

УДК 614.843

*Д. П. Дубінін, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-8948-5240)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМОГ ДО ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ТОНКОРОЗПИЛЕНОЮ ВОДОЮ

Проведені дослідження, щодо застосування тонкорозпиленої води для гасіння пожеж. Встановлено, що тонкорозпилена вода в закордонних джерелах трактується відповідно до відсоткового розподілу дрібних та великих крапель води, а в вітчизняних зазначено тільки дисперсність крапель води, а відсотковий розподіл не наведений. Визначена можливість її застосування для гасіння практично всіх речовин і матеріалів, в тому числі пірофорних, за винятком речовин, що реагують з водою з виділенням теплової енергії та горючих газів (висока ефективність при гасінні пожеж класів А, В, С, F та електроустановок під напругою). Встановлені критерії ефективності застосування засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою при цьому основним критерієм є розмір крапель води (дисперсність), другим інтенсивність подавання тонкорозпиленої води, а третім додавання добавок з метою підвищення вогнегасної ефективності. Встановлено, що критерії ефективності застосування тонкорозпиленої води для гасіння пожежі буде залежати насамперед від технічних засобів пожежогасіння. Визначені техніко-економічні показники сучасних технічних засобів закордонних виробників до яких відносять принцип роботи за рахунок підвищеного тиску в системі, продуктивність насосу, об'єм (запас) вогнегасної речовини, загальна вага мобільної установки і вартість. Встановлена ефективність гасіння пожеж тонкорозпиленою водою, яка обумовлена підвищеним охолоджуючим ефектом за рахунок високої питомої поверхні крапель, рівномірним розподілом крапель води в зоні горіння, зниженням концентрації кисню і розведенням горючих парів і газів в зоні горіння парами води. На підставі цього проведено розрахунок впливу дисперсності тонкорозпиленої води під час подавання її в осередок пожежі за результатом якого встановлено, що відбір тепла від полум'я пожежі буде здійснюватися за рахунок нагрівання крапель води до температури кипіння, витрат тепла на пароутворення і витрат тепла на нагрівання пари води до температури середовища при пожежі.

Ключові слова: тонкорозпилена вода, пожежа, пожежогасіння, дисперсність, інтенсивність подавання, засоби пожежогасіння

1. Вступ

На сьогоднішній день під час гасіння пожеж особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів близько 90 % випадків застосовує в якості вогнегасної речовини (далі – ВР) – воду [1, 2]. Вогнегасна ефективність води залежить від способу подачі її в осередок пожежі. Найбільший вогнегасний ефект досягається при подачі води в розпиленому вигляді, оскільки при цьому збільшується площа одночасного рівномірного охолодження, вода швидко нагрівається і перетворюється на пару, відбираючи на себе велику кількість теплоти. Щоб уникнути непотрібних втрат, розпилену воду застосовують в основному за порівняно невеликої висоти полум'я, коли можна подати крізь факел полум'я на нагріту поверхню (наприклад, при горінні підшивки перекриттів, стін та перегородок, решетування даху, волокнистих речовин, пилу, темних нафтопродуктів та ін.). Розпилені водяні струмені застосовують також для зниження температури у приміщеннях, захисту від теплового випромінювання (водяні завіси), для охолодження нагрітих поверхонь будівельних конструкцій споруд, установок, а також для осадження диму.

В залежності від виду твердого горючого матеріалу, що горить, застосовують розпилені струмені води різного ступеня дисперсності, а саме тонкорозпилену воду. Тонкорозпилена вода (далі – ТРВ) складається з розпиленого водяного струменя з діаметром крапель до 100 мкм. Для отримання і подачі такої води за-

стосовують спеціальні стволи-розпилювачі та насоси, що створюють високий тиск 20–40 атм. При потраплянні в зону горіння тонкорозпилена вода інтенсивно випаровується, знижуючи концентрацію кисню і розбавляючи горючі пари і гази, які беруть участь у горінні [3]. Подача ТРВ на сьогоднішній день в осередок пожежі здійснюється за допомогою технічних засобів, які працюють від пожежних автомобілів, застосуванням ранцевих установок пожежогасіння, а також модульних і автоматичних установок, які потребують високого тиску повітря.

Таким чином, актуальною проблемою, що вимагає вирішення є проведення дослідження, щодо обґрунтування напрямку удосконалення існуючих мобільних технічних засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою на основі аналізу параметрів роботи цих систем та їх вогнегасної ефективності.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відповідно до стандарту [4] системи пожежогасіння ТРВ поділяються на три групи відповідно до значень робочого тиску:

а) система високого тиску, де трубопроводи розподільної системи піддаються тиску 34,5 бар або більше;

б) система проміжного (середнього) тиску, де трубопроводи розподільної системи піддаються тиску більше 12,1 бар, але менше 34,5 бар;

с) система низького тиску де розподільні трубопроводи піддаються тиску 12,1 бар або менш.

За стандартом [4], ТРВ – це розпилення води, для якого $D_{v0,99}$ від загального об'єму рідини розподіляється в краплях діаметром менше 1000 мкм при мінімальному розрахунковому робочому тиску, це означає що, 99 % об'єму ВВР у системах ТРВ повинно подаватись у вигляді крапель діаметром не більше 1000 мкм. Відповідно до [5] системи ТРВ поділяються на 3 класи: клас I відноситься до діапазону 100-200 мкм, клас II до діапазону 200-400 мкм і клас III до 400-1000 мкм, дана класифікація наведена на рис. 1.

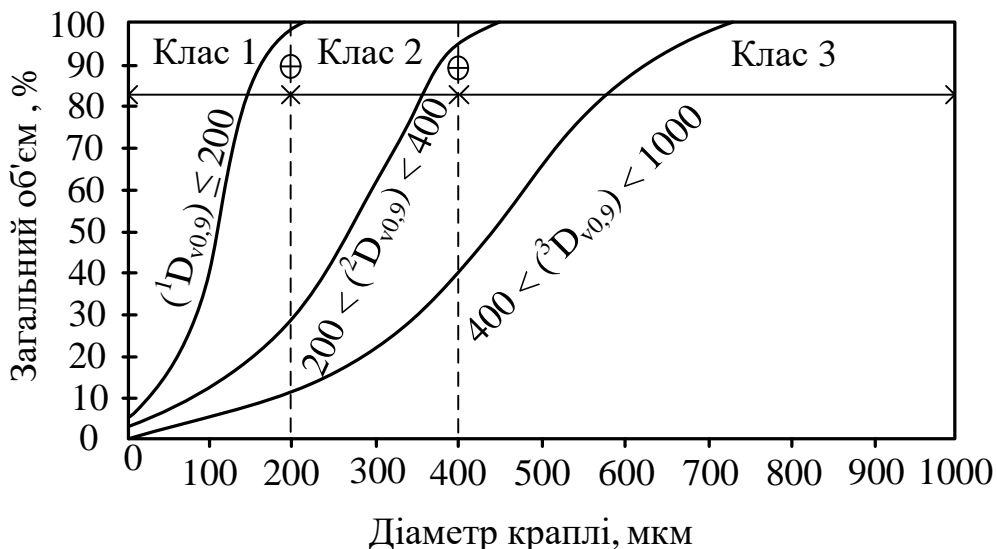


Рис. 1. Залежність розміру краплі води від об'ємно-фракційного розподілу та класифікації стандарту [5]

