazało się, że najskuteczniejsze zabezpieczenie przed rozwojem pożaru stanowią jednak zabezpieczenia budowlane (ochrona bierna).

Oczywiście najkorzystniejszą opcją zabezpieczenia dla budynków o największym zagrożeniu pożarowym (galerii handlowych, dużych kin i teatrów, budynków wysokich i wysokościowych, hoteli itp.) jest zastosowanie zabezpieczeń budowlanych i instalacyjnych, czego wymagają również firmy ubezpieczeniowe.

Przegrody przeciwpożarowe muszą zapewnić ludziom bezpieczne dotarcie do dróg ewakuacji (korytarzy, klatek schodowych, wyjść na zewnątrz) oraz ograniczyć rozprzestrzenienie się pożaru w czasie niezbędnym do rozpoczęcia akcji ratowniczo-gaśniczej przez jednostki straży pożarnej. Dotyczy to ścian pomiędzy pomieszczeniami, ścian dróg ewakuacyjnych, holi ewakuacyjnych, stropów i świetlików, a także dachów.

Od nowoczesnej architektury oczekuje się jednocześnie dobrze doświetlonych wnętrz, dających wrażenie przestrzenności, możliwie wielofunkcyjnych.

To zapewnia szkło ogniochronne.

Szkło jest więc materiałem niezwykle atrakcyjnym nie tylko z punktu widzenia estetyki obiektu, ale również z uwagi na charakterystykę pożarową – ponieważ jest niepalne. Stanowi idealny kompromis między wymogami formalnoprawnymi a trendami w architekturze.

1. Zastosowanie szkła ogniochronnego

Z uwagi na swoje parametry szkło ogniochronne znalazło zastosowanie w ścianach zewnętrznych i wewnętrznych, stropach i podłogach podniesionych, dachach i świetlikach dachowych.

Ścianom zewnętrznym może zapewnić odpowiednie parametry termiczne i akustyczne, a nawet kolorystyczne.

W ścianach wewnętrznych może być montowane zarówno w układzie ramowym, jak i bezramowym, jako tafle o dużych rozmiarach i wysokich klasach odporności ogniowej. Ściany te umożliwiają doświetlenie wewnętrznych korytarzy, ekspozycję przedmiotów wymagających ochrony, a także technologii – np. centrów informatycznych czy specyficznych rozwiązań produkcyjnych. Szklane stropy przepuszczają światło na niższe kondygnacje i dają wrażenie przestrzeni. Z kolei podłogi podniesione ze szkła ognioodpornego zabezpieczają instalacje prowadzone w przestrzeni międzystropowej, dając przy tym niebanalny efekt wizualny.

Dachy i świetliki w rozwiązaniach ogniochronnych są niezbędne na przykład przy rozgraniczaniu stref pożarowych.

2. Realizacja procesu budowlanego

W Polsce projektowanie i wykonywanie obiektów budowlanych regulowane jest przepisami ustaw sejmowych, rozporządzeniami ministrów oraz normami, w większości zharmonizowanymi z normami europejskimi.

3. Przepisy prawne

Podstawowe akty prawne regulujące zasady profilaktyki pożarowej w budownictwie to:

1) ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (z późniejszymi zmianami) Ustawa powołuje Państwową Straż Pożarną między innymi do rozpoznawania zagrożeń pożarowych i innych miejscowych zagrożeń. Realizacja tych zadań odbywa się także przez ocenę zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej rozwiązań technicznych zastosowanych w obiekcie budowlanym oraz ocenę zgodności wykonania obiektu budowlanego z projektem budowlanym.

2) ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (z późniejszymi zmianami) Na mocy tej ustawy autorzy dokumentacji projektowej są obowiązani zapewnić jej zgodność z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej.

Projekt zagospodarowania działki lub terenu, projekt architektoniczno-budowlany oraz projekt techniczny wymagają uzgodnienia pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Rzeczoznawców tych ustanawia komendant główny Państwowej Straży Pożarnej. Rozpoczęcie eksploatacji nowego, przebudowanego lub wyremontowanego budynku może nastąpić wyłącznie, gdy zostały spełnione

wymagania przeciwpożarowe.

Kontrolę zgodności wykonania budynku z projektem i przepisami przeprowadza między innymi Państwowa Straż Pożarna w ramach czynności odbiorowych.

3) ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (z późniejszymi zmianami)

Ustawa ta stanowi, że obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym przepisach techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając spełnienie podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych określonych w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady Europy nr 305/2011 z 9 marca 2011 r., ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, dotyczące przede wszystkim:

a) nośności i stateczności konstrukcji,

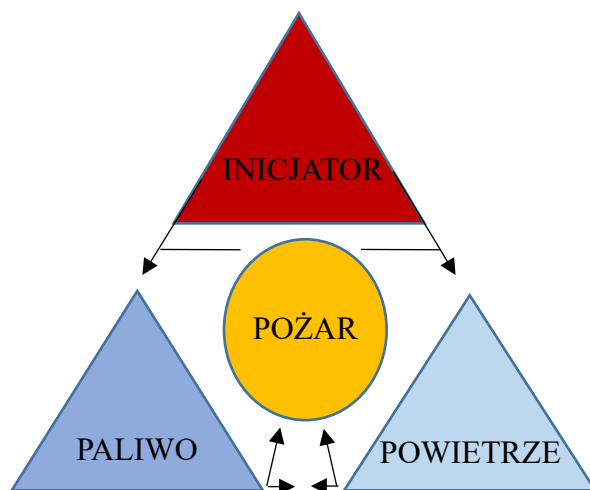
b) bezpieczeństwa pożarowego.

Organ nadzoru budowlanego wydaje decyzję w sprawie pozwolenia na użytkowanie obiektu budowlanego po przeprowadzeniu obowiązkowej kontroli z udziałem przedstawiciela straży pożarnej (odbiór budynku). Tak więc projekt budowlany, jego realizacja i odbiór budynku są dostatecznie regulowane przepisami. Zagadnienia nieuregulowane przepisami określone są za pomocą tzw. wiedzy technicznej, a więc norm, wytycznych, zaleceń projektowych itp.

4. Warunki procesu spalania

Proces spalania zachodzi wówczas, gdy dostępne są wszystkie trzy czynniki: materiał palny, bodziec termiczny i tlen. Profilaktyka pożarowa polega na eliminacji jednego z nich.

Praktyka dowodzi, że nie zawsze czynniki te da się wyeliminować (mimo przepisów i działań prewencyjnych). Pozostaje tylko takie zabezpieczenie konstrukcji budynków albo wystroju wnętrz, aby maksymalnie opóźnić proces zapalenia i ograniczyć rozwój pożaru.



