

КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО МІСТ MUNICIPAL ECONOMY OF CITIES

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК
СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА АРХІТЕКТУРА

ТОМ 1 ВИПУСК 182'2024

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів медіа R30-01140 від 10.08.2023 р.
Наукове фахове видання категорії «Б» за спеціальностями 121, 122, 123, 124, 125, 126, 131, 132, 133, 191, 192, 193, 194, 261, 263, 273, 274, 275 (наказ МОН України № 1301 від 15.10.2019 р.), 141, 183 (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

БАБАЄВ В.М.	відповідальний редактор, держ. упр., ректор ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
СУХОНОС М.К.	відповідальний секретар, д.т.н., проректор з наукової роботи, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДЯДІН Д.В.	к.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
КОГАЛОВСЬКИЙ В.	к.т.н., Інженерний коледж «Самі Шамун», Ізраїль
ПЛЮГІН В.Є.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ЧУМАЧЕНКО І.В.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ШЕВЧЕНКО Р.І.	д.т.н., НУЦЗ України
ШМУКЛЕР В.С.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ШПАЧУК В.П.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова

EDITORIAL BOARD

BABAYEV V.	Editor-in-Chief, Dr.Sc., Rector of the O.M. Beketov NUUE
SUKHONOS M.	Executive Managing Editor, Dr. Sc., Vice-rector of the O.M. Beketov NUUE
DIADIN D.	PhD, O.M. Beketov NUUE
KAGALOVSKY V.	PhD, Engineering College “Sami Shamun”, Israel
PLUGIN V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
CHUMACHENKO I.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
SHEVCHENKO R.	Dr.Sc., NUCDU
SHMUKLER V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
SHPACHUK V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE

КООРДИНАЦІЙНА РАДА

ШУТЕНКО Л.М.	голова координаційної ради, д.т.н., почесний ректор ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ГОВОРОВ П.П.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДАЛЕКА В.Х.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДРЕВАЛЬ І.В.	д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДУШКІН С.С.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
КОНДРАЩЕНКО О.В.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
МАЛЯРЕНКО В.А.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
МИХАЙЛИШИН О.Л.	д.арх., НУВГП
ОСИЧЕНКО Г.О.	д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ТОВБИЧ В.В.	д.арх., КНУБА
ФЕЙРУША С.Х.	к.т.н., Університет Салахаддін – Ербіл, Ірак
ХАРЧЕНКО В.Ф.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ЧЕЧЕЛЬНИЦЬКИЙ С.Г.	д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ЧУДНОВСЬКИЙ А.	к.т.н., Гамбурзький університет, Германія
ЮРКЕВИЧ І.	к.т.н., Астонський університет, Великобританія
ЯНКЕЛЕВИЧ М.	к.т.н., Парсонс, США

COORDINATION COUNCIL

SHUTENKO L.	Chairman of the Coordination Council, Dr.Sc., Honorary Rector of the O.M. Beketov NUUE
GOVOROV P.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
DALEKA V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
DREVAL I.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
DUSHKIN S.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
KONDRASHENKO O.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
MALYARENKO V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
MYHAYLISHYN O.	Dr.Sc., NUWEE
OSYCHENKO G.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
TOVBICH V.	Dr.Sc., KNUCA
FEIRUSHA S.	PhD, Salahaddin University – Erbil, Iraq
HARCHENKO V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
CHECHELNITSKY S.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
CHUDNOVSKIY A.	PhD, University of Hamburg, Germany
YURKEVICH I.	PhD, Aston University, United Kingdom
YANKELEVICH M.	PhD, PARSONS, USA

Адреса редакції / Editorial office address:

61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17 / 17, Marshala Bazhanova Street, Kharkiv, 61002
Тел./tel.: +38 (057) 707-33-21, e-mail: khg@kname.edu.ua

ISSN (print) 2522 – 1809
ISSN (online) 2522 – 1817

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (протокол № 9 від 28 березня 2024 року)

Ю.О. Абрамов, В.С. Коломієць, В.О. Собина

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

На прикладі пожеж класу В при їх гасінні розпиленою водою одержано математичні моделі для часу гасіння для випадків, коли інтенсивність подачі розпиленої води подається безінерційним пристроєм і коли такий пристрій має інерційні властивості. Введено критерій ефективності систем пожежогасіння, за допомогою якого одержано оцінки ефективності для різних класів систем.