Так, в американському стандарті [4] враховано тільки отримання тонкорозпиленої води за рахунок використання засобів підвищеного тиску, але стосовно використання інших засобів розпилення інформації не наведено.

Відповідно до стандарту [6], ТРВ – це розпилення води, для якого $D_{v0.90}$ від загального об'єму рідини розподіляється в краплях діаметром менше 1 мм (1000 мкм) при вимірюванні у площині 1 м від сопла розпилювача при мінімальному розрахунковому робочому тиску, це означає що, 90 % об'єму ВВР у системах ТРВ повинно подаватись у вигляді крапель діаметром не більше 1000 мкм. Стандарт [6] відображає сутність застосування систем тиску відповідно до стандарту [4], але відсоток великих крапель у тонкорозпиленому потоку різний. В стандарті [6] дозволяється не більше 1 %, а в стандарті [4] вже 10 %.

В [7] визначено, що до розпиленого потоку вогнегасної речовини належить потік рідкої вогнегасної речовини із середнім діаметром крапель більше 150 мкм. Аналізуючи вітчизняний стандарт в сфері пожежогасіння встановлено, що в якості засобів пожежогасіння використовуються автоматичні і локальні системи та переносні вогнегасники, які утворюють тонкорозпилену воду за рахунок тиску повітря. Також не встановлено, який відсоток дрібних та великих крапель допускається у тонкорозпиленому потоці.

Встановлено, що тонкорозпилена вода в закордонних джерелах трактується відповідно до відсоткового розподілу дрібних та великих крапель води, а в вітчизняних зазначено тільки дисперсність крапель води загальна, а відсоткового розподілу немає.

В [8] проведені чисельні дослідження із застосування ТРВ з розміром крапель води (100 мкм і 1000 мкм) за допомогою програмного продукту FDS для розрахунку гасіння пожежі. Однак, при дисперсності крапель води 1000 мкм концентрація O_2 все ще підтримується на рівні 16%. Ці розрахункові результати свідчать, що випаровування крапель є по суті домінуючим механізмом пожежогасіння для тонкорозпиленої води з відносно невеликими розмірами крапель води. При цьому не наведено з якою інтенсивністю відбувалася подавання ТРВ в осередок горіння.

В [9] проведені експериментальні дослідження, щодо застосування ТРВ для гасіння пожежі у приміщенні об'ємом 40 м^3 при цьому дисперсність крапель води складала 40 мкм, 80 мкм та 120 мкм. Встановлено, що менші краплі ефективніше гасять вогонь через їхню легку конвекцію до зони полум'я в поєднанні з більш швидким та легким випаровуванням. Це пояснюється більшою кількістю тепла крапель води у тумані, доступного для випаровування, що призводить до швидшого формування інертного середовища шляхом утворення водяної пари і спричиняє розрідження концентрації кисню нижче, ніж потрібно для стійкої реакції горіння. Але стосовно за допомогою якого технічного засобу отримано ТРВ та інтенсивність її подавання не визначено.

В [10] проведені чисельні моделювання механізму пожежогасіння ТРВ, при цьому дисперсність крапель складала 50 мкм, 200 мкм, 500 мкм. Результати моделювання показали, що час гасіння збільшувався зі збільшенням середнього діаметра крапель води. Встановлено, що основною причиною гасіння було уповільнення процесу горіння, але не охолодження. Це пояснюється зниженням концентрації кисню, що на момент гасіння вогню становила близько 0,16 моль/моль. Авторами в роботі наведено тільки дисперсність крапель води, а стосовно відсоткового розподілу великих та малих крапель не вказано.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми є відсутність обґрунтованих вимог до компактних (мобільних) технічних засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою з оптимальними значеннями дисперсності крапель води та інтенсивності її подавання.

3. Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є обґрунтування параметрів перспективних засобів гасіння тонкорозпиленою водою на підставі визначення критеріїв ефективного пожежогасіння та техніко-економічних показників засобів пожежогасіння.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних завдань:

- дослідити критерії ефективності застосування засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою;
- дослідити техніко-економічні показників засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою;
- дослідити вплив дисперсності води на процес гасіння внутрішньої пожежі.

4. Дослідження критеріїв ефективності застосування засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою

У [11] визначено залежність активної поверхні крапель водяного туману, який формується з 1 літру води, в залежності від розміру крапель (табл. 1) [11].

Табл. 1. Залежність активної поверхні крапель від розміру крапель води [11]

Діаметр крапель води, мм	Кількість крапель води, од	Площа поверхні крапель води, м ²
10	1,900	6
1	1, 900,000	6
0,1	1,900,000,000	60
0,01	1,9E ¹²	600
зниження порядку величини		
x0,1	x1,000	x10

У роботі [11] також проведено порівняльний аналіз областей застосування суцільних і розпилених водяних струменів, тонкорозпиленої води та інших вогнегасних речовин, який представлено в табл. 2 [11].

За результатами порівняння визначено, що ТРВ є універсальним засобом пожежогасіння і водночас екологічним.

ТРВ знайшла широке застосування при гасінні пожеж на космічних кораблях NASA за допомогою спеціальних вогнегасників [12], наповнених водою та азотом. Отримані результати дослідження показали підвищену вогнегасну ефективність їх застосування в умовах мікрогравітації.