Ryc. 1. – Trójkąt spalania

Skoro więc nie ma możliwości wyeliminowania paliwa, czyli materiałów palnych znajdujących się w otoczeniu człowieka, nie ma możliwości wyeliminowania powietrza (poza specyficznymi procesami technologicznymi), a pożar inicjuje człowiek na skutek swojego umyślnego bądź też nieumyślnego działania lub zaniedbania, to należy przyjąć, że pozostaje stosowanie takich materiałów, które w przypadku pożaru będą niepalne, trudnozapalne oraz znacząco ograniczą rozprzestrzenianie się ognia. Rolę taką pełnią w budynku ściany, stropy, pasy międzykondygnacyjne, zamknięcia otworów (drzwi, klapy przeciwpożarowe, zamknięcia technologiczne).

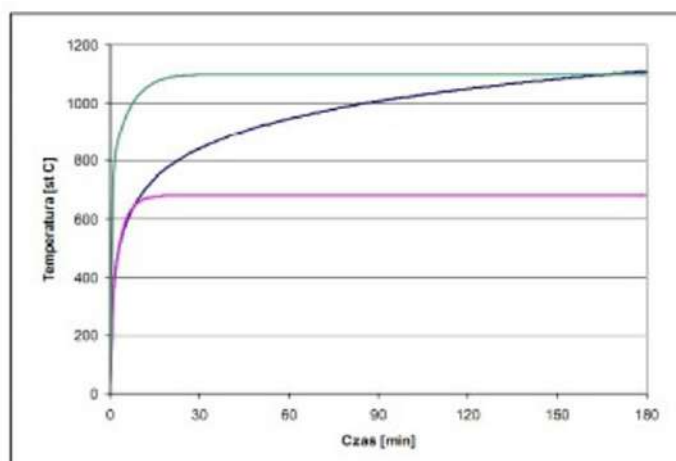
Odporność ogniowa elementów budowlanych jest ważna nie tylko z uwagi na powstrzymanie

rozprzestrzeniania ognia w założonym czasie, ale również w kontekście ustalenia warunków ewakuacji ludzi z obszaru, w którym powstał pożar, do strefy bezpiecznej.

Analizy warunków ewakuacji w budynkach wysokościowych (w których może przebywać kilka tysięcy osób) wykazały np., że czas ewakuacji z budynku biurowego o wysokości 180 m może wynosić ponad 120 min.

Kryterium odporności ogniowej jest niezwykle ważne także z punktu widzenia warunków prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

Badania odporności ogniowej wykonywane są w notyfikowanych laboratoriach, w znormalizowanych piecach badawczych. Na podstawie tych badań dokonuje się klasyfikacji pożarowej przebadanego elementu.



Ryc. 2. – Warunki badawcze dla elementów budowlanych

Badanie elementów budowlanych wykonuje się według krzywej temperatura – czas, z odpowiednim obciążeniem użytkowym (odpowiednią gęstością obciążenia ogniowego).

- (a) krzywa standardowa
- (b) krzywa pożaru zewnętrznego
- (c) krzywa węglowodorowa

5. Wymagania przeciwpożarowe

5.1. Praktyczne zastosowanie wyników badań ogniowych

Zagrożenie pożarowe w obiektach budowlanych jest uzależnione od kilku czynników, m.in.:

1) wysokości budynku (wraz z wysokością budynku rosną wymagania w zakresie odporności ogniowej dla jego poszczególnych elementów)

Wyznaczono graniczne wysokości, przy których rosną wymagania dla elementów budynków:

- budynki niskie – do 12 m nad poziomem terenu,*
- budynki średniowysokie – ponad 12 m do 25 m włącznie,*
- budynki wysokie – ponad 25 m do 55 m włącznie,*
- budynki wysokościowe – ponad 55 m.*

Wysokość budynków mieszkalnych jest uzależniona od liczby kondygnacji.

2) funkcji budynku (na przykład: budynki użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, przeznaczone do celów produkcyjnych itp.)

W tym zakresie budynki klasyfikuje się w kategoriach zagrożenia ludzi (ZL)

ZL I – zawierające pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób niebędących ich stałymi użytkownikami, a nieprzeznaczone przede wszystkim do użytku przez ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się,

ZL II – przeznaczone przede wszystkim do użytku przez ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, takie jak szpitale, żłobki, przedszkola, domy dla osób starszych,

ZL III – użyteczności publicznej, niezakwalifikowane do ZL I i ZL II,

ZL IV – mieszkalne,

ZL V – zamieszkania zbiorowego, niezakwalifikowane do ZL I i ZL II.

Tabela 1

Klasy odporności pożarowej budynków w zależności od ich wysokości i kategorii zagrożenia ludzi

Budynek	ZL I	ZL II	ZL III	ZL IV	ZL V
niski (N)	„B”	„B”	„C”	„D”	„C”
średniowysoki (SW)	„B”	„B”	„B”	„C”	„B”
wysoki (W)	„B”	„B”	„B”	„B”	„B”
wysokościowy (WW)	„A”	„A”	„A”	„B”	„A”

3) gęstości obciążenia ogniowego Q [MJ/m^2] w budynkach przemysłowych PM (większe obciążenie ogniowe wymaga elementów o większej odporności ogniowej)

Wyznaczono graniczne wielkości obciążenia ogniowego w budynkach, które wymagają odpowiednio

większych klas odporności pożarowej budynków,

$Q \leq 500 \text{ MJ}/\text{m}^2$,

$500 < Q \leq 1000 \text{ MJ}/\text{m}^2$,

$1000 < Q \leq 2000 \text{ MJ}/\text{m}^2$,

$2000 < Q \leq 4000 \text{ MJ}/\text{m}^2$,

$Q > 4000 \text{ MJ}/\text{m}^2$.