Ключові слова: система пожежогасіння, час гасіння, критерій ефективності.

Постановка проблеми

Ефективність гасіння пожеж залежить від багатьох факторів, одним з яких є ефективність системи пожежогасіння. Для оцінки ефективності систем пожежогасіння використовуються різні показники і критерії. Найбільш поширеним показником є час гасіння пожежі [1], але, взятий окремо, цей показник є малоінформативним для одержання оцінки ефективності систем пожежогасіння. Час гасіння пожежі доцільно використовувати при порівнянні систем пожежогасіння [2]. У зв'язку із цим відкривається можливість у розповсюдженні принципу порівняння в межах однієї системи пожежогасіння. Однією із актуальних проблем при цьому є визначення критерію для одержання оцінки ефективності систем пожежогасіння, складовими якого можуть бути часові показники.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Стосовно до систем пожежогасіння, які орієнтовані на гасіння пожеж класу В розпиленою водою, то слід відмітити, що існує велика кількість показників, які характеризують їх якість. До таких показників відносяться: масова або об'ємна щільність потоку розпиленої води, розподіл Розіна-Рамлера та середній діаметр за Заутером крапель води [3]; тиск та температура розпиленої води [4]; час гасіння [1, 5] тощо. Усі ці показники використовуються автономно, внаслідок чого виникає необхідність в їх порівнянні із деякими іншими такого ж типу показниками або із еталонними показниками. В [6] відмічається, що ефективність пожежогасіння системами розпиленої води визначається розміром пожежі, ступенем перешкод, умовами вентиляції тощо, але при цьому не наводяться дані стосовно критеріїв ефективності. Аналогічні результати наведені в [7], де розглянуто вплив імпульсу розпиленої води, потужність джерела вогнища горіння тощо на функцію пожежогасіння без використання відповідних критеріїв. Як кри-

терії здебільшого використовуються якісні критерії за принципом «більше–менше», «підсилює–послаблює». Приклад такого підходу наведений в [8], де розглядається вплив азеотропного ефекту на інтенсифікацію полум'я при пожежах нафти. У [9] такий показник, як час гасіння пожежі класу В розпиленою водою із багатокомпонентними добавками, використовується для визначення іншого показника – вогнегасної ефективності. В [10] та в [11] наводяться дані щодо іншого типу показників якості систем пожежогасіння, величини яких нормовані в діапазоні $(0 \div 1,0)$. До таких показників відносяться коефіцієнти використання води. Перевагою цих показників над іншими показниками є те, що їх величина характеризує властивості конкретної системи пожежогасіння відносно її потенційних можливостей. Недоліком такого підходу є те, що при цьому не враховуються динамічні властивості системи пожежогасіння. Все це дає підстави для проведення дослідження, спрямованого на одержання оцінки ефективності систем пожежогасіння за допомогою критерію, який враховує її динамічні властивості.

Мета та завдання статті

Метою роботи є обґрунтування критерію ефективності систем пожежогасіння, орієнтованого на гасіння пожеж класу В розпиленою водою, та одержання за його допомогою оцінки ефективності таких систем.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- одержати функціональну залежність часу гасіння пожежі класу В розпиленою водою від параметрів пожежі за умови стрибкоподібної зміни інтенсивності її подачі до вогнища горіння;
- побудувати математичну модель для часу гасіння пожежі класу В розпиленою водою за умови врахування інерційних властивостей системи пожежогасіння;
- визначити критерій ефективності систем

пожежогасіння, який враховує їх динамічні властивості, та одержати оцінки їх ефективності;

– надати пропозиції щодо використання критерію ефективності для різних етапів існування систем пожежогасіння.

Виклад основного матеріалу

Пожежа класу В при її гасінні описується передаточною функцією виду:

$$W(p) = K(\tau p + 1)^{-1}, \quad (1)$$

де K, τ – коефіцієнт передачі та постійна часу, відповідно;

p – комплексна змінна.