В [13] проведенні дослідження впливу ТРВ на вибух метану, концентрація якого складала 6,5 %, 8 %, 9,5 %, 11 % та 13,5 %, а діаметр крапель води при подачі складав 10 мкм. В дослідженнях відбувалось визначення впливу концентрації розпилення ТРВ та зміни тиску при вибуху метану різної концентрації. За результатами досліджень встановлено, що при концентрації метану у вибуху 6 % та 13,5 % вибух метану ефект «тюльпану» не з'являється, оскільки концентрація розпилення ТРВ складала 112 г/м³ та 168 г/м³, а при концентрації розпилення 336 г/м³ вибух метану не відбувся. Авторами відмічено, що для досягнення оптимального ефекту гальмування розмір крапель ТРВ повинен бути достатньо малим, щоб забезпечити повне випаровування в зоні реакції вибуху, щоб ефект поглинання тепла міг бути високим.

Табл. 2 Область застосування суцільних і розпилених водяних струменів, тонкорозпиленої води та інших вогнегасних речовин [11]

Вогнегасні речовини	A	B	C	D	E*	Недоліки	Універсальність застосування
Суцільний струмінь	+3	-2	0	-2	-2	значні збитки від води	1
Розпилений струмінь	+2	+1/0	+1/0	-1	-1	не значні збитки від води	1
ТРВ	+2/+1	+2/+1	+2/+1	+1	+1	без пошкоджень та збитків	4
ПМП	+2	+3	0	-1	-2	негативний вплив на екологію	2
Гасіння вогню порошком	+1/0	+2	+3	0/-1	+1	забруднення НС, паніка та пил	2
Гасіння вугілля порошком	+2	+2	+3	+1	-1	забруднення НС, паніка та пил	3
Гасіння металів порошком	0	0	0	+2	0	забруднення НС	1
Двоокис вуглецю (газ)	0	0	+3	0	+3	небезпека задухи	2
Двоокис вуглецю (сніг)	0	+2	+1	0	+3	холодний шок	2
Хладони	+1	+2	+2	-2	+3	пошкодження озонного шару	3

Примітка: * – за наявності електричного струму; +3 – відмінне гасіння пожежі; +2 – добре гасіння пожежі; +1 – лише для обмеженого використання; 0 – недостатньо; -1 – використання варто розглянути; -2 – використання небезпечно.

А в роботі [14] автори здійснювали дослідження при гасінні ТРВ полум'я пропану, при цьому діаметр крапель води складав (від 4 до 32 мм). За результатами досліджень встановлено, що великі краплі проникають у реакційне ядро біля основи полум'я краще, ніж малі краплі, і є більш ефективними, незважаючи на знижену швидкість випаровування через менше відношення поверхні до об'єму. Однак із збільшенням розміру падіння ця тенденція змінюється, оскільки швидкість випаровування стає занадто низькою для гасіння полум'я. В роботі [15] автори пропонують підвищити вогнегасну ефективність ТРВ за рахунок додавання інертних газів (CO_2 , N_2) при гасінні полум'я метану. Експериментальні результати показали, що ефект використання у ТРВ N_2 і CO_2 був значним, а вибуховий надлишковий тиск, середня швидкість зростання тиску та швидкість полум'я вибуху поступово зменшувались шляхом продовження часу розпилення рідини. Наприклад, коли час розпилення ТРВ складав 3 с, а тиск CO_2 – 0,4 МПа, середня швидкість полум'я зменшилася на 81,32 %, вибуховий надлишковий тиск зменшився на 51,44 %, а середня швидкість підвищення тиску зменшилася на 72 %.

У [16] проведені експериментальні дослідження із застосування тонкорозпиленої води у вигляді водяної завіси. Результати досліджень представлені в табл. 3.

За результатами дослідження встановлено, що близько 83% теплового випромінювання полум'я вогню може послабити завіса ТРВ, що утворюється зрошувачем з робочим тиском 2,0 МПа, витратою 13,3 л/хв, середнім діаметром крапель 56 мкм і товщиною завіси туману 0,4 м.

У [17] автором запропоновано комбіноване застосування ТРВ із димовсмоктувачами для гасіння пожеж у підвальних приміщеннях.

Табл. 3. Результати випробування одного зрошувача ТРВ [16]

№ випробування	Робочий тиск, МПа	D_{v90} , мм	D_{v50} , мм	D_{v32} , мм	Кут розпилення, °	Витрата, л/хв.
1	0,5	165	114	88	22	0,74
2	1,0	125	87	72	22	1,01
3	1,5	116	77	65	22	1,20
4	2,0	90	60	54	21	1,44
5	2,5	80	59	53	20	1,58
6	3,0	79	58	53	20	1,75

При проведенні лабораторних досліджень використовувалися форсунки типу «повний конус» в залежності від тиску та діаметра вихідного отвору. Так при тиску в межах $0,4 \pm 0,1$ МПа застосовувалися форсунки «повний конус» з діаметрами 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм, за результатами досліджень встановлено отримані струмені ТРВ з усередненими діаметрами краплин 115 ± 3 ; 258 ± 15 ; 334 ± 33 ; 354 ± 15 ; 420 ± 10 мкм. Щодо ефективності гасіння пожеж встановлено, що відбувається зниження середньооб'ємної температури до 60 ± 5 °С, а час гасіння пожеж у підвалах в 1,4 рази менший, досягнення візуальної видимості в межах $3 \pm 0,5$ м відбувається в 1,2 рази швидше, а оптична прозорість відповідно у 1,3 рази.

В роботах [18] розглянута вогнегасна ефективність застосування струменів тонкорозпиленних водних вогнегасних речовин з добавками для гасіння сумішей дизельного і біодизельного палива. Встановлено, що ТРВ придатна для гасіння біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом. Критична інтенсивність подавання ТРВ для гасіння біодизельного палива складає $0,031$ (л/с·м²), для гасіння дизельного палива – $0,052$ (л/с·м²), також експериментально підтверджено можливість підвищення вогнегасної ефективності за значенням критичної інтенсивності подавання ТРВ під час гасіння біодизельного палива та його сумішей з дизельним паливом у чотири рази, шляхом додавання до її складу K_2CO_3 або піноутворювачів “АFFF” та “Пірена-1”.

Проведена серія експериментальних випробувань мобільною системою водяного туману [19] і доказана її ефективність при гасінні пожеж класу А та В, автотранспортної техніки, а також при гасінні пожеж класу В з додаванням спеціальних добавок до води. Параметрами при випробуванні були тип палива (гептан, бензин), кут нахилу сопла та відсоток додавання добавки до води. Результати випробувань показали здатність до зменшення випромінювання, зниження температури та захист осіб, які приймають участь у гасінні пожеж. Встановлено, що ефективність гасіння пожежі водяним туманом без добавок та з добавкою 3% нічим не відрізняється. Під час випробувань з 6 і 10% добавками встановлено, що чим нижче кут нахилу сопла, тим більше час гасіння, оскільки менше туману може дістатися до осередку пожежі.