Tabela 2

Klasy odporności pożarowej budynków zaliczanych do kategorii PM w zależności od ich wysokości i obciążenia ogniowego

Maksymalna gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej w budynku Q [MJ/m ²]	Budynek o jednej kondygnacji nadziemnej (bez ograniczenia wysokości)	Budynek wielokondygnacyjny			
		niski (N)	średniowysoki (SW)	wysoki (W)	wysokościowy (WW)
$Q \leq 500$	„E”	„D”	„C”	„B”	„B”
$500 < Q \leq 1000$	„D”	„D”	„C”	„B”	„B”
$1000 < Q \leq 2000$	„C”	„C”	„C”	„B”	„B”
$2000 < Q \leq 4000$	„B”	„B”	„B”	*	*
$Q > 4000$	„A”	„A”	„A”	*	*

* nie dopuszcza się realizacji budynku

Tabela 3

Klasy odporności ogniowej elementów budynku

Klasa odporności pożarowej budynku	Główna konstrukcja nośna	Konstrukcja dachu	Strop	Ściana zewnętrzna	Ściana wewnętrzna	Przekrycie dachu
„A”	R 240	R 30	REI 120	EI 120 (o↔i)	EI 60	RE 30
„B”	R 120	R 30	REI 60	EI 60 (o↔i)	EI 30	RE 30
„C”	R 60	R 15	REI 60	EI 30 (o↔i)	EI 15	RE 15
„D”	R 30	(-)	REI 30	EI 30 (o↔i)	(-)	(-)
„E”	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

R – nośność ogniowa (min), określona zgodnie z normą dotyczącą zasad ustalania klas odporności ogniowej elementów budynku,

E – szczelność ogniowa (min),

I – izolacyjność ogniowa (min),

(-) – nie stawia się wymagań

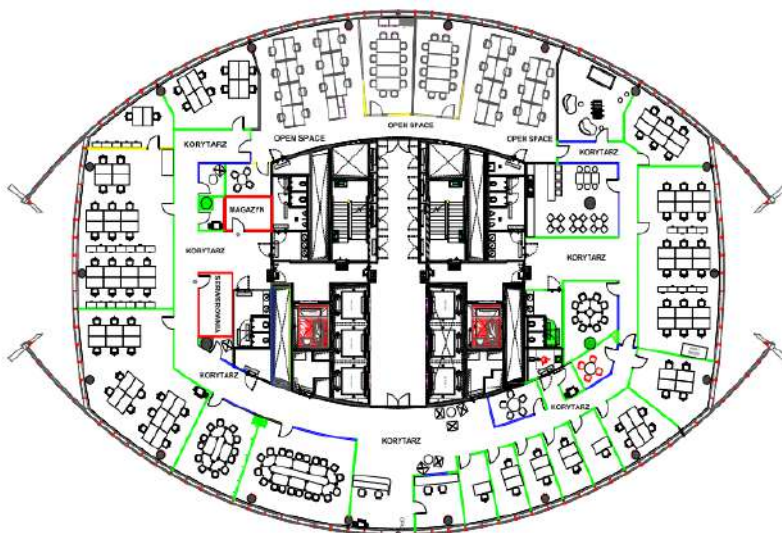
5.2. Ściany wewnętrzne

Wymaga się, by ściany wewnętrzne miały odporność ogniową klasy EI 15, EI 30 lub EI 60. W praktyce w większości budynków ściany wewnętrzne wykonywane są w klasie EI 30, z wyjątkiem budynków wysokościowych, w których wymaga się ścian w klasie EI 60.

Odrębnej analizy wymagają ściany obudowy klatek schodowych, od których na ogół wymaga się klasy REI 60 lub REI 120.

Należy zwrócić uwagę na konieczność zachowania nośności ściany w wymaganym czasie, co w przypadku ścian szklanych jest niemożliwe. Zastosowanie takich ścian jest możliwe jedynie wówczas, gdy funkcję nośną szklanej ściany przejmie belka lub strop.

Obecnie wyraźnie dominuje tendencja do projektowania kondygnacji z niezagospodarowanymi przestrzeniami, pozostawionymi do aranżacji przez przyszłych najemców – dotyczy to przede wszystkim budynków biurowych. Aranżacje mają wówczas postać pomieszczeń z korytarzami lub open space. Gdy kondygnację zajmuje więcej niż jeden najemca, najkorzystniejszy jest układ korytarzowy, zapewniający odpowiednie warunki ewakuacji. W innym przypadku wymagane mogą być dodatkowe przejścia pomiędzy najemcami.



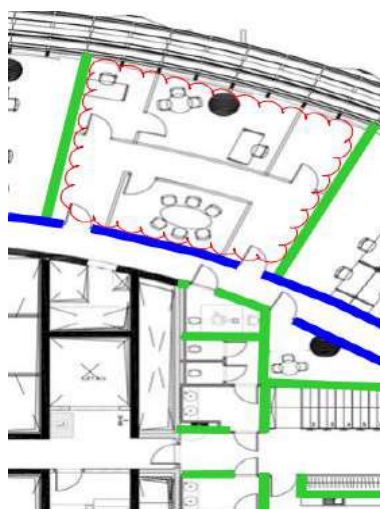
Ryc. 3. – Przykładowe zastosowanie ścian szklanych na kondygnacji wysokościowego budynku biurowego

	<i>ściana szklana bez klasy odporności ogniowej</i>
	<i>ściana GK bez klasy odporności ogniowej</i>
	<i>ściana szklana w klasie odporności ogniowej EI 30</i>
	<i>ściana GK w klasie odporności ogniowej EI 30</i>
	<i>ściana GK w klasie odporności ogniowej EI 60</i>

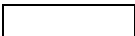
5.3. Rozwiązania specyficzne

Ściany korytarzowe oraz pomiędzy pomieszczeniami powinny mieć odpowiednią klasę odporności ogniowej. Wyjątek stanowi sytuacja, w której kilka pomieszczeń jest wydzielonych ścianami o odporności ogniowej lub znajduje się w amfiladzie

i zachowana zostanie dopuszczalna długość przejścia ewakuacyjnego. Wówczas przejście ewakuacyjne nie powinno prowadzić przez więcej niż trzy pomieszczenia do wyjścia na korytarz ewakuacyjny. Ściany działowe wewnątrz takiego modułu mogą być bezklasowe.



Ryc. 4. – Ściany korytarzowe i pomiędzy pomieszczeniami

	<i>ściana GK bez klasy odporności ogniowej</i>
	<i>ściana szklana w klasie odporności ogniowej EI 30</i>
	<i>ściana GK w klasie odporności ogniowej EI 30</i>

Nie wymaga się również odporności ogniowej od przegród funkcjonalnych wydzielających miejsca pracy w pomieszczeniach.