При подачі до вогнища горіння вогнегасної речовини, наприклад, розпиленої води постійної інтенсивності I_0 , час гасіння t_z буде визначатись коренем трансцендентного рівняння:

$$L^{-1}[W(p)p^{-1}I_0] - \theta_T = 0, \quad (2)$$

де L^{-1} – оператор зворотного перетворення Лапласа; $\theta_m = T_n - T_m; T_n, T_z$ – початкова температура полум'я та температура гасіння, відповідно.

Для вуглеводневих рідин величина θ_m лежить в діапазоні (80÷120) °C [12].

Трансцендентне рівняння (2) в розгорнутому вигляді є наступним:

$$KI_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] - \theta_m = 0, \quad (3)$$

внаслідок чого вираз для часу гасіння t_m пожежі буде визначатись наступним чином:

$$t_m = -\tau \ln \left[1 - \theta_m (KI_0)^{-1} \right]. \quad (4)$$

Для вуглеводневих рідин $T_n \approx (1,2 \div 1,3)10^3$ °C, що дозволяє переписати вираз (4) у вигляді [13]:

$$t_m = \tau \theta_m (KI_0)^{-1}. \quad (5)$$

Методична похибка при переході від (4) до (5) не перевищує 0,5 %.

Із (5) витікає, що для вуглеводневих рідин має місце:

$$t_m \leq 0,1\tau. \quad (6)$$

Співвідношення (6) може використовуватись

для одержання верхньої оцінки часу гасіння пожежі класу В, якщо відома величина її постійної часу. Дійсна величина часу гасіння такої пожежі визначається виразом (5), але в цьому випадку необхідно мати інформацію стосовно параметрів пожежі та інтенсивності подачі вогнегасної речовини до вогнища горіння. Крім того, необхідно мати на увазі, що інтенсивність подачі вогнегасної речовини до вогнища горіння при використанні виразу (5) змінюється у відповідності з виразом:

$$I(t) = I_0 \cdot 1(t), \quad (7)$$

де $1(t)$ – функція Гевісайда.

Це означає, що сукупність функціональних елементів систем пожежогасіння, що забезпечують подачу вогнегасної речовини до вогнища горіння, повинні мати властивості узагальненого безінерційного елемента. У відповідності із нормативними документами системи пожежогасіння за інерційними властивостями діляться на три класи [14]:

- малоінерційні (до 3 с);
- середньої інерційності (від 3 с до 180 с);
- високоінерційні (більше 180 с).

Якщо в першому наближенні динамічні властивості сукупності елементів систем пожежогасіння, які формують подачу вогнегасної речовини до вогнища горіння, описати узагальненою передаточною функцією аперіодичної ланки $W_1(p)$ із постійною часу τ_1 , то до вогнища горіння буде поступати вогнегасна речовина із інтенсивністю:

$$I(t) = L^{-1}[W_1(p)p^{-1}I_0] = I_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right]. \quad (8)$$

Величини постійної τ_1 часу залежно від класу систем пожежогасіння лежать в діапазоні (1,0÷60,0) с.

Час гасіння пожежі в цьому випадку визначається коренем трансцендентного рівняння:

$$L^{-1}[W(p)W_1(p)p^{-1}I_0] - \theta_m = 0, \quad (9)$$

яке в розгорнутому вигляді є наступним [15]:

$$L^{-1} \left[KI_0 [(\tau p + 1)(\tau_1 p + 1)p]^{-1} \right] - \theta_m = KI_0 \times \\ \times \left[1 + (\tau_1 - \tau)^{-1} \left[\tau \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - \tau_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right] \right] - \\ - \theta_m = 0. \quad (10)$$

При $\tau_1 = 0$, що відповідає безінерційним властивостям узагальненого елемента системи пожежо-

гасіння, який забезпечує подачу вогнегасної речовини до вогнища горіння, рівняння (10) співпадає із рівнянням (3). В табл. 1 наведені дані стосовно часу гасіння t_m пожежі класу В, які одержані згідно з (10) для різних класів систем пожежогасіння (для різних величин постійної часу τ_1) і для різних пожеж (для різних значень постійної часу τ).