В роботі [20] розглянуто вогнегасна ефективність установок пожежогасіння ТРВ під час гасіння модельних вогнищ пожежі класу А (деревина), класу В (бензин А-76, дизельне паливо Л-62 та гідравлічне мастило АМГ-10). Результати досліджень наведені в таблиці 2. Проведені дослідження дозволили зменшити витрату води для цілей пожежогасіння на 30 – 35 %, а додавання до складу води 1 % піноутворювача значно підвищує вогнегасну ефективність ТРВ. Результати експериментальних досліджень, наведені в табл. 4 [20].

Табл. 4. Параметри гасіння пожеж зрошувачем ТРВ в залежності від класу пожежі [20]

Параметри	Горюче навантаження			
	Бензин А-76	Дизельне паливо, Л-62	Гідравлічне масло, АМГ-10	Деревина
$J_n, \text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	0,078 (0,072)*	0,075 (0,070)*	0,072	0,070
P, МПа	0,5 (0,4)*	0,5 (0,4)*	0,4	0,4
Q, л/с	0,78 (0,73)*	0,78 (0,73)*	0,73	0,73
$t_m, \text{с}$	17 (8)*	15 (9)*	6	320

Примітка: * – з добавкою до води 1% піноутворювача «Пінофор»; J_n – критична і нормативна інтенсивність зрошення; P – тиск перед розпилювачем; Q – витрата води з розпилювача; t_m – час гасіння

Під час проведення досліджень [20] діаметр крапель води приймався менше ніж 150 мкм. При цьому встановлені переваги застосування ТРВ як вогнегасної речовини, а це насамперед безпека для людей, висока охолоджуюча здатність, осадження продуктів горіння (диму), вибухопожежобезпечність, дешевизна та екологічність. Так механізм гасіння ТРВ полягає в охолодженні зони горіння, зниженні концентрації кисню в зоні горіння за рахунок його заміщення парами води і зниженні теплового випромінювання від полум'я пожежі. А вогнегасна ефективність ТРВ залежить від розміру крапель (дисперсності), інтенсивності зрошення та наявності добавок у воді.

Таким чином, виділяються основні критерії, за якими визначається ефективність застосування засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою:

- оптимальна дисперсність крапель у потоці ТРВ;
- мінімальна інтенсивність подачі ТРВ.

За кількісними показниками визначено, що оптимальна дисперсність крапель у потоці ТРВ повинна бути під час застосування для протидії вибухам не менше ніж 10 мкм, для гасіння полум'я пропану в межах 4–32 мкм, для підвальних приміщень не менше ніж 115 мкм, а для гасіння пожеж класу А і Б – 150 мкм. А інтенсивність подачі ТРВ для подачі повинна складати не менше ніж 0,031 для мастила, дизельного і біодизельного палива, не менше ніж 0,078 для бензину, не менше ніж 0,07 для деревини.

5. Дослідження техніко-економічних показників засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою

З рахуванням вище наведеного ефективність застосування ТРВ для гасіння пожежі буде залежати від технічних засобів подавання та розпилу ТРВ. Також зазначені основні переваги, а саме: ефективність гасіння для конкретних матеріалів та приміщень; мінімальність пошкодження матеріалів; екологічна небезпечність вогнегасної речовини та її незначна ціна; зручність і простота проектування, монтажу та обслуговування системи пожежогасіння. Розглянемо характеристики існуючих мобільних засобів пожежогасіння ТРВ.

Розглянемо світові компанії з виробництва сучасних технічних засобів пожежогасіння ТРВ. Так компанією FOGTEC (Німеччина) [21] проводиться розробка мобільних автономних засобів пожежогасіння ТРВ, таких як KFT 25/120, KFT 25/120-MD. Представлені засоби укомплектовуються шлангом високого тиску довжиною 60 м, стволом FOGGUN 3 або 5 та ємністю об'ємом 100 л, також може працювати від сторонньої ємності. Робочий тиск складає 120 Бар при витраті 20 л/хв., а маса установок без урахування вогнегасної речовини складає 150 кг. Також

компанією FOGTEC передбачено розробка мобільних засобів пожежогасіння ТРВ, які інтегровані в пожежні автомобілі, таких як KFT 25/Z III та KFT 40/120. Дані засоби укомплектовані шлангом високого тиску довжиною 60 м (KFT 25/Z III) та до 100 м (KFT 40/120), стволом FOGGUN 3, 5 та ємністю об'ємом 200 л (KFT 40/120), також може працювати від сторонньої ємності. Робочий тиск складає 120 Бар при витраті 20 л/хв. (KFT 25/Z III) та 40 л/хв. (KFT 40/120), маса установки KFT 25/Z III без урахування ВР складає 140 кг та установки KFT 40/120 до 340 кг відповідно.

Розглянемо мобільні модулі пожежогасіння компанії Figesco (Італія) [22]. Figesco [21] є одним зі світових лідерів з виробництва насосів високого тиску, в яких використовуються мембранні або поршневі насоси, а двигуни – бензинові з потужністю – 9, 14 та 18 к.с. та дизельні – 10, 11, 12, 15 та 19 к.с. При цьому є можливість комбінувати насосні групи: 50, 70, 80 та 100 л/хв. при тиску 40 і 50 бар – 135 л/хв. при тиску 20 бар – 42 л/хв при 100 і 150 бар – 34 л/хв на 170 бар. Модулі пожежогасіння укомплектовуються шлангом високого тиску довжиною 50-100 м та водяним пістолетом високого тиску з витратою 40 л/хв, а маса установок без урахування вогнегасної речовини складає від 100 кг в залежності від модифікації та комплектації. Також в модулях передбачено виконання резервуару різної форми (L, T, C, O – подібну, куб або квадрат) та ємності, від 100 л до 3500 л.