Ponieważ ścianki ogniochronne stawia się niekiedy na podłodze podniesionej, która ma klasę odporności ogniowej REI 30 lub REI 60, należy

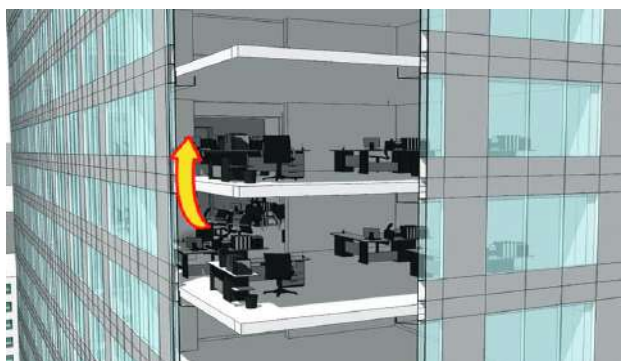
zwrócić uwagę na konieczność odpowiedniego wydzielenia pożarowego przestrzeni podpodłogowej w miejscu usytuowania ścianki.

Niekiedy projekt architektoniczny przewiduje na ścianie ogniochronnej efekty dekoracyjne. Szkło POLFLAM nie traci swoich właściwości ogniochronnych w przypadku oklejenia go folią PCV lub PET do grubości 2 mm w całości lub części, z jednej lub obu stron, niezależnie od powierzchni oklejenia. Z uwagi na zwiększoną absorpcję energii cieplnej folii szkło oklejone

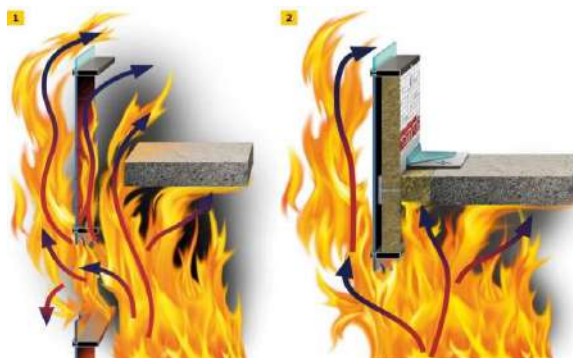
folią może być stosowane wyłącznie we wnętrzu budynku i nie powinno być narażone na przegrzewanie.

5.4. Ściany zewnętrzne

W zależności od klasy odporności pożarowej budynku ściany zewnętrzne powinny mieć odporność ogniową od EI 30 do EI 120. O odporności ogniowej ściany zewnętrznej decyduje przede wszystkim pas międzykondygnacyjny i jego prawidłowe wykonanie. Zadaniem pasa międzykondygnacyjnego jest odsunięcie płomieni od elewacji



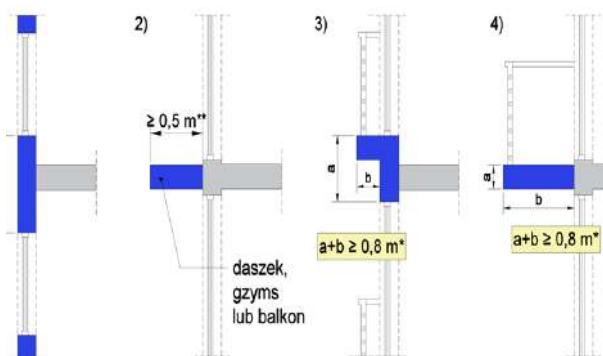
Ryc. 5. – Pas międzykondygnacyjny



Ryc. 6. – Nieprawidłowe (1) i prawidłowe (2) wykonanie pasa międzykondygnacyjnego

Coraz częściej zdarza się, że architekci dążą do minimalizacji pasa międzykondygnacyjnego. Jest on bowiem nieprzezierny i tworzy na elewacji niekorzystny efekt wizualny – zwłaszcza w godzinach wieczornych, kiedy wnętrza są oświetlone.

Należy pamiętać, że takie rozwiązanie jest możliwe (ściana szklana na stropie), o ile na wysokości co najmniej 0,80 m będzie miała ona element o odporności ogniowej EI 30, EI 60 lub EI 120, w zależności od klasy odporności pożarowej budynku.



Ryc. 7

Zasadniczo element ogniochronny stanowi pas międzykondygnacyjny, a pozostała część fasady jest wykonana ze szkła nieognioodpornego. Takie rozwiązanie uznawane jest za wystarczające, aby powstrzymać rozprzestrzenianie się ognia na sąsiednie kondygnacje budynku, ale może stwarzać pewne zagrożenia związane z możliwością opadania dużych fragmentów elewacji.

Dlatego też na zapewnienie bezpieczeństwa ewakuujących się użytkowników i ekip ratowniczych ogromny wpływ mieć może zarówno sama konstrukcja zastosowanej szyby zespolonej, jak i sposób jej zamocowania.

Zakłada się, że jeśli pod wpływem oddziaływania ognia zewnętrzna warstwa szyby rozpadnie się na drobne, nieostre kawałki, to nie będzie to stanowiła zagrożenia dla osób znajdujących się w ich polu rażenia. Sytuacja będzie wyglądała znacznie gorzej, gdy tafla szklana odpadnie w całości lub odpadające fragmenty będą miały znaczące wymiary. Wówczas istnieje ogromne prawdopodobieństwo poważnej kontuzji, a nawet śmierci osób, które nieszczęśliwie znajdują się na

drodze spadających fragmentów elewacji. Ważne więc jest, aby oceny projektowanych rozwiązań dokonywały uprawnione jednostki badawcze.

5.5. Hole wejściowe

Hole wejściowe do budynków mają często charakter reprezentacyjny i swoją wysokością obejmują kilka kondygnacji. Zamierzeniem architektów jest uzyskać imponujący efekt wizualny. Projektowane są również z myślą o przeznaczeniu na drobne usługi i strefę recepcyjną. Za ścianami szklanymi, o wysokości niekiedy kilkunastu metrów, można więc zauważyć przestrzenne pomieszczenia biurowe, centra obliczeniowe, biblioteki, mediateki, ale również stacje pomp czy sterownie. Ten efekt można uzyskać, stosując wielkowymiarowe bezramowe szkło ogniochronne, także gięte. Realizacja takiego planu wymaga odpowiedniego oprzyrządowania i technologii, ponieważ to rozwiązanie determinuje także ciężar szkła. W takich przypadkach wymaga się jednak, aby druga klatka schodowa miała bezpośrednie połączenie z terenem zewnętrznym.



Ryc. 8. – Hole służące do ewakuacji ludzi z klatki schodowej na zewnątrz wymagają wydzielenia ścianami o odporności ogniowej, na ogół klasy REI/EI 60 lub REI/EI 120

5.6. Drzwi w ogniochronnych ścianach szklanych

Drzwi w ścianach korytarzowych do pomieszczeń, np. biurowych, na ogół są również wykonywane jako szklane, bezklasowe, z wyjątkiem stosowanych w ścianach oddzielenia przeciwpożarowego oraz w ścianach wydzielających klatki schodowe.

