

УДК 641.841

*К. М. Остапов¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1275-741X)**Ю. М. Сенчихін¹, к.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-5983-2747)**В. Г. Аветісян¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-5986-2794)**І. К. Кириченко², д.ф.-м.н., професор (ORCID 0000-0001-7375-8275)**О. П. Тарасенко³, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1745-3845)*¹*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*²*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна*³*Каразінський банківський інститут, Харків, Україна*

УДОСКОНАЛЕННЯ ВІЗКА ПІДВАГОННОГО ГАСІННЯ З РОЗПИЛЮВАЧЕМ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОГО СКЛАДУ

Удосконалено візок підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів, який дозволяє здійснювати гасіння в обмеженому просторі під вагоном метро за умови забезпечення раціональних параметрів розпилення гелеутворюючої суміші. З метою удосконалення спеціального візка підвагонного гасіння пожеж на станціях метро до його конструкції введено універсальний змішувач-розпилювач гелеутворюючого складу. Задля його ефективного використання при пожежогасінні на допоміжному лабораторному устаткуванні відпрацьовано рішення, які забезпечують скорочення часу та витрат гелеутворюючої суміші при локалізації і припиненні горіння можливої пожежі. Доведено тактико-технічні переваги підвагонного гасіння пожеж в метрополітені гелеутворюючими системами з використанням універсального змішувач-розпилювача, що є невід'ємною частиною удосконаленого візка вузької колії. Запропоновано раціональні рішення, які скорочують час гасіння пожеж на станціях та зменшують витрати вогнегасних речовин на 10–20 % у порівнянні з іншими, раніше запропонованими пристроями гасіння пожеж під вагонами на станціях метро. Проведено лабораторні експерименти щодо дослідження тактико-технічних характеристик удосконаленого візка з універсальним змішувач-розпилювачем типу «сегнерове колесо», які доводять, що візок здатен гасити ймовірні пожежі в складних умовах під вагонами на станціях метрополітену. Також, в усіх випадках підвагонного гасіння пожеж на станціях метро очікується поліпшення умов проведення аварійно-рятувальних робіт при евакуації людей з приміщень станцій та із вагонів, що зайнялись. Отриманні результати підтверджують підвищення ефективності гасіння у підвагонному просторі розпиленими дрібнодисперсними гелеутворюючими складами зі скороченням часу гасіння та зменшенням витрат вогнегасної речовини за рахунок використання єдиного змішувач-розпилювача гелеутворюючих складів.

Ключові слова: гелеутворюючий склад, вогнегасний порошок, метрополітен, вагони метро, візок підвагонного гасіння

1. Вступ

Метрополітен – важлива частина транспортної системи великих міст. В них постійно зростає кількість станцій метрополітену, розширюються мережі ліній, зростають обсяги перевезень пасажирів. Для здійснення перевізного процесу метрополітен має розгалужену мережу підземних споруд з розміщеним в них різноманітним технічним обладнанням [1, 2].

Вітчизняний та світовий досвід експлуатації метрополітенів свідчить про їх високу пожежну небезпеку. Гасіння пожеж у підземних спорудах метрополітену ускладнюється їх сильним задимленням, віддаленістю від поверхні, труднощами в управлінні пожежно-рятувальними підрозділами, необхідністю взаємодії з адміністрацією об'єкта під час проведення евакуації та виконанні організаційно-технічних заходів щодо зняття напруги та димовидалення [3].

У зв'язку з цим особливе значення набувають питання безпеки пасажирів, обслуговуючого персоналу метрополітену та особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, які беруть участь у гасінні пожеж [4, 5].

Велику небезпеку мають пожежі у вагонах рухомого складу. Статистичні данні про загоряння й пожежі у метрополітенах України та світу за останні роки свідчать, що найбільш вразливим в пожежному відношенні слід вважати підвагонний простір [6].

Це пов'язано з тим, що під вагонами метро є підвищена ймовірність виникнення пожеж, яка обумовлена насиченістю цього простору складовими класичного трикутника пожежі. Вздовж вагону у великому обсязі розміщено його пожежне навантаження (в перерахунку на площу підлоги вагону у межах 45–50 кг/м²). Наявність в тунелях і на станціях потужної примусової та природної вентиляції створює умови для швидкого розповсюдження пожежі та задимлення станції метрополітену. Також постійно зберігається висока небезпека від джерел запалювання (механічного та електричного походження) [7].

Крім переліченого, особлива небезпека для людей пов'язана ще з тим, що основна частина матеріалів оздоблювання у метро при горінні виділяє отруйні гази підтримуючи горіння та спроможна розповсюджувати вогонь на інше обладнання [8]. Все це створює труднощі в роботі пожежних-рятувальників, що зайвий раз підтверджує актуальність даного дослідження [9]. Особливу актуальність дана робота набуває в умовах воєнного стану, коли значна кількість наявних шкільних занять молодших класів проводиться у підземних спорудах метрополітену.

Таким чином, проблема складності гасіння пожеж у важкодоступних місцях під вагонами метро є актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботі [10] зазначено, що найбільш потужний і ефективний для гасіння пожеж на залізничному рухомому складі є пожежний потяг. Він має тяговий локомотив, до якого причеплені ємності з запасом вогнегасних речовин (вода, піноутворювач, порошок та ін.) та допоміжні вагони, в яких є потужні насоси, мотопомпи, пожежні рукава, пожежні стволи, вогнегасники й інше пожежно-технічне устаткування (ПТУ). Все це необхідно на випадок гасіння великих пожеж різноманітного характеру.

При одержанні повідомлення про резонансну пожежу пожежний потяг прибуває до об'єкту пожежогасіння по залізничній колії. Бригада електриків знімає напругу з контактної мережі і видає дозвіл на гасіння, а особовий склад пожежних-рятувальників, використовуючи наявне ПТУ, приступає до подавання вогнегасних речовин (ВГР) на осередки пожежі в потрібні й доступні для цього місця. Основними недоліками використання пожежного потягу є досить тривалий час прибуття, висока вартість залучення та обмежена зона використання.