Відома європейська компанія Rosenbauer (Австрія) [23] пропонує використовувати для гасіння пожеж модульні системи пожежогасіння високого тиску, а саме мобільну (возик) UHPS MOBIL та модуль UHPS SKID, що встановлюється на транспортний засіб. Робочий тиск складає 100 Бар при витраті 38 л/хв, а маса без урахування вогнегасної речовини складає близько 200 кг. Представлені засоби укомплектовуються шлангом високого тиску довжиною до 60 м, водяним пістолетом високого тиску та ємностями об'ємом 130 л для води та 20 л для піноутворювача. Для гасіння складних та великих пожеж пропонується використовувати гасіння пожеж модульну систему пожежогасіння високого тиску UHPS XL з витратою 58 л/хв, а робочий тиск при цьому складає 100 Бар, що інтегрована в пожежний автомобіль. Також компанією Rosenbauer для гасіння пожеж та боротьби з димом знайшли широке застосування мобільні вентилятори FANERGY XL, які за допомогою повітря та води створюють повітряно-водяну суміш. При цьому витрата води складає від 150–300 л/хв, а маса від 900–3250 кг.

Компанією EmiControls (Італія) [24] пропонується застосовувати для гасіння пожеж протипожежні турбіни, які здійснюють подачу ТРВ в осередок пожежі. Витрата води з цих протипожежних турбін складає близько 100–4000 л/хв., а маса близько 1000 кг. Турбіни бувають стаціонарні, мобільні та встановлені на пожежно-рятувальні автомобілі.

Німецькою компанією HNE Technologies AG [25] для гасіння пожеж застосовуються мобільний блок пожежогасіння MFU 40-50 HiCAFS. Витрата води складає близько 50 л/хв., а маса – 120 кг, робочий тиск насосу – 40 Бар. Також цією компанією виготовляється більш потужний мобільний блок пожежогасіння MFU 50-150, витрата води якого складає 150 л/хв., а маса – 240 кг, робочий тиск насосу – 50 Бар.

Індійською компанією Murlī Techno PVT. LTD [26] застосовується для гасіння пожеж мобільні блоки подачі ТРВ з витратою 60 л/хв. при тиску – 40 Бар. Також цією ж компанією запропонована мобільна система пожежогасіння ТРВ високого тиску. Витрата води при роботі складає 22 л/хв., маса 150-350 кг та робочий тиск насосу – 100 Бар.

Китайською фірмою Everbest Fire Equipment Co., Ltd [27] система гасіння ТРВ представлена як стаціонарними засобами та і мобільними при цьому робочий тиск насосу складає 120 Бар.

Корейська фірма Corporation NEOTECHKOREA [28] здійснює виробництво та випуск мобільних засобів пожежогасіння ТРВ. Так у моделей МОВ-1W, МОВ-1B, МОВ-1A, МОВ-1AS витрата води під час роботи складає 15–25 л/хв., а робочий тиск 200 Бар.

Компанія Safequip (Pty) Ltd [29], що представляє південну Африку здійснює виробництво мобільних блоків пожежогасіння, а саме: економічний блок низького тиску продуктивність насосу складає 416 л/хв., а робочий тиск – 2,5 Бар; економічний блок високого тиску продуктивність насосу – 17–20 л/хв., а робочий тиск – 35 Бар; економічний блок з одиночним робочим колесом продуктивність насосу – 500 л/хв., а робочий тиск – 7 Бар; економічний блок з подвійним робочим колесом продуктивність насосу – 400 л/хв., а робочий тиск – 10 Бар.

Австрійська компанія Aquasys Technik GmbH [30] проводить розробку як стаціонарних систем так і мобільних установок пожежогасіння ТРВ високого тиску. Так мобільна установка працює при робочому тиску 100–150 Бар, а витрата складає – 20 л/хв.

Продукція імпульсного пожежогасіння Impulse Fire Extinguishing System виробником якої є компанія IFEX[®] Technologies GmbH (Німеччина) [31] здійснює виробництво ранцевих і мобільних засобів пожежогасіння, таких як 13 litre Backpack 3001/12, Fast Attack Unit 3072 та транспортних засобів. Подавання ТРВ здійснюється за допомогою спеціальних стволів IFEX, які під'єднанні до засобів пожежогасіння при цьому для забезпечення великої швидкості розряду в камері тиску в столі утворюється тиск повітря 25 бар.

З урахуванням вище зазначеного можна сказати, що до техніко-економічних показників засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою відносяться масо-габаритні характеристики засобів пожежогасіння ТРВ, мобільність, вартість, витрати на навчання роботи з технічним засобом, обслуговування та ремонт.

6. Дослідження впливу дисперсності води на процес гасіння пожежі

При подачі в зону горіння ТРВ відбувається випаровування води з утворенням пари. При цьому основними механізмами відводу тепла будуть [32, 33]:

1) Зменшення температури в зоні горіння за рахунок застосування ТРВ з розрахунку для 1 кг води:

– за рахунок нагрівання крапель води до температури кипіння:

$$Q_1 = C_v \cdot m_v \cdot \Delta t = C_v \cdot m_v \cdot (t_{\text{кип}} - t_0),$$

$$Q_1 = 4,2 \cdot 1,0 \cdot (100 - 20) = 336 \text{ кДж.}$$

де C_v – теплоємність води, 4,2 кДж/кг·°С; m_v – маса води, 1 кг.

– за рахунок витрат тепла на пароутворення:

$$Q_2 = L \cdot m_v,$$

$$Q_2 = 2270 \cdot 1,0 = 2270 \text{ кДж.}$$

де L – прихована теплота пароутворення (конденсації) води, 2270 кДж/кг·°С.

– за рахунок витрат тепла на нагрівання пари води до температури середовища при пожежі:

$$Q_3 = C_p \cdot m_b \cdot \Delta t_n = C_p \cdot m_b \cdot (t_{\text{пож}} - 100),$$

$$Q_3 = C_p \cdot m_b \cdot \Delta t_n = 2,1 \cdot 1 \cdot (500 - 100) = 840 \text{ кДж}.$$

де C_p – теплоємність пари у діапазоні температур від температури кипіння до температури пожежі (2,1 кДж/кг).

Загальна кількість тепла, що відводиться з зони горіння при подачі ТРВ у кількості 1 кг складає:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

$$Q_{\text{заг}} = 336 + 2270 + 840 = 3446 \text{ кДж}.$$

Встановлено, що при подачі ТРВ з оптимальною дисперсністю в осередок пожежі 1 л. води буде відбирати тепла від полум'я пожежі у кількості 3446 кДж.