Należy pamiętać, aby naświetla nad drzwiami i doświetla boczne w ściankach miały tę samą klasę

odporności ogniowej, co ściany. W budynkach wysokich i wysokościowych celowe jest wyposażanie drzwi w samozamykacze a w ciągach komunikacyjnych również w elektrozamykacze, w celu ułatwienia komunikacji.

Zaleca się, aby drzwi do garaży wyposażać we wzorniki umożliwiające strażakom wgląd w obszar pożaru. Wzorniki powinny odpowiadać klasą odporności ogniowej drzwiom przeciwpożarowym.



Ryc. 9. – Wzorniki powinny odpowiadać klasą odporności ogniowej drzwiom

5.7. Stropy przeciwpożarowe

Szklany strop ogniochronny FR Floor ze szkłem POLFLAM umożliwia doskonałe doświetlenie wnętrza światłem naturalnym, a jednocześnie zapewnia użytkownikom budynku maksymalną ochronę w razie pożaru. To także ciekawe i oryginalne rozwiązanie, przyciągające uwagę estetyką i funkcjonalnością.

Szkło do stropów szklanych FR Floor zapewnia maksymalną nośność użytkową 5 kN/m². Oficjalne badania przeprowadzone przez jednostkę certyfikującą potwierdziły dla szkła POLFLAM F klasę odporności i nośności ogniowej REI 30, REI 60 i REI 120.

Projektanci mają wolną rękę – ze szklanych paneli POLFLAM można uzyskać różnorodne i niepowtarzalne kształty, mieszczące się w obrysie prostokąta o maksymalnych wymiarach 2200 x 1650 mm. Grubość szkła – w zależności od wymaganych parametrów – wynosi od 46 do 62 mm. Pozwala to na

dalszą optymalizację kosztów zakupu materiału, i tak już bardzo atrakcyjnych.

Panele w stropach FR Floor mogą być gładkie i przeziernie, bądź malowane za pomocą sitodruku (co może podkreślić niepowtarzalny charakter projektowanego wnętrza). Z kolei stropy antypoślizgowe zapewniają użytkownikom budynku bezpieczeństwo w codziennej eksploatacji.

Łatwość w utrzymaniu i konserwacji oraz nieskomplikowany montaż to dodatkowe atuty szklanych stropów ze szkłem POLFLAM.

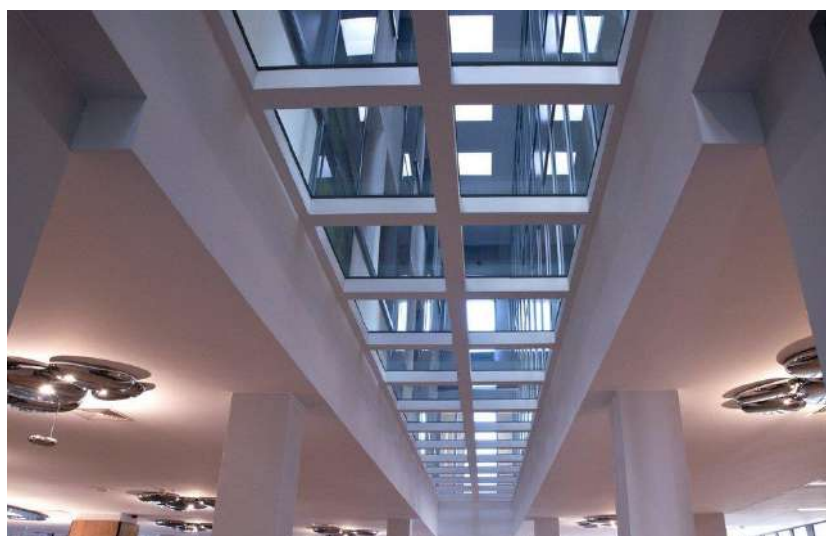
Szklane ogniochronne stropy FR Floor spełniają kryteria izolacyjności ogniowej zgodnie z normą PN-EN 1365-2:2014. Zostały przetestowane w zakładowym laboratorium firmy POLFLAM, a następnie przebadane i zatwierdzone przez europejskie jednostki notyfikowane, co jest potwierdzeniem najwyższej jakości tego innowacyjnego produktu.



Kładka komunikacyjna



Podłoga podniesiona



Strop międzykondygnacyjny doświetlający niższe kondygnacje

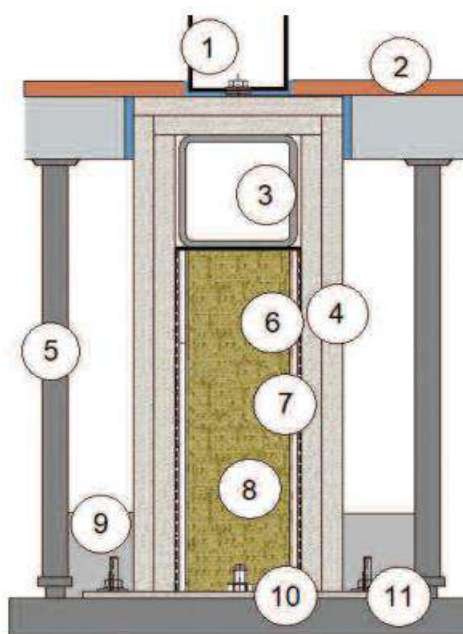
Ryc. 10. – Przykładowe rozwiązania stropów

5.8. Podłogi podniesione

Zaletą szklanych podłóg jest przede wszystkim estetyka i szybki montaż wszelkich odpowiednio maskowanych instalacji, później bardzo łatwo dostępnych. Sprawdzają się nie tylko na traktach komunikacyjnych i w biurach, ale także w takich pomieszczeniach, jak: centrale telefoniczne, rozdzielnie energetyczne, sterownie, sale komputerowe, serwerownie, sale bankowe itp. Szklane podłogi ogniochronne wykonywane są jako modułowe na metalowych wspornikach. Podłogi podniesione o więcej niż 20 cm ponad poziom stropu lub innego podłoża powinny mieć niepalną konstrukcję nośną oraz

co najmniej niezapalne płyty podłogi od strony przestrzeni podpodłogowej, mające klasę odporności ogniowej co najmniej REI 30, a w budynku wysokościowym oraz w strefach pożarowych budynków przeznaczonych dla ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, takich jak domy opieki społecznej i senioralnej, przedszkola, szpitale – co najmniej REI 60. Należy podkreślić i takie zalety podłóg szklanych, jakimi są bardzo dobra akustyka i łatwość w utrzymaniu czystości.