Таблиця 1
Значення часу гасіння пожеж класу В

τ, c	t_m, c		
	$\tau_1 < 1,0c$	$1,0c < \tau_1 < 60,0c$	$\tau_1 > 60,0c$
20	<3,1	3,1÷19,0	>19,0
40	<5,2	5,2÷26,0	>26,0
80	<9,4	9,4÷36,9	>36,9

Аналіз даних, наведених в табл. 1, свідчить про те, що інерційні властивості елементів системи пожежогасіння можуть суттєво впливати на величину часу гасіння пожежі. Наприклад, при гасінні пожежі класу В, яка характеризується постійною часу $\tau = 20$ с, за допомогою малоінерційної системи пожежогасіння час гасіння може збільшуватись в 1,55 рази. При використанні системи пожежогасіння середньої інтенсивності час гасіння може збільшуватись від 1,55 до 9,5 разів. Для пожежі із постійною часу $\tau = 80$ с ці показники складають відповідно 1,18 рази та 1,18÷4,6 разів.

Ступінь ефективності системи пожежогасіння можна характеризувати за допомогою критерію:

$$E = t_{m0}t_{m1}^{-1}, \quad (11)$$

де t_{m0} – потенційно можливий час гасіння пожеж, величина якого визначається виразом (5);

t_{m1} – реальний час гасіння пожежі.

Критерій (11) характеризує ступінь наближення швидкодії системи пожежогасіння до максимально можливої величини. Система пожежогасіння є екстремальною за швидкістю при $E = 1,0$. У цьому випадку така система має властивості безінерційної системи.

Критерій (11) також свідчить про те, на скільки необхідно збільшити масу вогнегасної речовини, що подається на одиничну площу пожежі, відносно маси вогнегасної речовини, що подається стрибкоподібно на одиничну площу пожежі, за умови однакових часів гасіння. Згідно з даними, наведеними в табл. 1, для малоінерційних систем пожежогасіння таке збільшення відносної маси вогнегасної речовини складає (1,18÷1,55) разів, а для високоінерційних систем таке збільшення складає (4,6÷9,5) разів. Час гасіння пожежі при цьому дорівнює (2,0÷8,0) с

(меншому часу гасіння відповідає більше збільшення відносної маси вогнегасної речовини). Величини критерію (11) для першого випадку належать діапазону 0,65÷0,85, а в другому випадку – діапазону 0,16÷0,22.

Критерій (11) доцільно використовувати як на етапі розробки систем пожежогасіння, так і на етапі їх експлуатації. Особливо це стосується автономних нестационарних систем пожежогасіння, запас вогнегасної речовини яких обмежений.

На етапі розробки таких систем пожежогасіння необхідно забезпечити виконання умови $E \rightarrow 1,0$, а на етапі експлуатації слід використовувати критерій (11) для контролю технічного стану систем пожежогасіння.

На етапі розробки систем пожежогасіння для визначення оцінки критерію (11) необхідно мати інформацію стосовно величини t_{m1} . У загальному випадку передаточна функція $W_1(p)$ відрізняється від передаточної функції аперіодичної ланки із постійною часу τ_1 і описується виразом:

$$W_1(p) = \sum_{i=0}^m a_i p^i \left[\sum_{j=0}^n b_j p^j \right]^{-1}, \quad (12)$$

де $a_0 = b_0 = 1$, a_i, b_j – параметри ($m \leq n$).

На рис. 1 наведені графічні залежності для температури $\theta_0(t)$ та $\theta_1(t)$ пожеж, які описуються виразами:

$$\theta_0(t) = KI_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]; \quad (13)$$

$$\theta_1(t) = I_0 L^{-1} \left[W_1(p) W(p) p^{-1} \right], \quad (14)$$

де $W(p)$ має вигляд (1), а $W_1(p)$ визначається виразом (12).