В роботі [11] відмічено, що в метрополітенах з метою гасіння пожеж на станціях метро використовують прості, недорогі візки з пересувними вручну вогнегасниками порошкового типу ВП-50. Тим не менш, за аналогію з залізницею для метро розроблено схожий підхід для обслуговуючого персоналу, де останньому наказано по прибуттю і зупинці електропоїзда, що горить, необхідно спочатку зняти напругу з контактної мережі. Після одержання команди на гасіння, слід дотягти до вагона з пожежею візки з ВП-50. Потім, оператори відчиняють запірні пристрої й спрямовують потік вогнегасного порошку на осередок пожежі, здійснюючи гасіння до припинення горіння, або до повної витрати порошку, яка настає через 25 с. Складнощі застосування ВП-50 для гасіння у підвагонному просторі створюються в наслідок непередбаченості пожежі, хаотична евакуація

пасажирів з вагонів заважає налагодженню цілеспрямованих дій обслуговуючому персоналу станції і пожежним-рятувальникам. До того ж, через люки та проїми поміж вагонами дістатися до палаючого обладнання під вагоном не завжди можливо. Тому гасіння такими штатними візками з ВП-50 підвагонного обладнання є не ефективним.

В роботі [12] було створено та частково опрацьовано порівняно ефективний устрій підвагонного гасіння. Бажане поліпшення ефективності гасіння вірогідних пожеж на станціях метро під вагонами вирішувалося за рахунок того, що порошкові вогнегасники ВП-5 (в кількості 8 шт.) закріплювалися на рамі спеціального візка вертикально. Візок з ними мав рухатися під вагонами всього електропоїзду по середині колії метро в поглибленому дренажному лотку водозбірника станції. Можливості використання такого устрою відпрацьовувалися на умовних пожежах вагонів, що прибували до станції. Експерименти довели, що за рахунок розміщення на візку вогнегасників ВП-5, дистанційного управління рухом візка й задіяння вогнегасників за певною послідовністю (або усіх разом) можна дещо підвищити ефективність підвагонного гасіння пожеж у метро, причому безпечно для пасажирів та інших людей на станції. В такому разі досягається безпосередній контакт ВГР з об'єктами пожежогасіння під вагонами. Дно конкретного вагона спільно з платформою і боковою стіною станції певною мірою сприяють утворенню пів-замкнутого простору, який при гасінні буде заповнюватися вогнегасним порошком (ВГП), підвищуючи об'ємну концентрацію порошково-повітряної суміші, яка буде «огортати» елементи обладнання, які палають під вагоном та сприяти гасінню пожежі. Але, як показали подальші натурні експерименти, ефективність гасіння такими устроями все ж таки недостатня, що б гарантовано стати на заваді пожежі на етапі її виникнення та розвитку до горіння вагонів всього електропоїзду. Недоліки запропонованого способу гасіння обумовленні й тим, що під впливом інтенсивних повітряних потоків на станціях і в підвагонному просторі, частинки вогнегасного порошку будуть зноситися та осаджуватися на основну рейкову колію, суттєво знижуючи ефективність гасіння.

В роботі [13] зроблено крок до підвищення ефективності гасіння пожеж на станціях метро в підвагонному просторі. Було проведено експерименти, в яких замість вогнегасного порошку подавалась на гасіння сучасна гелеутворююча система двокомпонентного складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 + \text{CaCl}_2$. Доставку гелеутворюючих складів (ГУС) під відповідний вагон електропоїзду на станції здійснюється за допомогою спеціального візка. На його рамі розміщено горизонтально та закріплено хомутами з замками два балони по 50 л, в які закачано під тиском дві компоненти ГУС. Кожен балон (зі своєю компонентою ГУС) приєднано через запірний пристрій до розпилювача, який розпорошує свою складову ГУС на палаючі елементи обладнання під вагоном метро. Дослідження показали, що недоліком такого візка є окрема подача на об'єкти пожежогасіння компактними струменями компонент ГУС, що не сприяє покриттю усіх елементи обладнання під вагоном рівномірно. Тим самим зменшується ефект адгезії ГУС до палаючих поверхонь. А це, в свою чергу, супроводжується не раціональними витратами ГУС і зменшенням ефективності пожежогасіння.

В роботі [14] проблема підвищення ефективності використання ГУС при гасінні пожеж класу А вирішувалася шляхом удосконалення тактико-технічних можливостей ручного візка установки гасіння гелеутворюючими складами, за рахунок здійснення рівномірного покриття всієї палаючої поверхні, розпиленням

дрібнодисперсним потоком вже змішаних компонент ГУС. Недоліком використання цієї установки є неможливість здійснювати доставку та подачу ручним стволом компонент ГУС на осередки пожежі в обмеженому підвагонному просторі.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є недостатня ефективність розпилення та подачі гелеутворюючих складів до важкодоступних місць під вагонами метро.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є удосконалення візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів, який дозволяє здійснювати гасіння в обмеженому просторі під вагоном метро за умови забезпечення раціональних параметрів розпилення гелеутворюючих складів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробити проект удосконалення візка підвагонного гасіння з єдиним змішувачем та розпилювачем компонент гелеутворюючих складів;
- провести лабораторний експеримент з дослідження запропонованого візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів при різних способах подачі та параметрах розпилення компонент вогнегасної речовини.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є проект удосконалення спеціального візка, а саме – роботи його устаткування з удосконаленням тактико-технічних характеристик, що визнається лабораторними експериментами пожежогасіння елементів обладнання, що розміщене під вагонами метро.

Предметом дослідження є процес пожежогасіння у підвагонному просторі вагона метро, який складається з доставки удосконаленим візком складових компонент ГУС та їх подавання на модельні аналоги палаючого підвагонного обладнання різними способами подачі та параметрами розпилення компонент ГУС.

Гіпотезою дослідження є припущення, що удосконалення візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів дозволить здійснювати гасіння в обмеженому просторі під вагоном метро та забезпечить раціональні параметри розпилення гелеутворюючих складів.

Дослідження проведено як лабораторний експеримент по гасінню загорянь модельних зразків елементів підвагонного обладнання вагону метро на створеному устаткуванні у вигляді лабораторного стенду, який дозволяє змінювати положення модельного вогнища (фрагменту підлоги вагона), відносно кута подачі ГУС.

Для реалізації лабораторних експериментів загорянь та розвитку пожеж під вагоном метро було виготовлено фрагмент підлоги вагону, який за своїм пожежним навантаженням дорівнює модельному вогнищу 1А.