Montaż podłóg podniesionych wiąże się z zachowaniem zasady zabezpieczenia przestrzeni podpodłogowej (na ogół w osi ściany).



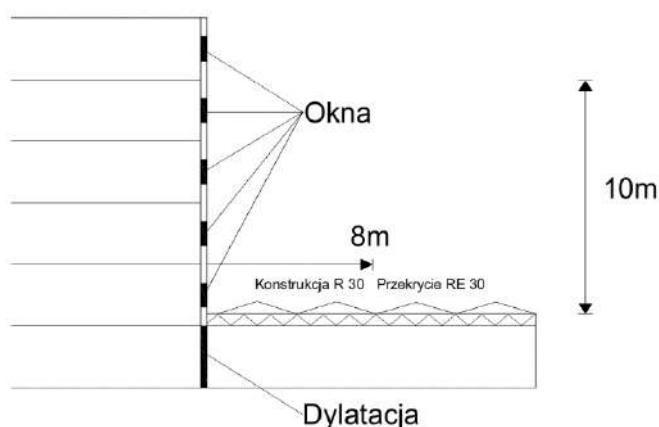
Ryc. 11. – Montaż podłóg podniesionych

1. profil stalowy podstawy ściany działowej, 2. podłoga techniczna, 3. profil stalowy zamknięty, 4. płyta GKF,
5. wspornik stalowy podłogi podniesionej, 6. profil stalowy, 7. profil stalowy, 8. wełna mineralna,
9. ogniochronna obudowa kotew i płyty podstawy, 10. podstawa słupa, 11. kołek dyblowy

5.9. Dachy i świetliki

Wykonania dachu jako ognioodpornego wymaga się, gdy sąsiedni budynek jest wyższy i ma ścianę z

otworami okiennymi, ma dach z pokryciem rozprzestrzeniającym ogień, a także gdy w bezpośrednim sąsiedztwie budynku znajduje się ściana lasu.



Ryc. 12. – Wykonanie dachu budynku niższego jako ognioodpornego

Dach budynku niższego powinien mieć w odległości 8 m od ściany budynku wyższego z oknami konstrukcję w klasie R 30 i przekrycie w klasie RE 30 odporności ogniowej. Alternatywnym rozwiązaniem przy bezklasowej konstrukcji i przekryciu budynku niższego jest wykonanie okien w ścianie budynku wyższego w klasie co najmniej EW 30 odporności ogniowej

Jak przedstawiono w tabeli dotyczącej odporności ogniowej elementów budynku, ustalone zostały odrębne wymagania dla konstrukcji dachu i jego przekrycia.

W zależności od zakładanego scenariusza rozwoju pożaru dachu ustala się wymagania w zakresie:

- 1) odporności na działanie ognia z zewnątrz,
- 2) rozprzestrzeniania ognia przy oddziaływaniu od wewnątrz,
- 3) odporności ogniowej przy oddziaływaniu od wewnątrz.

Należy pamiętać o tym, że przeszklenie okien połaciowych, których krawędź jest usytuowana na wysokości ponad 3 m nad poziomem podłogi, świetlików oraz dachów w budynkach użyteczności publicznej i zakładów pracy powinno być wykonane ze szkła lub innego materiału o podwyższonej wytrzymałości na uderzenie.

Cały układ dachu lub świetlika jest

klasyfikowany jako nie rozprzestrzeniający ognia, ponieważ – mimo stosowania takich materiałów palnych, jak uszczelki EPDM, izolatory termiczne z PVC lub ze spienionego polietylenu (PE) lub spienionego (polipropylenu (PP), masa silikonowa do wypełnienia spoiny między szybami, taśma butylowa – elementy te przylegają do materiałów niepalnych dobrze przewodzących ciepło, na skutek czego akumulacja ciepła w materiale palnym jest utrudniona.

Niektóre elementy stosowane są po zewnętrznej stronie przekrycia (część uszczelki, z EPDM, masa silikonowa do wypełniania spoiny między szybami i taśma butylowa), a więc istnieje możliwość odprowadzania ciepła bezpośrednio do otaczającego powietrza, co również prowadzi do przerwania spalania.

Reasumując: mimo zastosowania w dachach przeszklonych materiałów palnych ich kształt i rozmieszczenie nie przyczynia się do rozprzestrzeniania ognia przez te przekrycia.

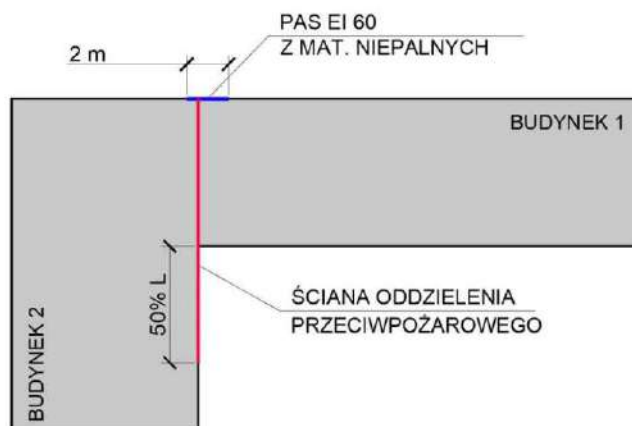
5.10. Elementy oddzielenia przeciwpożarowego

Strefy pożarowe w budynkach wydziela się ścianami i stropami oddzielenia przeciwpożarowego. Elementy te mają na ogół wyższą klasę odporności ogniowej niż elementy wstępnie klasyfikowane w budynku. Wyższe wymagania stawia się również zamknięciom otworów w tych ścianach i stropach.

Tabela 4

Wymagania stawiane zamknięciom otworów w ścianach i stropach oddzielenia przeciwpożarowego

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej				
	elementów oddzielenia przeciwpożarowego		drzwi przeciwpożarowych lub innych zamknięć przeciwpożarowych	drzwi z przedsionka przeciwpożarowego	
	ścian i stropów, z wyjątkiem stropów w ZL	stropów w ZL		na korytarz i do pomieszczenia	na klatkę schodową
„A”	REI 240	REI 120	EI 120	EI 60	E 60
„B” i „C”	REI 120	REI 60	EI 60	EI 30	E 30
„D” i „E”	REI 60	REI 30	EI 60	EI 15	EI 15



Ryc. 13

Wypełnienie otworów w ścianach materiałem przepuszczającym światło, takim jak luksfery, cegła szklana lub inne przeszklenie, nie powinno

przekraczać 10% powierzchni ściany, przy czym klasa odporności ogniowej wypełnień nie powinna być niższa niż określona w tabeli 5.