7. Обговорення результатів дослідження, щодо вимог до засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою

На підставі проведеного огляду мобільних технічних засобів створення та подавання тонкорозпиленої води для гасіння слід зазначати, що при цьому дисперсність крапель води буде залежати від тиску в системі. Тобто чим більше тиск в системі ТРВ тим більше буде дисперсність крапель води, та навпаки чим менше тиск тим менше буде і дисперсність. Також під час збільшеного тиску в системах ТРВ значно знижується витрата води, яка подається для гасіння пожежі, а при низькому тиску збільшується відповідно. Початкова вартість мобільних засобів пожежогасіння стартує від 10 тисяч доларів США. Ремонт, технічне обслуговування мобільних засобів ТРВ, а також проведення занять з вивчення засобу та його застосування для гасіння пожеж потребує залучення спеціалістів з іноземних держав виробників. Відповідно, обслуговування даних технічних засобів на території нашої держави буде коштувати дуже дорого. Це все дає підстави для створення автономних, мобільних засобів гасіння пожеж за допомогою ТРВ з відсутністю зазначених залежностей та недоліків. Що в свою чергу підвищить вогнегасну ефективність ТРВ в залежності від дисперсності і інтенсивності подачі під час гасіння пожеж різної класифікації.

З урахуванням вище зазначеного можна зробити висновок, щодо вимог до ТРВ, за якими досягається ефективне пожежогасіння:

- розмір крапель води або їх дисперсність складає 50-150 мкм;
- інтенсивність подавання ТРВ не менше ніж 0,031 л/(с·м²) та не більше ніж 0,078 л/(с·м²);
- одночасне застосування ТРВ з різними добавками, такими як інертні гази (CO₂, N₂), K₂CO₃, піноутворювачі (“АFFF”, “Пірена-1”, “Пінофор”).

Дослідження щодо розроблення перспективних засобів пожежогасіння ТРВ продовжуються.

8. Висновки

1. Визначенні критерії ефективності застосування засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Встановлено, що тонкорозпилена вода в закордонних джерелах трактується відповідно до відсоткового розподілу дрібних та великих крапель води, а в вітчизняних зазначено тільки дисперсність крапель води загальна, а відсоткового розподілу немає. З урахуванням цього визначенні критерії ефективності засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Основним критерієм є розмір крапель води (дисперсність), який повинен складати 50-150 мкм; другим – інтенсивність подавання тонкорозпиленої води, яка лежить в межах не менше ніж $0,031 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ та не більше ніж $0,078 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$; третім – додавання різних добавок з метою підвищення вогнегасної ефективності тонкорозпиленої води, таких як інертні гази (CO_2 , N_2), K_2CO_3 , піноутворювачі (“АFFF”, “Пірена-1”, “Пінофор”).

2. Проведені дослідження техніко-економічні показників засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Встановлено, що критерії ефективності застосування тонкорозпиленої води (дисперсність, інтенсивність подавання, додавання різних добавок) для гасіння пожежі буде залежати насамперед від технічних засобів. Встановлено, що сучасні технічні засоби закордонних виробників працюють за рахунок підвищеного тиску в системі, який знаходиться в межах 25–200 Бар. Продуктивність насосу визначається в залежності від тиску в системі і знаходиться в межах 20–500 л/хв, а об’єм (запас) вогнегасної речовини становить не менше 100 л, а вага мобільної установки без урахування вогнегасної речовини становить не менше ніж 100 кг. Початкова мінімальна вартість мобільних засобів пожежогасіння становить від 10 тисяч доларів США.

3. Проведені дослідження впливу дисперсності води на процес гасіння пожежі. Встановлена ефективність гасіння пожеж тонкорозпиленою водою, яка обумовлена підвищеним охолоджуючим ефектом за рахунок високої питомої поверхні крапель, рівномірним розподілом крапель води в зоні горіння, зниженням концентрації кисню і розведенням горючих парів і газів в зоні горіння парами води. Проведено розрахунок впливу дисперсності тонкорозпиленої води під час подавання її в осередок пожежі. За результатом якого встановлено, що при подачі тонкорозпиленої води з оптимальною дисперсністю в осередок пожежі об’ємом 1 л води буде відбиратися тепла від полум’я пожежі у кількості 3446 кДж за рахунок нагрівання крапель води до температури кипіння, витрат тепла на пароутворення і витрат тепла на нагрівання пари води до температури середовища при пожежі. Проведені дослідження дають підстави для створення перспективних автономних (мобільних) засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою періодично-імпульсної дії з відсутністю зазначених залежностей та недоліків.

Література

1. Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. Improving the installation for fire extinguishing with finely-dispersed water // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 2. № 10 (92). P. 8–43. doi:10.15587/1729-4061.2018.127865

2. Korytchenko K., Sakun O., Dubinin D., Khilko Y., Slepuzhnikov E., Nikorchuk A., Tsebriuk I. Experimental investigation of the fire-extinguishing system with a gas-detonation charge for fluid acceleration // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V. 3. № 5 (93). P. 47–54. doi: 10.15587/1729-4061.2018.134193

3. Liu J., Liao G., Li P., Fan W., Lu Q. Progress in research and application of water mist fire suppression technology // *Chinese Science Bulletin*. 2003. V. 48. Civil Security. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-33-2

P. 718–725. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.659

4. NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems. National Fire Protection Association, 2019. URL: <https://catalog.nfpa.org/NFPA-750-Standard-on-Water-Mist-Fire-Protection-Systems-P1366.aspx>

5. Santangelo P. E., Tartarini P. Fire Control and Suppression by Water-Mist Systems // *The Open Thermodynamics Journal*. 2010. V. 4. P. 167–184. doi: 10.2174/1874396X01004010167

6. CEN/TS 14972:2011 – Fixed firefighting systems – Watermist systems – Design and installation. SIS – Tjänster och personlig säkerhet. 2011. URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/88b1bf16dc7e47e9a2cc6d7e9f03a723.pdf>

7. СП 5.13130.2009 Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. ТК по стандартизации ТК 274 «Пожарная безопасность». 2009. URL: https://static.mchs.ru/upload/site1/document_file/660A5vsQib_d1.rtf

8. Ferng Y. M., Liu C. H. Numerically investigating fire suppression mechanisms for the water mist with various droplet sizes through FDS code // *Nuclear Engineering and Design*. 2011. V. 241. P. 3142–3148. doi: 10.1016/j.nucengdes.2011.06.002

9. Lal S., Gupta M., Kushari A., Kapoor J., Maji S. Suppression of pool fire in a large enclosure with water mist // *International journal of spray and combustion dynamics*. 2013. V. 5. P. 181–200. doi: 10.1260/1756-8277.5.3.181

10. Zhu D. M., Liang D., Liu J. Y. Numerical Simulation of Ultra-fine Water Mist Extinguishing Mechanism // *Procedia Engineering*. 2014. V. 71. P. 28–33. doi: 10.1016/j.proeng.2014.04.005