На рис. 3 наведено комплекс лабораторного оснащення й схеми експериментів щодо підвагонного гасіння пожеж ГУС.

Щоб максимально наблизити умови експерименту до реального гасіння підвагонного простору було використано спеціальний стенд (рис. 3, а), який різними кутами нахилу імітував рух модернізованого візка. Це дозволило досліджувати вплив кута нахилу поверхні пожежогасіння на стійкість адгезії та ефективність гасіння. Завдяки стенду подача вогнегасної речовини здійснювалася на фрагмент підлоги вагона під змінним кутом α . Положення модельного вогнища змінювалось від вертикального (рис. 2, б) до подачі знизу вгору на горизонтально розташовану поверхню підлоги

вагону (рис. 3, а). Розмір крапель гелеутворюючих складів оцінювався візуально, перед випробуваннями з гасіння, шляхом розгляду зразка гідрофобного матеріалу з напиленням на його поверхню вогнегасної речовини (рис. 3, в).



Рис. 2. Забезпечення експериментів по гасінню модельних вогнищ класу 1А: а – наближений за своїм пожежним навантаженням фрагмент підлоги вагону метро; б – розпалювання модельного вогнища у вигляді фрагменту підлоги вагону

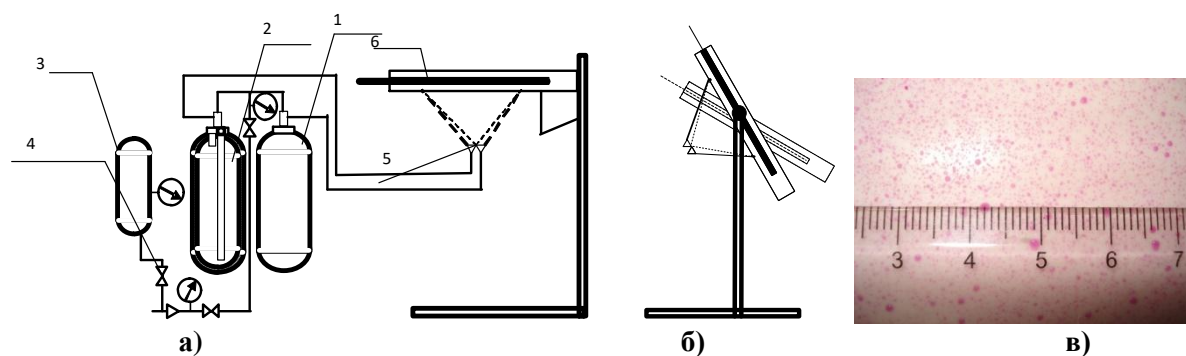


Рис. 3. Оснащення й схема експериментів на спеціальному стенді: а – схема стендової установки : 1, 2 – ємності з компонентами ГУС, 3 – компресор, 4 – запірний вентиль, 5 – розпилювачі; б – стенд під різними кутами подавання ГУС; в – визначення розміру крапель ГУС

Процедура випробувань мала наступну послідовність. На спеціальній підставці (рис. 2, б) розміщувалось модельне вогнище, під яке вводився піддон, у якому поверх шару води наливалося 1 л бензину. Бензин запалювався. Після повного вигорання (за 3 хв) піддон забирався. Час вільного горіння вибирався рівним 1 хв. Загальний час розпалювання модельного осередку становив 4 хв, після цього розпочиналася подача дрібно розпилених компонент ГУС. Ефективність гасіння характеризував проміжок часу від початку подавання розчину до припинення горіння. Результат вважався позитивним, якщо гасіння тривало до 45 с та коли протягом 600 с після закінчення гасіння, не спостерігалася поява полум'я. Однак, основним критерієм ефективності була маса компонент ГУС витрачених на гасіння, яка напряму залежала від адгезії гелю до поверхні пожежогасіння. Маса вогнегасної речовини, що пішла на гасіння визначалася шляхом зважування установки до початку гасіння та після нього.

Здобуття та опрацювання результатів взаємозв'язаних завдань проекту удосконалення візка для ефективного та безпечного підвагонного гасіння пожеж на станціях метрополітенів, використовувалися методики лабораторного експерименту, що були розроблені нами в роботі [7].

5. Розробка проекту удосконалення візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів

Щодо шляху доставки двох складових ВГР (гелеутворюючої сполуки $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 + \text{CaCl}_2$) до потрібного місця у підвагонному просторі, то тут удосконалення візка доцільно пов'язати з універсальним змішувач-розпилювачем типу «сегнерове колесо», проект якого нами запропоновано.

Він містить: раму вузької колії з двома балонами, що заповнені під тиском двома компонентами ГУС та прикріплені до рами рухомого візка з двома колісними парами, де перша і друга колісні пари приєднані тросом з зачіпками до барабанної лебідки з відповідним приводом «тягни-штовхай». Візок встановлено у колії посередині основної колії руху вагонів метро. Удосконалення візка підвагонного гасіння полягає у використанні змішувача-розпилювача типу «сегнерове колесо» з двома загнутими до гори під кутом (відносно горизонтальної площини візка) кінцевими насадками, які дозволяють змінювати дисперсність крапель та розпилюють компоненти ГУС у вигляді дрібнодисперсного туману рівномірно на усі поверхні підвагонного простору. Завдяки дрібнодисперсному рівномірному розпиленню компонент ГУС вдається рівномірно покрити всі елементи обладнання під вагоном, отримати однаково стійку адгезію на всіх поверхнях пожежогасіння та зменшити втрати ВГР від стікання та осипання. На рис. 4, а наведено схеми до проекту удосконаленого візка вузької колії зі спрощеним блоком керування. Спрощення блоку керування рухом візка вузької колії стає можливим завдяки конструктивному зменшенню кількості балонів з ВГР до 2-х штук (рис. 4,а).