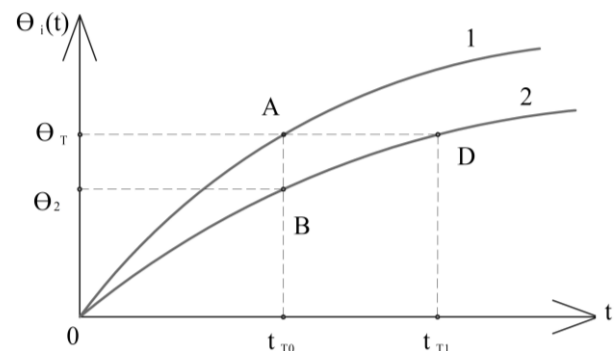


Рис. 1. Залежності температур пожежі класу В від часу: 1 – $\theta_0(t)$; 2 – $\theta_1(t)$

Якщо S_0 та S_1 – площі трикутників OBt_{m0} та OA_t_{m0} , відповідно, то має місце співвідношення:

$$S_0 S_1^{-1} = \theta_2 \theta_m^{-1}. \quad (15)$$

Для трикутників OBt_{m0} та ODt_{m1} має місце співвідношення:

$$\theta_2 \theta_m^{-1} = t_{m0} t_{m1}^{-1}, \quad (16)$$

внаслідок чого після об'єднання (11), (15) та (16) можна записати:

$$E = S_0 S_1^{-1}. \quad (17)$$

Остаточно вираз для критерію (17) буде мати вигляд:

$$E = \int_0^{t_{m0}} \theta_1(t) dt \left[\int_0^{t_{m0}} \theta_0(t) dt \right]^{-1} = \int_0^{t_{m0}} L^{-1} \left[W_1(p) [p(\tau p + 1)]^{-1} \right] dt \times \left[t_{m0} - \tau \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{m0}}{\tau}\right) \right] \right]^{-1}, \quad (18)$$

де $W_1(p)$ описується виразом (12).

Час гасіння t_{m0} та постійна часу τ повинні визначатись априорі для рідини, на гасіння якої орієнтована система пожежогасіння, що розробляється.

Висновки

1. Одержана функціональна залежність, яка пов'язує час гасіння пожежі класу В розпиленою водою при стрибкоподібній зміні інтенсивності її подачі до вогнища горіння із параметрами пожежі. До таких параметрів відносяться початкова температура та температура гасіння пожежі, а також постійна часу та коефіцієнт передачі пожежі. Показано, що для вуглеводневих рідин час гасіння пожежі розпиленою водою не перевищує десятої частини її постійної часу.

2. Відмічається, що внаслідок інерційних властивостей елементів системи пожежогасіння інтенсивність подачі розпиленої води до вогнища горіння відрізняється від стрибкоподібної форми. Для врахування цієї обставини динамічні властивості функціональних елементів системи пожежогасіння представлені еквівалентним динамічним елементом із передаточною функцією аперіодичної ланки. В цьому випадку час гасіння пожежі визначається коре-

нем трансцендентного рівняння, для побудови якого використовується інтегральне переведення Лапласа. Для трьох класів систем пожежогасіння, які розрізняються за їх інерційними властивостями, одержані оцінки часу гасіння пожежі класу В. Показано, що в залежності від динамічних властивостей систем пожежогасіння час гасіння може змінюватись в декілька разів.

3. Введено критерій ефективності систем пожежогасіння, який представляє відношення часів гасіння пожежі класу В розпиленою водою безінерційною системою та системою пожежогасіння, яка має інерційні властивості. Такий критерій враховує як характеристики швидкодії систем пожежогасіння, так і витрати вогнегасної речовини, що подається до вогнища горіння. Одержано оцінки такого критерію і показано, що для пожеж класу В із постійною часу, величина якої не перевищує 80 с, значення критерію ефективності в залежності від класу систем пожежогасіння належить діапазону $0,11 \div 0,85$.

4. Критерій ефективності систем пожежогасіння доцільно використовувати на етапах їх розробки та експлуатації. Для етапу розробки систем пожежогасіння представлена модифікація критерію ефективності, яка наведена у вигляді відношення інтегралів від температурних залежностей полум'я пожежі на інтервалі часу, що відповідає часу гасіння пожежі при стрибкоподібній зміні інтенсивності подачі розпиленої води до вогнища горіння і інтенсивності подачі розпиленої води інерційної системи пожежогасіння.