Tabela 5

Klasa odporności ogniowej wypełnień otworów w ścianach

Wymagana klasa odporności ogniowej ściany oddzielenia przeciwpożarowego	Klasa odporności ogniowej wypełnienia otworu w ścianie	
	będącej obudową drogi ewakuacyjnej	innej
REI 240	REI 120	E 120
REI 120	REI 60	E 60
REI 60	REI 30	E 30

5.10.1. Ściany oddzielenia przeciwpożarowego

W praktyce projektanci oczekują możliwości zastosowania ścian szklanych oddzielających funkcje ZL (np. użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego) od funkcji PM (przemysłowych) w celu wizualnego powiększenia przestrzeni lub

wyeksponowania rozwiązań technicznych. Spotykane były przypadki, kiedy w dyskusji nad projektem galerii handlowej analizowano możliwość zastosowania ściany szklanej w odporności ogniowej REI 120 oddzielającej strefę garażu od pasażu galerii.



Ryc. 13. – Ściana oddzielenia przeciwpożarowego na parkingu galerii handlowej

Podobnie wygląda w przypadku obiektu laboratoryjnego, gdzie zastosowanie ścian oddzielenia przeciwpożarowego daje wgląd w pracę urządzeń technologicznych (sterowni, serwerowni itp.). Oczywiście jednak sprawą jest, że z uwagi na specyfikę szkła ścianki szklane nie mają funkcji nośnej (R). W takich sytuacjach stosuje się rozwiązania systemowe i jest to możliwe, jeżeli ściany oddzielenia przeciwpożarowego:

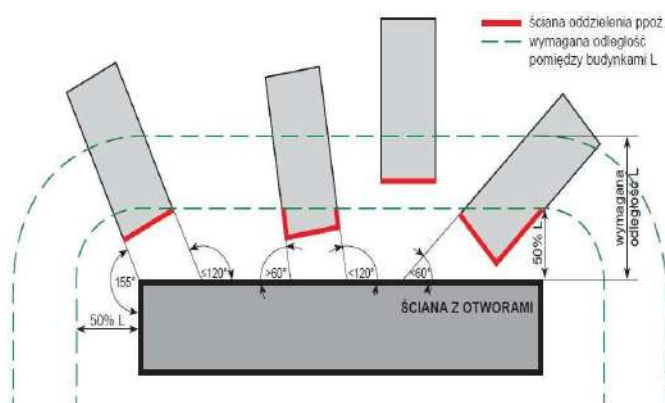
1) są mocowane do lub spoczywają na konstrukcji spełniające kryteria klasy odporności ogniowej nie niższej niż klasa odporności ogniowej

ściany z uwagi na kryteria EI,

2) nie są poddane obciążeniom mechanicznym pochodzącym od konstrukcji budynku,

3) są zamocowane do elementów budynków zgodnie z rozwiązaniem zawartym w projekcie budowlanym.

Ściany oddzielenia przeciwpożarowego stosowane są również w celu zrekompensowania zbyt małej odległości pomiędzy budynkami lub między budynkiem a granicą działki. Wówczas nie tylko pas międzykondygnacyjny musi mieć określoną klasę odporności ogniowej, ale i okna.



Ryc. 14. – Ściana oddzielenia przeciwpożarowego w przypadku blisko usytuowanych budynków

6. Odbiory budynków

1. Oznaczenie wyrobu znakiem CE lub B
2. Deklaracja właściwości użytkowych (deklaracja zgodności)
3. Zgodność parametrów ścianek szklanych, tj. szerokości, wysokości i grubości zestawu, z dokumentami technicznymi, zgodność rozwiązań z dokumentami certyfikacyjnymi
4. Szkło powinno mieć znaki identyfikacyjne:
 - oznaczenie typu szkła,
 - wyróżnienie producenta,
 - oznaczenie klasy odporności ogniowej,
 - miesiąc i rok produkcji.
5. Montaż przez wykwalifikowany personel

Podsumowanie

1. Szkło w architekturze będzie odgrywało coraz większą rolę ze względu na jego cechy oraz z uwagi na tendencję do projektowania coraz bardziej skomplikowanych obiektów.
2. Wobec spotykanych różnic między stronami procesu odbiorowego w ocenie i kwalifikacji rozwiązań aranżacji wnętrz celowe jest ustalenie przez władze budowlane powszechnie akceptowanych zasad projektowania przez architektów i branżę pożarniczą.
3. Jednostki naukowo-badawcze i laboratoria muszą współpracować z producentami szkła ognioodpornego, ponieważ będą powstawały nowe systemy wymagające certyfikacji. Nowatorskie rozwiązania szkła ognioodpornego (wymiar, kształt itp.) będą również wymagały indywidualnej dokumentacji technicznej, by uzyskać dopuszczenie do stosowania.
4. Jednostki naukowo-badawcze i laboratoria powinny dążyć do notyfikacji w Unii Europejskiej w celu wzajemnego honorowania wyników badań.
5. Ważne jest udostępnianie wiedzy i szkolenie z zakresu stosowania szkła ogniochronnego wszystkich stron zaangażowanych w proces inwestycyjny.

Literatura

1. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane: Dz.U. 1994 nr 89, poz. 414 ze zm. URL: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19940890414/U/D19940414Lj.pdf (dostęp: 22.12.2023).
2. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej: Dz.U. 1991 nr 81, poz. 351 ze zm. URL: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU19910810351/U/D19910351Lj.pdf (dostęp: 22.12.2023).
3. Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie: Dz.U. nr 75, poz. 690 ze zm. URL: isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20020750690/O/D20020690.pdf (dostęp: 22.12.2023).
4. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Europy nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych. URL: eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:PL:PDF (dostęp: 22.12.2023).
5. PN-EN 13501-1 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków.
6. PN-EN 13501-1 Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień.
7. Sprawozdania i raporty z badań szkła ognioodpornego – materiały firmy POLFLAM, 2023.
8. Klasyfikacje pożarowe szkła ognioodpornego – Instytut Techniki Budowlanej, 2023.
9. Roszkowski P., Sędłak B. Badania odporności ogniowej poziomych elementów szklanych. Świat Szkła. 2021, 2.
10. Sędłak B. Efekt skali w ocenie odporności ogniowej pionowych przegród przeszklonych. Świat Szkła. 2022, 4.
11. Kaźmierczak R. Szkło ogniochronne w aranżacji wnętrz. Ochrona Przeciwpożarowa. 2021, 1-2.

© Roman Kaźmierczak, Marek Chmiel, 2023.