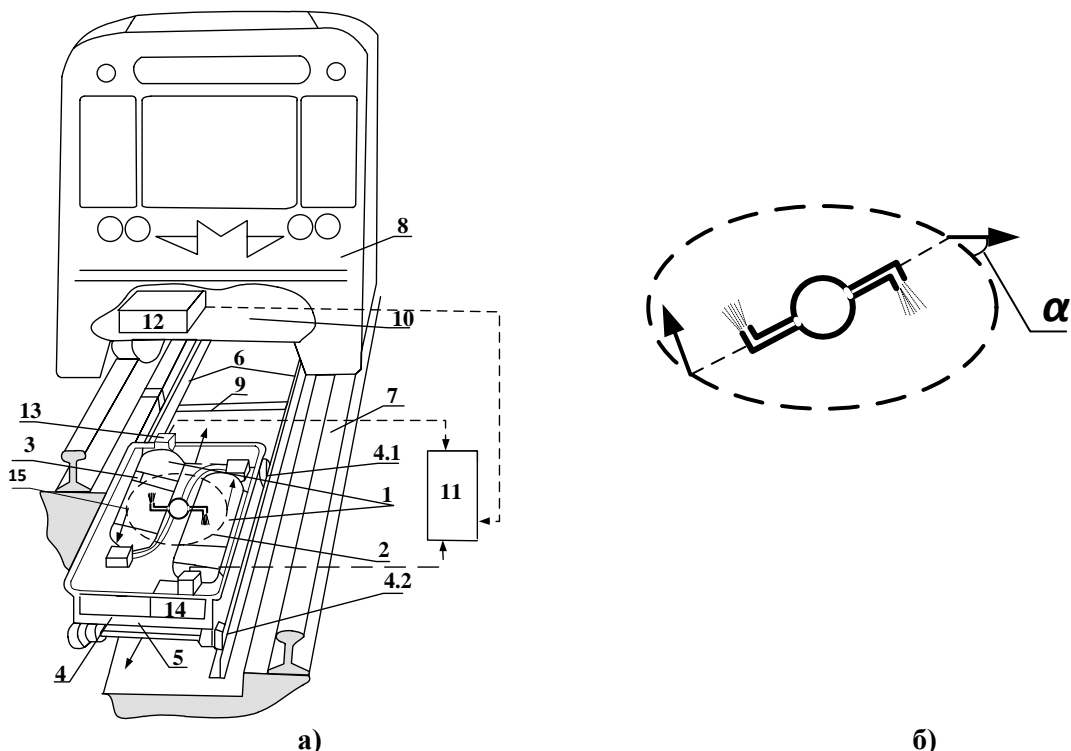


Рис. 4. Схеми до проекту удосконаленого візка підвагонного гасіння: а – устрій підвагонного гасіння: 1 – балони з компонентами ГУС; 2 – хомути кріплення; 3 – замки кріплення; 4 – візок; 4.1, 4.2 – перша і друга колісні пари; 5 – зачіпка; 6 – вузькоколійна дорога; 7 – основна колія; 8 – вагон метрополітену; 9 – шпала; 10 – тягова лебідка з тросом «тягни-штовхай»; 11 – система управління рухом візка; 12 – система управління рухом вагону; 13 – датчик температури; 14 – тахометр 15 – розпилювач типу «сегнерове колесо»; б – схема роботи змішувач-розпилювача типу «сегнерове колесо»

Тягова лебідка з барабаном, що закріплена тросом з зачіпками, задіяна за принципом «тягни-штовхай», забезпечує човниковий рух візка з одночасним розпорошуванням попередньо змішаної рідини ГУС у підвагонний простір. Спрощений блок управління керує рухом візка за аналогією з системою автоматичного регулювання швидкості вагонів. Візок з вогнегасниками зупиняється в залежності від факту досягнення їм осередку пожежі. Про що сигналізують температурний та швидкісний датчики, які встановлені на візку. Всі режими руху візка, включаючи його повернення на вихідне положення для заміни порожніх вогнегасників, заповненими, здійснюється дистанційно.

На рис. 4, б показано, схему роботи універсального змішувач-розпилювача типу «сегнерове колесо». Так, за рахунок реактивного обертання змішувач-розпилювача типу «сегнерове колесо», створюється можливість наповнення підвагонного простору дрібнодисперсним «туманом» ГУС та за рахунок реверсивного зміщення візка («туди-сюди» біля осередку пожежі) шарами покриваються деталі та вузли всього палаючого підвагонного обладнання. Тут α – нахил кінця насадку змішувач-розпилювачу, тобто кут атаки на пожежу.

6. Дослідження параметрів удосконаленого візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів

Спочатку звернемо увагу на тактичний аспект удосконалення візка ефективного та безпечного підвагонного гасіння пожеж під вагонами на станціях метро з розпилювачем типу «сегнерове колесо». Цей аспект вважається одним з основних так, як дає можливість визначити кращий шлях до підвищення ефективності гасіння пожеж гелеутворюючим складом $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 + \text{CaCl}_2$ у підвагонному просторі. Тобто тут треба вибрати ту альтернативу, яка дає можливість підвищити ефективність гасіння під вагоном. Одним з параметрів дослідження удосконаленого візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів було порівняння двох різних способів подачі ГУС на гасіння. А саме:

– подавання складових ГУС на гасіння підвагонного обладнання здійснювалося двома окремими розпилювачами (кожна складова з компонент ГУС окремо, змішування компонент ГУС відбувалось на поверхні умовної підлоги вагону);

– використовувався універсальний змішувач-розпилювач типу «сегнерове колесо», у якому змішуються компоненти ГУС, а їх рідинний розчин розпилюється дрібнодисперсним туманом у підвагонному просторі навкруги деталей та вузлів, що горять.

Іншим не менш важливим параметром удосконаленого візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів, було дослідження впливу діаметру розпилення крапель ГУС, кута нахилу подачі ВГР на об'єкт пожежогасіння та їхній вплив на кількість витраченої ВГР на гасіння модельного вогнища пожежі, що і характеризувало ефективність гасіння. Випробування в обох випадках проводилися на модельних зразках дерев'яної підлоги вагону, результати яких наведені у табл. 1.

З даних табл. 1 побачимо, що запропонований шлях удосконалення візку з одним змішувач-розпилювачем переважає за своїми тактико-технічними показниками (ГТХ) пожежогасіння, де передбачається використання двох окремих розпилювачів. У всіх випробуваннях витрата маси ГУС та час гасіння тут помітно знижується. Кращий цей показник було отримано при нахилу розпилювання ГУС під кутом $\alpha = 15^\circ$ по відношенню до площини умовної підлоги вагону (по масі зниження витрат ГУС – на 20 %; по часу гасіння – є покращення хоча й невелике до 10 %).