11. Kuti R. Advantages of Water Fog Use as a Fire Extinguisher // *AARMS*. 2015. V. 14. № 2. P. 259–264. URL: https://www.researchgate.net/publication/322869120_Advantages_of_Water_Fog_Use_as_a_Fire_Extinguisher

12. Zhuo J, Yinshui L, Xufeng Z, Wudi F. A portable piston-type water mist fire extinguisher for spacecraft // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E // Journal of Process Mechanical Engineering*. 2013. V. 229 (1). P. 52–63. doi: 10.1177/0954408913511612

13. Cao X., Ren. J., Bi M., Zhou Y., Li Y. Experimental research on the characteristics of methane/air explosion affected by ultrafine water mist // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. V. 324. P. 489–497. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.11.017

14. Ananth R., Mowrey R. Ultra-Fine Water Mist Extinction Dynamics of a Co-Flow Diffusion Flame // *Combustion Science and Technology*. 2008. V. 180 (9). P. 1659–1692. doi: 10.1080/00102200802197569

15. Pei B., Yang Y., Li J., Yu M. G. Experimental Study on Suppression Effect of Inert Gas Two Fluid Water Mist System on Methane Explosion // *Procedia Engineering*. 2018. V. 211. P. 565–574. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.049

16. Zhu P., Wang X., Wang Z., Cong H., Ni X. Experimental and numerical study on attenuation of thermal radiation from large-scale pool fires by water mist curtain // *Journal of Fire Sciences*. 2015. V. 33 (4). P. 269–289. doi: 10.1177/0734904115585796

17. Lusch V. I., Loik V. B., Shtanhret N. O., Matuszkiewicz R. Badania wpływu elementów konstrukcyjnych urządzeń do wytwarzania rozproszonych strumieni wody w celu zmniejszenia produktów spalania i redukcji temperatury podczas pożaru // *Zeszyty Naukowe SGSP*. 2017. V. 64. P. 125–149. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/4134/1/C%20Poland_new%20poprawione%20RM.docx.

18. Скоробагатько Т. М., Антонов А. В., Копильний М. І. Ефективність гасіння бінарних сумішей дизельного та біодизельного палива тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами // Науковий вісник УкрНДІПБ. 2013. Вип. 27. С. 92–99. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2013_1_18

19. Chang W. Y., Fu P. K., Chen C. H., Shu Y. L. Evaluating the performance of a portable water-mist fire extinguishing system with additives // Fire Materials. 2008. V. 32 (7). P. 383–397. doi:10.1002/fam.967

20. Сперанский А. А., Мамагин С. В., Бороздин С. А., Алешин Э. Л. Огнетушательная эффективность установок пожаротушения тонкораспыленной водой с оросителями с соударяющимися струями // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. Вып. 2 (27). С. 34–39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ognetushaschaya-effektivnost-ustanovok-pozharotusheniya-tonkoraspylennoy-vodoy-s-orositelyami-s-soudaryayuschimisya-struyami>

21. FOGTEC Fire Protection. URL: <https://fogtec-international.com>

22. Fireco S.R.L. URL: <https://www.fireco.eu>

23. Rosenbauer International AG. URL: <https://www.rosenbauer.com/de/int/world>

24. EmiControls. URL: <https://www.emicontrols.com>

25. HNE Technologies AG. URL: <https://www.hne.ag>

26. Murli Techno PVT. LTD. URL: <http://www.murlifiresafety.com>

27. Everbest Fire Equipment Co., Ltd. URL: <https://www.ebfire.com>

28. Corporation NEOTECHKOREA. URL: <http://www.corpwin.com>

29. Safequip (Pty) Ltd. URL: <http://www.safequip.co.za>

30. Aquasys Technik GmbH. URL: <https://www.aquasys.at/en>

31. IFEX. URL: <https://www.ifex3000.com/en/home>

32. Svensson S. Experimental Study of Gas Cooling During Firefighting Operations // Fire Technology. 2019. V. 55 (7). P. 285–305. doi: 10.1007/s10694-018-0790-3

33. CFBT-US LLC. URL: <http://cfbt-us.com>

*D. Dubinin, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

STUDY OF REQUIREMENTS FOR PROSPECTIVE MEANS OF FIRE EXTINGUISHING WITH FINE SPRAYED WATER

Studies have been conducted on the use of finely sprayed water for firefighting. It is established that finely sprayed water in foreign sources is treated according to the percentage distribution of small and large water droplets, and in domestic only the dispersion of water droplets is indicated, and the percentage distribution is not given. The possibility of its application for extinguishing almost all substances and materials, including pyrophoric, except for substances that react with water with the release of thermal energy and combustible gases (high efficiency in extinguishing fires of classes A, B, C, F and live electrical installations). Criteria of efficiency of application of means of fire extinguishing by finely sprayed water are established thus the main criterion is the size of water drops (dispersion), the second intensity of giving of finely sprayed water, and the third addition of additives for the purpose of increase of fire extinguishing efficiency. It is established that the criteria for the effectiveness of finely sprayed water for firefighting will depend primarily on the technical means of firefighting. The technical and economic indicators of modern technical means of foreign manufacturers are determined, which include the principle of operation due to the increased pressure in the system, pump performance, volume (stock) of extinguishing agent, total weight of the mobile installation and cost. The efficiency of extinguishing fires with finely sprayed water, which is due to the increased cooling effect due to the high specific surface of the droplets, uniform distribution of water droplets in the combustion zone, reducing the concentration of oxygen and dilution of combustible vapors and gases in the combustion zone by water vapor. Based on this, the effect of the dispersion of finely divided water during its supply to the fire is calculated, as a result of which it is established that the extraction of heat from the fire will

Civil Security. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-33-2

be carried out by heating water droplets to boiling point, heat consumption for steam and heat consumption for steam heating, water to ambient temperature in case of fire.