Огляд статті.

Надійшла до редакції 20.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АДОЛЬФ Іван Іванович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ад'юнкт денної форми навчання ад'юнктури, докторантури, adolfovian@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9132-673X>

БАЛАНЮК Володимир Мірчович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри хімії та фізики горіння, доктор технічних наук, доцент balr33@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0853-4229>

БЕРЕЖАНСЬКИЙ Тарас Григорович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, berezhansky90@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1290-706X>

БЕСЕДА Андрій Володимирович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, a1n2d3r4@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6252-1431>

ВЕЛИКИЙ Назарій Романович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ад'юнкт денної форми навчання докторантури, ад'юнктури, nvelukuy6@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7967-4491>

ВЕСЕЛІВСЬКИЙ Роман Богданович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, докторант докторантури, ад'юнктури, roman-veselivskuy@yahoo.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3266-578X>

ВОВК Сергій Ярославович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, кандидат технічних наук, доцент, sergiy_vovk@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5278-3754>

ВОЙТОВИЧ Олександр Петрович, Головне управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області, старший помічник начальника зміни (з питань оперативного реагування) оперативно-координаційного центру, voitovychotos@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7042-1010>

ВОЙТОВИЧ Тетяна Мирославівна, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, начальник відділу науково-редакційної діяльності, доктор філософії, Voitovych.tm@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6375-6548>

ГАВРИЛЮК Андрій Федорович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, докторант докторантури та ад'юнктури, кандидат технічних наук, доцент, gavrilyk3@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8727-9950>

ГАРАСИМ'ЮК Олександр Іванович, Головне управління ДСНС України у м. Києві, начальник Києво-Святошинського районного управління, кандидат технічних наук, oig@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9708-9862>

ГУЗАР Назарій Ігорович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ад'юнкт, huzarnazarii@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7189-6545>

ГУЩАК Роман Іванович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, старший викладач кафедри фізики та хімії горіння, кандидат технічних наук, rhushchak1@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4818-2503>

КАГІТІН Олександр Іванович, ад'юнкт докторантури, ад'юнктури, sancho_lv@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2482-8422>

КОБКО Василь Андрійович, Одеський державний університет внутрішніх справ, науковий співробітник відділу організації наукової роботи, кандидат історичних наук, професор, vasilykobko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3586-8219>

КОВАЛИШИН Василь Васильович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності, доктор технічних наук, професор, kovalyshyn.v@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5463-0230>

КОПИСТИНСЬКИЙ Юрій Олегович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, начальник докторантури, ад'юнктури, кандидат технічних наук, yurak9997@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4182-7106>

КУШНІР Андрій Петрович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, кандидат технічних наук, доцент, andrekushnir@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6946-8395>

ЛАВРЕНЮК Олена Іванівна, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри фізики та хімії горіння, кандидат технічних наук, доцент, olaw@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-2896>

ЛАЗАРЕНКО Олександр Вікторович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, кандидат технічних наук, доцент, lazarenkoalexandr@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0500-0598>

ЛЕМІШКО Михайло Володимирович, Головне управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області, аспірант заочної форми навчання докторантури та адюнктури, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5148-9394>

ЛУЩ Василь Іванович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, кандидат технічних наук, доцент, v.lushch@ldubgd.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5931-3181>

МИРОШКІН Володимир Сергійович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ад'юнкт, miroxall@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3907-6945>

МИХАЛІЧКО Борис Миронович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, завідувач кафедри фізики та хімії горіння, доктор хімічних наук, професор, mykhalitchko@email.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-9992>

НАЗАРОВЕЦЬ Олег Богданович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, заступник начальника кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, кандидат технічних наук, доцент, o.nazarovets@ldubgd.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4532-9259>

ОНОШКО Інна Анатоліївна, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, старший викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, malcastic@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5793-1680>

ПАВЛЮК Юрій Емільович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри, кандидат технічних наук, доцент, yu.pavliuk@ldubgd.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0129-1116>

ПАЗЕН Олег Юрійович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, начальник кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, opazen@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1655-3825>

ПАНЧИШИН Юрій Ігорович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, викладач кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, y.panchyshyn@ldubgd.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8056-2326>

ПАРХОМЕНКО Володимир-Петро Олегович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, кандидат технічних наук, prpo2016@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7431-4801>

ПАСТУХОВ Павло Васильович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, кандидат технічних наук, pastuhovp@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3140-1101>

ПАШЕЧКО Михайло Іванович, Люблінський технічний університет (Польща), професор кафедри основ техніки, mpashechko@hotmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9317-6141>

ПЕТРОВСЬКИЙ Віталій Львович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, завідувач науково-дослідної лабораторії екологічної безпеки, v.petrovskiy@ldubgd.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-7824>

ПРИДАТКО Валентин Володимирович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, valentinpridatko1506@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6964-5929>

ПРИДАТКО Олександр Володимирович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, начальник кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій, кандидат технічних наук, доцент, o_prydatko@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0719-9118>

РЕНКАС Артур Андрійович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки, кандидат технічних наук, доцент, arthur.rencas@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5518-3508>

РУДИК Юрій Іванович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці, доктор технічних наук, доцент, rudyk@ldubgd.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7372-5876>

СНІГУР Богдан Володимирович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, аспірант, snihur.univer@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0680-0486>

СОЛЯНИК Назар Юрійович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, курсант, nazarsolyanyk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5850-1360>

ТЕРЛЕЦЬКИЙ Юрій Олегович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, аспірант вечірньої форми навчання, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1633-5458>

ТОВАРЯНСЬКИЙ Володимир Ігорович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки, кандидат технічних наук, доцент, vi_tovarianskyi@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4484-8164>

ЧАЛИЙ Дмитро Олександрович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, проректор університету з навчальної та методичної роботи, кандидат технічних наук, доцент, ldubzh.lviv@dsns.gov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7136-6582>

ШАРИЙ Володимир Володимирович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, інженер НТП інституту післядипломної освіти, доктор філософії, vollost@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8746-2184>

ЯКОВЧУК Роман Святославович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, начальник кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності, доктор технічних наук, доцент, yakovchukrs@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5523-5569>

CHMIEL Marek, Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska | Częstochowa University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, dr inż. | PhD Eng., marek.chmiel@pcz.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8662-7127>

KAŻMIERCZAK Roman, generał Państwowej Straży Pożarnej w st. sp. | retired Chief Brigadier of the Polish State Fire Service, doradca zarządu POLFLAM sp. z o.o. | Advisor to the Management Board of POLFLAM, roman.kazmierczak@polflam.com