Табл. 1. Результати випробувань з гасіння фрагменту підлоги вагона метро, набліженого за своїм пожежним навантаженням до модельного вогнища класу А

№ досліджу	Діаметр крапель ГУС, d мм	Нахил насадку, α град	Маса ГУС на гасіння, m кг		Термін часу гасіння, T с	
			z_1 – один розпилювач	z_2 – два розпилювача	z_1 – один розпилювач	z_2 – два розпилювача
1.	0,5	15	3	3,5	23	25
2.	1	15	2,8	3	21	20
3.	2	15	3,1	3,3	22	23
4.	3	15	3,4	3,5	28	30
5.	4	15	3,7	3,9	35	40
6.	0,5	30	3,3	3,6	22	26
7.	1	30	3,1	3,1	20	22
8.	2	30	3,4	3,4	21	23
9.	3	30	3,6	3,5	28	30
10.	4	30	3,8	4	38	41
11.	0,5	45	3,1	3,6	24	26
12.	1	45	3	3,3	23	25
13.	2	45	3,5	3,6	24	26
14.	3	45	3,7	3,8	28	32
15.	4	45	3,9	4	37	42
16.	0,5	60	3,6	3,8	25	28
17.	1	60	3,1	3,3	23	25
18.	2	60	3,3	3,6	26	27
19.	3	60	3,6	3,8	30	32
20.	4	60	4	4,1	40	42

Для графічної ілюстрації отриманих результатів, побудовано наочні графіки за даними табл. 1, які отримано статистичними методами регресійного аналізу. Природно – тільки для кращого варіанту гасіння одним розпилювачем.

Математичними моделями витрат маси ГУС на гасіння модельного вогнища та витрат часу на гасіння є поліноми другого ступеня з невідомими коефіцієнтами, які визначалися за методом найменших квадратів.

Для зручності аналізу далі зроблено математичні зміни перемінних, які вказані в табл. 1: $y=m(T)$ – витрачена на гасіння маса ГУС, (чи T – термін часу); $x_1=d$ – діаметр крапель; $x_2=\alpha$ – нахил насадку розпилювача, до площини фрагменту моделі підлоги вагону.

Після статистичної обробки даних табл. 1 маємо два полінома – дві моделі:

1) Модель витрат маси ГУС при гасінні:

$$y = 2,09x_1^2 - 10,75x_2^2 + 0,78x_1x_2 - 7,29x_1 + 14,63x_2 + 2,04; \quad (1)$$

2) Модель витрати часу на гасіння:

$$y = 23x_1^2 + 173,97x_2^2 + 14,69x_1x_2 - 114,63x_1 + 227,23x_2 - 125,58. \quad (2)$$

Дослідження на екстремум першої моделі $y(x_1, x_2)$:

Знаходимо перші похідні:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x_1} &= 4,18x_1 + 0,78x_2 - 7,29 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= 21,5x_2 + 0,78x_1 + 14,63 = 0.\end{aligned}\quad (3)$$

Отримуємо стаціонарну точку Q з координатами $(1,0 \text{ мм}; 15^\circ; 2,8 \text{ кг})$
Знаходимо похідні другого порядку для тої ж стаціонарної точки Q :

$$A = \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = 4,18; \quad B = \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} = 0; \quad C = \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = 21,5. \quad (4)$$

Знаходимо витрати ГУС на гасіння.

Так як $\Delta = AC - B^2 = 4,18 \cdot 21,5 - 0 > 0$ і $A > 0$, то Q є точка екстремуму. Підставляємо $x_1=1,0$ і $x_2=15$ в формулу моделі 1). В підсумку маємо: $y_{\min} = 2831,74$ грам (тобто 2,8 кг) витрат ГУС при гасінні модельного осередку пожежі. В звичайній системі координат Декарта $z(x,y)$ ілюстрація цього дослідження має вигляд, зображений на рис. 5, а.

За аналогією, для другої моделі (час гасіння) після досліджень функції $y(x_1, x_2)$ на екстремум в координатах Декарта для моделі 2) маємо рис 5, б.

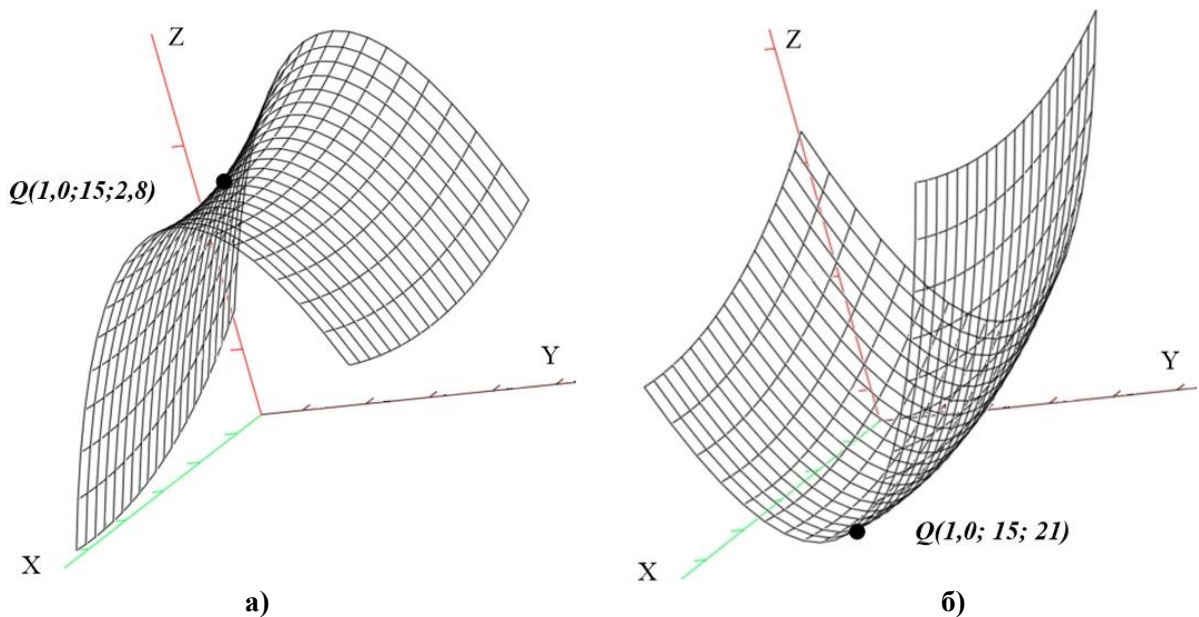


Рис. 5. Ілюстрація витрат: а – маси ГУС; б – часу на гасіння

При цьому, найбільш раціональні ТТХ удосконаленого універсального змішувач-розпилювача відповідно є: діаметр крапель ГУС $d=1$ мм; кут нахилу насадки, $\alpha=15^\circ$.