Література

1. Jeong C. S. *Experimental investigation on spray characteristics of twin-fluid nozzle for water mist and its heptane pool fire extinguishing performance* / C. S. Jeong, C. Y. Lee // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2021. – Vol. 148. – P. 724–736. – DOI: [10.1016/j.psep.2021.01.037](https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.037).
2. Shrigondekar H. *Performance by Various Water Mist Nozzles in Extinguishing Liquid Pool Fires* / H. Shrigondekar, A. Chowdhury, S. V. Prabhu // *Fire Technology*. – 2021. – Vol. 57. – P. 2553–2581. – DOI: [10.1007/s10694-021-01130-0](https://doi.org/10.1007/s10694-021-01130-0).
3. Shrigondekar H. *Characterization of solid-cone simplex mist nozzles* / H. Shrigondekar, A. Chowdhury, S. V. Prabhu // *Fire Safety Journal*. – 2020. – Vol. 111. – Article 102936. – DOI: [10.1016/j.firesaf.2019.102936](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.102936).
4. *Influence of Water Mist Temperature Approach on Fire Extinguishing Effect of Different Pool Fires* / T. Liu, X.-Y. Yin, Y.-C. Liu, Y. Tang, A.-C. Huang, X.-L. Dong, Y.-J. Liu // *Processes*. – 2022. – Vol. 10, Issue 8. – Article 1549. – DOI: [10.3390/pr10081549](https://doi.org/10.3390/pr10081549).
5. Wang J.-D. *Inhibition effect of water mist with single and double nozzles on n-heptane pool fire* / J.-D. Wang, Y.-H. He, B. Tao // *Fire Science and Technology*. – 2021. – Vol. 40, Issue 5. – P. 696–700. – Regime of access: <https://www.xfki.com.cn/EN/Y2021/V40/I5/696>, free (date of the application: 09.02.2024).
6. Dasgotra A. *CFD-based study and analysis on the effectiveness of water mist in interacting pool fire suppression* / A. Dasgotra, G. Rangarajan, S. M. Tauseef // *Process Safety*

- and Environmental Protection. – 2021. – Vol. 152. – P. 614–629. – DOI: [10.1016/j.psep.2021.06.033](https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.033).
7. Study on the effect of mist flux on water mist fire extinguishing / Y. Liu, Z. Fu, G. Zheng, P. Chen // *Fire Safety Journal*. – 2022. – Vol. 130. – Article 103601. – DOI: [10.1016/j.firesaf.2022.103601](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103601).
8. The investigation of the water mist suppression pool fire process's flame expansion characteristics / Y. Liu, P. Chen, Z. Fu, J. Li, R. Sun, X. Zhai // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2023. – Vol. 81. – Article 104927. – DOI: [10.1016/j.jlp.2022.104927](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104927).
9. Gasoline fire extinguishing by 0.7 MPa water mist with multicomponent additives driven by CO₂ / D. Lu, W. Tan, G. Zhu, L. Liu // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2019. – Vol. 129. – P. 168–175. – DOI: [10.1016/j.psep.2019.07.002](https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.07.002).
10. Тарахно О. В. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі : навч. посіб. / О. В. Тарахно, А. Я. Шаршанов. – Харків : АЦЗУ, 2004. – 252 с. – Режим доступу: http://www.univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/472/FHOVVvPS.pdf, вільний (дата звернення: 09.02.2024).
11. Абрамов Ю. Моделі та характеристики процесу гасіння пожеж класу В / Ю. Абрамов, О. Басманов. – Saarbrücken (Germany) : LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – 192 с.
12. Шевчук В. Г. Фізичні основи пожежовибухонебезпеки : навч. посіб. / В. Г. Шевчук, Д. Д. Поліщук. – Одеса : Астропринт, 2010. – 243 с.
13. Tables of integrals and other mathematical data / [H. B. Dwight] ; ed. by E. R. Hedrick. – 3rd ed. – New York, NY (USA) : The Macmillan Company, 1957. – 288 p. – (A Series of Mathematical Texts For Colleges). – Regime of access: <https://www.dce.uni-sofia.bg/shares/pk/Mathematics-for-Pharmacy-BG/Dwight.%20Tables%20of%20Integrals.pdf>, free (date of the application: 09.02.2024).
14. Котов А. Г. Пожежогасіння та системи безпеки / А. Г. Котов. – Київ : Репро-Графіка, 2003. – 270 с.
15. Абрамов Ю. О. Основи пожежної автоматики / Ю. О. Абрамов. – Харків : ХІПБ МВС України, 1993. – 288 с.