Keywords: finely divided water, fire, fire extinguishing, dispersion, supply intensity, fire extinguishing means

References

1. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with finely-dispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10 (92), 38–43. doi:10.15587/1729-4061.2018.127865
2. Korytchenko, K., Sakun, O., Dubinin, D., Khilko, Y., Slepuzhnikov, E., Nikorchuk, A., Tsebriuk, I. (2018). Experimental investigation of the fire-extinguishing system with a gas-detonation charge for fluid acceleration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/5 (93), 47–54. doi: 10.15587/1729-4061.2018.134193
3. Liu, J., Liao, G., Li, P., Fan, W., Lu, Q. (2003). Progress in research and application of water mist fire suppression technology. *Chinese Science Bulletin*, 48, 718–725. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.659
4. NFPA 750. (2019). Standard on Water Mist Fire Protection Systems. National Fire Protection Association. Retrieved from <https://catalog.nfpa.org/NFPA-750-Standard-on-Water-Mist-Fire-Protection-Systems-P1366.aspx>
5. Santangelo, P. E., Tartarini, P. (2010). Fire Control and Suppression by Water-Mist Systems. *The Open Thermodynamics Journal*, 4, 167–184. doi: 10.2174/1874396X01004010167
6. CEN/TS 14972:2011. (2011). Fixed firefighting systems – Watermist systems – Design and installation. Retrieved from <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/88b1bf16dc7e47e9a2cc6d7e9f03a723.pdf>
7. CII 5.13130.2009. (2009). Svod pravil. Sistemy protivopozharnoj zashhity. Ustanovki pozharnoj signalizacii i pozharotushenija avtomaticheskije. Normy i pravila proektirovanija. Retrieved from https://static.mchs.ru/upload/site1/document_file/660A5vsQib_d1.rtf
8. Ferng, Y. M., Liu, C. H. (2011). Numerically investigating fire suppression mechanisms for the water mist with various droplet sizes through FDS code. *Nuclear Engineering and Design*, 241, 3142–3148. doi: 10.1016/j.nucengdes.2011.06.002
9. Lal, S., Gupta, M., Kushari, A., Kapoor, J., Maji, S. (2013). Suppression of pool fire in a large enclosure with water mist. *International journal of spray and combustion dynamics*, 5, 181–200. doi: 10.1260/1756-8277.5.3.181
10. Zhu, D. M., Liang, D., Liu, J. Y. (2014). Numerical Simulation of Ultra-fine Water Mist Extinguishing Mechanism. *Procedia Engineering*, 71, 28–33. doi: 10.1016/j.proeng.2014.04.005
11. Kuti, R. (2015). Advantages of Water Fog Use as a Fire Extinguisher. *AARMS*, 14 (2), P. 259–264. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322869120_Advantages_of_Water_Fog_Use_as_a_Fire_Extinguisher
12. Zhuo, J., Yinshui, L., Xufeng, Z., Wudi, F. (2013). A portable piston-type water mist fire extinguisher for spacecraft. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E // Journal of Process Mechanical Engineering*, 229 (1), 52–63. doi: 10.1177/0954408913511612
13. Cao, X., Ren, J., Bi, M., Zhou, Y., Li, Y. (2017). Experimental research on the characteristics of methane/air explosion affected by ultrafine water mist. *Journal of*

Hazardous Materials, 324, 489–497. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.11.017

14. Ananth, R., Mowrey, R. (2008). Ultra-Fine Water Mist Extinction Dynamics of a Co-Flow Diffusion Flame. *Combustion Science and Technology*, 180 (9), 1659–1692. doi: 10.1080/00102200802197569

15. Pei, B., Yang, Y., Li, J., Yu, M. G. (2018). Experimental Study on Suppression Effect of Inert Gas Two Fluid Water Mist System on Methane Explosion. *Procedia Engineering*, 211, 565–574. doi: 10.1016/j.proeng.2017.12.049

16. Zhu, P., Wang, X., Wang, Z., Cong, H., Ni, X. (2015). Experimental and numerical study on attenuation of thermal radiation from large-scale pool fires by water mist curtain, *Journal of Fire Sciences*, 33 (4), 269–289. doi: 10.1177/0734904115585796

17. Lusch, V. I., Loik, V. B., Shtanhret, N. O., Matuszkiewicz R. (2017). Badania wpływu elementów konstrukcyjnych urządzeń do wytwarzania rozproszonych strumieni wody w celu zmniejszenia produktów spalania i redukcji temperatury podczas pożaru. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 64, 125–149. Retrieved from https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/4134/1/C%20Poland_new%20poprawione%20RM.docx

18. Skorobogat'ko, T. M., Antonov, A. V., Kopyl'nyj M. I. (2013). Efektyvnist' gasinnja binarnyh sumishej dyzel'nogo ta biodyzel'nogo palyva tonkorozpylenymy vodnymy vog-negasnymy rehovynamy. *Naukovyj visnyk UkrNDIPB*, 27, 92–99. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2013_1_18

19. Chang, W. Y., Fu, P. K., Chen, C. H., Shu, Y. L. (2008). Evaluating the performance of a portable water-mist fire extinguishing system with additives. *Fire Materials*, 32 (7), 383–397. doi:10.1002/fam.967

20. Speranskij, A. A., Mamagin, S. V., Borozdin, S. A., Aleshin, Je. L. (2018). Ognetushashhaja jeffektivnost' ustanovok pozharotushenija tonkoraspylennoj vodoj s orositeljami s soudarjajushhimisja strujami. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashhity*, 2 (27), 34–39. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/ognetushaschaya-effektivnost-ustanovok-pozharotusheniya-tonkoraspylennoj-vodoy-s-orositelyami-s-soudaryayuschimisya-struyami>

21. FOGTEC Fire Protection. Retrieved from <https://fogtec-international.com>

22. Fireco S.R.L. Retrieved from <https://www.fireco.eu>

23. Rosenbauer International AG. Retrieved from <https://www.rosenbauer.com/de/int/world>

24. EmiControls. Retrieved from <https://www.emicontrols.com>

25. HNE Technologies AG. Retrieved from <https://www.hne.ag>

26. Murli Techno PVT. LTD. Retrieved from <http://www.murlifiresafety.com>

27. Everbest Fire Equipment Co., Ltd. Retrieved from <https://www.ebfire.com>

28. Corporation NEOTECHKOREA. Retrieved from <http://www.corpwin.com>

29. Safequip (Pty) Ltd. Retrieved from <http://www.safequip.co.za>

30. Aquasys Technik GmbH. Retrieved from <https://www.aquasys.at/en>

31. IFEX. Retrieved from <https://www.ifex3000.com/en/home>

32. Svensson, S. (2019). Experimental Study of Gas Cooling During Firefighting Operations. *Fire Technology*, 55 (7), 285–305. doi: 10.1007/s10694-018-0790-3

33. CFBT-US LLC. Retrieved from <http://cfbt-us.com>

Надійшла до редколегії: 05.03.2021

Прийнята до друку: 14.04.2021