Таким чином, обидва тактико-технічні взаємопов'язані завдання удосконалення візка підвагонного гасіння з підвищенням ефективності й безпеки гасіння ГУС в підвагонному просторі виконано, й можна вважати, що мету досліджень досягнуто.

На основі результатів досліджень подана заявка та отримано позитивне рішення на корисну модель ефективного підвагонного гасіння пожеж на станціях метро [15].

6. Обговорення результатів удосконалення візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів

Звісно, що запропонований проект удосконаленого візка зі змішувач-розпилювачем двокомпонентних гелеутворюючих складів потребує доопрацювання на реальному дослідному зразку. Хоча з табл. 1 і рис. 5 зрозумілі досягнення більш ефективного гасіння пожеж та значно безпечнішого виконання рятувальних дій при пожежогасінні підвагонного простору метрополітену. За проектом гелеутворююча вогнегасна речовина без зайвих втрат своєї маси покриває усі палаючі елементи підвагонного обладнання. Таким чином, доведено тактико-технічні переваги підвагонного гасіння пожеж в метрополітені гелеутворюючими системами з використанням універсального змішувач-розпилювача, який є невід'ємною частиною удосконаленого візка вузької колії.

Дійсно, запропоновані раціональні рішення скорочують час гасіння пожеж на станціях та зменшують витрати вогнегасних речовин на 10–20 % в порівнянні з іншими, раніше запропонованими пристроями гасіння пожеж під вагонами на станціях метрополітену. Отриманні практичні результати проведених досліджень у вигляді проекту свідчать, що удосконалення візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів може дати зменшення нераціональних втрат компонент ГУС, а також скорочення часу гасіння можливих пожеж у метро на 10–20 %. Це, в свою чергу, дозволить суттєво зменшити прямі та побічні збитки від пожежогасіння та поліпшити безпеку роботи пожежних при гасінні в складних умовах метрополітену, особливо глибокого закладення.

Суттєві тактико-технічні заходи удосконалення візка підвагонного гасіння пожеж на станціях метро, що відображені в цієї статті, підтверджуються отриманим позитивним рішенням про видачу патенту на корисну модель. Тут, завдяки використанню двох компонент ГУС потрібно мати на візку тільки дві ємності по 50 л для кожної компоненти ГУС. За рахунок, цього спрощено блок управління роботою візка, який керує доставкою візка підвагонного гасіння та своєчасним розпиленням ВГР. Підвищення ефективності гасіння пожеж у просторі під вагоном метрополітену досягається за рахунок запропонованого єдиного змішувач-розпилювача типу «сегнерове колесо», який здійснює розпилення готового розчину ГУС на палаючі й не палаючі елементи у підвагонного простору. При чому, використання змішувач-розпилювача дозволяє зменшити на 15 % нераціональні втрати компонент ГУС, в порівнянні з подачею двома окремими розпилювачами, за рахунок завчасного змішування компонент ГУС та їх розпилення у дрібнодисперсному вигляді. У такий спосіб насичується підвагонний простір дисперсійним «туманом». А в ньому знаходяться охоплені вогнем деталі та вузли підвагонного обладнання. У випадку невлучання компонент ГУС прямим попаданням на палаючі елементи під вагоном, за перший прохід візка вздовж пожежі, при реверсивному русі візка краплі «туману» ГУС будуть послідовно нашаруватися на всіх деталях його обладнання під вагоном, запобігаючи розповсюдження вогню у підвагоному просторі на інші вагони метро, локалізуючи та ліквідуючи пожежу.

Всі отримані при дослідженнях результати вочевидь віддають перевагу удосконаленому візку з одним універсальним змішувач-розпорошувачем компонент ГУС. Він об'єднує обидві гелеутворюючі складові ГУС, що дає можливість повною мірою використовувати адгезійні властивості, надійно закріплюючи шари гелю на палаючих і не палаючих деталях підвагонного обладнання. Тим самим, припиняється доступ кисню до палаючих елементів підвагонного обладнання, осередок

пожежі локалізується та ліквідується, а пожежа не розповсюджується вздовж вагонів на весь потяг. Таким чином, спосіб гасіння простору під вагоном, з використанням удосконаленого візка підвагонного гасіння з змішувач-розпилювачем ГУС не перешкоджає висадці пасажирів з вагонів (без паніки) та не створює додаткових перешкод роботі персоналу станції і пожежним-рятувальникам в умовах пожежі.

Також необхідно звернути увагу на те, що в теперішній загарбницькій війні рашистів проти України, в умовах активного обстрілу Харкова, Києва і Дніпра російськими снарядами і ракетами харківський метрополітен з вересня 2023 року першим впровадив навчання молодших класів в приміщеннях метрополітену. Тому удосконалення технічних засобів гасіння пожежонебезпечного обладнання у підвагоному просторі стає особливо важливим в умовах сьогодення.

Серед недоліків даного дослідження можна відзначити використання в якості модельного вогнища лише одного з можливих пожежонебезпечних елементів у підвагоному просторі, елемента дерев'яної підлоги. В перспективі планується дослідити ефективність застосування удосконаленого візка підвагонного гасіння зі змішувач-розпилювачем ГУС дрібнодисперсної подачі ВГР для гасіння інших розповсюджених пожежонебезпечних елементів обладнання під вагоном метро, таких як ізолююче покриття ліній електроживлення з гуми та полівінілхлориду.

Розвиток даного дослідження полягає в тому, що досвід вирішення проблеми підвагонного гасіння пожеж може бути розповсюджено взагалі на увесь рейковий транспорт пасажирського й промислового призначення. Під час практичного впровадження візка підвагонного гасіння зі змішувач-розпилювачем ГУС можуть виникнути труднощі з надійністю елементів його конструкції. Дійсно, під час експериментальних випробувань з гасіння умовного підвагонного простору, деякі елементи конструкції візка, при тривалому впливу високих температур, можуть деформуватися. Але ці питання не складно вирішити шляхом застосування сучасних вогнетривких матеріалів.

7. Висновки

1. Розроблено проект удосконалення візка підвагонного гасіння з єдиним змішувач-розпилювачем гелеутворюючих складів типу сегнерове колесо. Розглянуто та наведено принцип роботи удосконаленого візка підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів. Визнано, що конструкція запропонованого єдиного змішувач-розпилювача, що створює умови для змішування компонентів гелеутворюючих складів перед подачею їх на гасіння, дозволяє здійснювати дрібнодисперсне розпилення компонент гелеутворюючих складів з розміром крапель 0,5 мм. В такий спосіб вдається створити крапельний туман, який рівномірно покриває все обладнання під вагоном та створює сприятливі умови для стійкої адгезії гелю на всіх поверхнях пожежогасіння, що в свою чергу дозволяє зменшити часу гасіння та нераціональні втрати вогнегасної речовини на 10–15 %. Запропонована конструкція удосконаленого візка підвагонного гасіння зумовлює ефективно її використання на практиці.

2. Досліджено удосконалений візок підвагонного гасіння з розпилювачем гелеутворюючих складів. Доведено, що використання удосконаленого візка зі змішувач-розпилювачем гелеутворюючих складів підвищує ефективність безпечного підвагонного гасіння пожеж на станціях метро: знижується витрата запропонованої вогнегасної речовини на 15 % і до 10 % скорочується час гасіння можли-

вої пожежі у підвагонному просторі. До цього ж, безперечно поліпшуються умови евакуації пасажирів з вагонів і людей зі станції під час пожеж, що свідчить про доцільність обладнувати такими візками станції метрополітенів. Визначено раціональні значення параметрів подачі вогнегасної речовини, а саме: дисперсність крапель в 1 мм компонент гелеутворюючих складів та кут нахилу насадку $\alpha=15^\circ$, які дозволяє отримати стійку адгезію гелю до всіх поверхонь підвагонного пожежогасіння, таким чином запобігаючи нераціональним втратам компонент гелеутворюючих складів. Встановлено, що такі параметри розпилення гелеутворюючих складів дозволяють, отримати більш високу вогнегасну здатність в порівнянні з запропонованими раніше способами подачі вогнегасної речовини у підвагоному просторі, навіть при гасіння об'єктів під різними кутами їх нахилу. Визначено, що зі збільшення дисперсності крапель гелеутворюючих складів більше 1мм стійкість адгезії гелю до палаючих поверхонь зменшується призводячи до їх нераціональних витрат. Експериментально підтверджено, що зменшення дисперсності розпилення менше 1 мм призводить до здування крапель повітряними потоками зменшуючи ефективність гасіння гелеутворюючих складів.

Література

1. Zheng Wei, Zhang Xi, Wang Zhuo-fu Experiment study of performances of fire detection and fire extinguishing systems in a subway train. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 135. P. 393–402. doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.147
2. Saveliev D., Khrystych O., Kirieiev O. Binary fire-extinguishing systems with separate application as the most relevant systems of forest fire suppression. *European journal of technical and natural science*. 2018. Vol. 1. P. 31–36. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7121>
3. Ostapov K. M., Senchihin Yu. N., Syrovoy V. V. Development of the installation for the binary feed of gelling formulations to extinguishing facilities. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2017. Vol. 132. P 75–77. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3891>
4. Lyman Dale Ambulatory surgery center safety guidebook. *Managing code requirements for fire and life safety*. 2018. P. 23–26 doi: 10.1016/B978-0-12-849889-7.00005-4
5. Ostapov et al., Improving the installation of fire gasing with gelelating compounds. *Problems of emergency situations*. 2021. Vol. 33. P. 4–14. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14116>
6. Zhanga Limao, Wua Xianguo, Liub Menjie, Liuc Wenli, Ashuri Baabak Discovering worst fire scenarios in subway stations: A simulation approach. *Automation in construction*. 2019. Vol. 99. P. 183–196. doi: 10.1016/j.autcon.2018.12.007
7. Gravit M. Vaititckii A. Shpakova A. Subway constructions fire safety regulatory. *Requirements procedia engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1667–1672. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.908
8. Pietukhov R., Kireev A., Slepuzhnikov E., Chyrkina M., Savchenko A. Lifetime research of rapid-hardening foams. *Problems of emergency situations*. 2020. Vol. 31. P. 226–233. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11675>
9. De-xu Du, Xu-hai Pan, Min HUA. Experimental study on fire extinguishing properties of compound superfine powder. *Procedia Engineering*. 2018. P. 142–148.

doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.126

10. Ng Y. W., Chow W. K., Cheng C. H., Chow C. L. Scale modeling study on flame colour in a ventilation-limited train car pool fire. *Tunnelling and underground space technology*. 2019. Vol. 85. P. 375–391 doi: 10.1016/j.tust.2018.12.026

11. Zeng Long, Maohua Zhong, Junfeng Chen, Huihang Cheng. Study on emergency ventilation strategies for various fire scenarios in a double-island subway station. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2023. Vol. 235. 105364. doi: 10.1016/j.jweia.2023.105364

12. Kai Wang, Weiyao Cai, Yuchen Zhang, Haiqing Hao, Ziting Wang. Numerical simulation of fire smoke control methods in subway stations and collaborative control system for emergency rescue. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 147. P. 146–161. doi: 10.1016/j.psep.2020.09.033

13. Остапов К. М., Сенчихін Ю. М., Аветісян В. Г., Гапоненко Ю. І., Кириченко І. К. Підвищення ефективності гасіння пожеж у підвагоному просторі метро гелеутворюючими складами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2023. 2(38). P. 267–280. URL: <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/38/18.pdf>

14. Ostapov K., Kirichenko I., Senchykhyn Y. Improvement of the installation with an extended barrel of cranked type used for fire extinguishing by gel-forming compositions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4(10(100)). P. 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174592

15. Пат. 154597 Україна, МПК (2023.01) А62С 35/00 Візок для підвагонного гасіння пожеж гелеутворюючими складами / Остапов К. М., Сенчихін Ю. М., Аветісян В. Г., Мележик Р. С.; заявник та патентовласник Нац. у-т цив. зах. України – u202303215; заяв. 03.07.2023; опубл. 23.11.2023, Бюл. № 47 URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18841>

K. Ostapov¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

Y. Senchykhyn¹, PhD, Professor, Professor of the Department

V. Avetisyan¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

I. Kirichenko², DSc, Professor, Professor of the Department

O. Tarasenko³, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

¹*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

²*Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine*

³*Karazin Banking Institute, Kharkiv, Ukraine*

IMPROVEMENT OF THE UNDERCAR EXTINGUISHING TROLLEY WITH A GEL-FORMING COMPOSITION SPRAYER

Together with the general improvement of the undercarriage fire extinguishing trolley at metro stations, a universal mixer-sprayer of the gel-forming composition is proposed. Solutions have been worked out on laboratory equipment, which ensure an increase in the efficiency of fire extinguishing, and ultimately simplify the conditions for conducting rescue operations at subway stations. The project of improving the cart with a mixer-sprayer of gel-forming compositions is proposed. The improved trolley makes it easier to carry out rescue operations and increases the efficiency of extinguishing. The gel-forming fire-extinguishing substance itself covers the burning elements of the undercarriage equipment without excessive loss of mass. As a result of research: the tactical and technical advantages of undercarriage fire extinguishing in the subway with gel-forming systems using a universal mixer-sprayer, which is an integral part of an improved narrow-gauge trolley, have been proven. Rational solutions are proposed that shorten the time of extinguishing fires at stations and reduce the consumption of extinguishing agents by 10–20 % compared to other previously proposed fire extinguishing devices under cars at metro stations. Simulation studies of the tactical and technical qualities of the improved cart with a universal mixer-sprayer of gel-forming composition of the «Segner wheel» type were carried out. The Fire Safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2024-39-8

cart is capable of extinguishing likely complex fires under cars at subway stations. In addition, in all cases of under-car fire extinguishing at subway stations, it is expected to improve the conditions of emergency rescue operations when evacuating people from the station premises and from the cars involved in the fire.

Keywords: gel-forming composition, fire-extinguishing powder, subway, subway cars, undercarriage extinguishing trolley

References

1. Wei, Z., Xi, Z., Zhuo-fu, W. (2016). Experiment study of performances of fire detection and fire extinguishing systems in a subway train. *Procedia Engineering*, 135, 393–402. doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.147
2. Saveliev, D., Khrystych, O., Kirieiev, O. (2018). Binary fire-extinguishing systems with separate application as the most relevant systems of forest fire suppression. *European journal of technical and natural science*, 1, 31–36. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7121>
3. Ostapov, K., SENCHIHIN, Yu., SYROVOY, V. (2017). Development of the installation for the binary feed of gelling formulations to extinguishing facilities. *Science and education a new dimension. Natural and technical sciences*, 132, 75–77. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3891>
4. Dale, L. (2018). Ambulatory surgery center safety guidebook. *Managing code requirements for fire and life safety*, 15, 23–26. doi: 10.1016/B978-0-12-849889-7.00005-4
5. Ostapov, K et al. (2021). Improving the installation of fire gasing with gelelating compounds. *Problems of emergency situations*, 33, 4–14. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14116>
6. Zhanga, L., Wua, X., Liub, M., Liuc, W., Ashuri, B. (2019). Discovering worst fire scenarios in subway stations: A simulation approach. *Automation in construction*, 99, 183–196. doi: 10.1016/j.autcon.2018.12.007
7. Gravit, M., Vaititckii, A., Shpakova, A. (2016). Subway constructions fire safety regulatory. *Requirements procedia engineering*, 165, 1667–1672. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.908
8. Pietukhov, R., Kireev, A., Slepuzhnikov, E., Chyrkina, M., Savchenko, A. (2020). Lifetime research of rapid-hardening foams. *Problems of emergency situations*, 31, 226–233. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11675>
9. De-xu, D., Xu-hai, P., Min, H. (2018). Experimental study on fire extinguishing properties of compound superfine powder. *Procedia engineering*, 142–148. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.126
10. Ng, Y., Chow, W., Cheng, C., Chow, C. (2019). Scale modeling study on flame colour in a ventilation-limited train car pool fire. *Tunnelling and underground space technology*, 85, 375–391. doi: 10.1016/j.tust.2018.12.026
11. Long, Z., Zhong, M., Chen, J., Cheng, H. (2023). Study on emergency ventilation strategies for various fire scenarios in a double-island subway station. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 235, 105364. doi: 10.1016/j.jweia.2023.105364
12. Wang, K., Cai, W., Zhang, Y., Hao, H., Wang, Z. (2021). Numerical simulation of fire smoke control methods in subway stations and collaborative control system for emergency rescue. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 146–161. doi: 10.1016/j.psep.2020.09.033
13. Ostapov, K. M., Senchykhin, Yu. M., Avetisyan, V. H., Haponenko, Yu. I.,

Kyrychenko, I. K. (2023). Pidvyshchennya efektyvnosti hasinnya pozhezh u pidvahonomu prostori metro helevtoryuyuchymy skladamy. *Problemy nadzvychaynykh situatsiy*, 2(38), 267–280. Available at: <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/38/18.pdf>

14. Ostapov, K., Kirichenko, I., Senchykhyn, Y. (2019). Improvement of the installation with an extended barrel of cranked type used for fire extinguishing by gel-forming compositions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10(100)), 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174592

15. Ostapov, K. M., Senchykhin, Yu. M., Avetisyan, V. H., Melezhyk, R. S. (2023). Pat. 154597 Ukrayina, MPK (2023.01) A62S 35/00 Vizok dlya pidvahonnoho hasinnya pozhezh helevtoryuyuchymy skladamy zayavnyk ta patentovlasnyk Nats. u-t tsyv. zakh. Ukrayiny, u202303215; 03.07.2023, 23.11.2023. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18841>

Надійшла до редколегії: 05.03.2024

Прийнята до друку: 17.04.2024