References

1. Jeong, C. S., & Lee, C. Y. (2021). Experimental investigation on spray characteristics of twin-fluid nozzle for water mist and its heptane pool fire extinguishing performance. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 724–736. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.037>
2. Shrigondekar, H., Chowdhury, A., & Prabhu, S. V. (2021). Performance by Various Water Mist Nozzles in Extinguishing Liquid Pool Fires. *Fire Technology*, 57, 2553–2581. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01130-0>
3. Shrigondekar, H., Chowdhury, A., & Prabhu, S. V. (2020). Characterization of solid-cone simplex mist nozzles. *Fire Safety Journal*, 111, 102936. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.102936>
4. Liu, T., Yin, X.-Y., Liu, Y.-C., Tang, Y., Huang, A.-C., Dong, X.-L., & Liu, Y.-J. (2022). Influence of Water Mist Temperature Approach on Fire Extinguishing Effect of Different Pool Fires. *Processes*, 10(8), 1549. <https://doi.org/10.3390/pr10081549>
5. Wang, J.-D., He, Y.-H., & Tao, B. (2021). Inhibition effect of water mist with single and double nozzles on n-heptane pool fire. *Fire Science and Technology*, 40(5), 696–700. <https://www.xfkj.com.cn/EN/Y2021/V40/I5/696>
6. Dasgotra, A., Rangarajan, G., & Tauseef, S. M. (2021). CFD-based study and analysis on the effectiveness of water mist in interacting pool fire suppression.

- Process Safety and Environmental Protection*, 152, 614–629. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.033>
7. Liu, Y., Fu, Z., Zheng, G., & Chen, P. (2022). Study on the effect of mist flux on water mist fire extinguishing. *Fire Safety Journal*, 130, 103601. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103601>
8. Liu, Y., Chen, P., Fu, Z., Li, J., Sun, R., & Zhai, X. (2023). The investigation of the water mist suppression pool fire process's flame expansion characteristics. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 81, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104927>
9. Lu, D., Tan, W., Zhu, G., & Liu, L. (2019). Gasoline fire extinguishing by 0.7 MPa water mist with multicomponent additives driven by CO₂. *Process Safety and Environmental Protection*, 129, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.07.002>
10. Tarakhno, O. V., & Sharshanov, A. Ya. (2004). *Physico-chemical bases of use of water in firefighting: study guide*. Academy of Civil Protection of Ukraine. http://www.univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/472/FHOVVvPS.pdf [in Ukrainian]
11. Abramov, Yu., & Basmanov, O. (2017). *Models and characteristics of the process of extinguishing Class B fires*. LAP Lambert Academic Publishing.
12. Shevchuk, V. H., & Polishchuk, D. D. (2010). *Physical foundations of fire and explosion hazard: study guide*. Astroprint [in Ukrainian]
13. Dwight, H. B. (1957). *Tables of integrals and other mathematical data* (3rd ed.). The Macmillan Company. <https://www.dce.uni-sofia.bg/shares/pk/Mathematics-for-Pharmacy-BG/Dwight.%20Tables%20of%20Integrals.pdf>
14. Kotov, A. H. (2003). *Fire extinguishing and security systems*. Repro-Hrafika.
15. Abramov, Yu. O. (1993). *Fundamentals of fire automation*. KHIPB MVS Ukrainy.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., головний науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

Автор: АБРАМОВ Юрій Олексійович
доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – abramov121146@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7901-3768>

Автор: КОЛОМІСЦЬ Валерій Станіславович
викладач кафедри організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – kolomiiets@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4058-4026>

Автор: СОБИНА Віталій Олександрович
кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – sobol_84@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6908-8037>

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

Yu. Abramov, V. Kolomiets, V. Sobyna

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

As previously shown, many indicators characterise the quality of fire extinguishing systems. The most common quality indicator is fire extinguishing time. For fire extinguishing systems focused on extinguishing Class B fires using sprayed water, the authors have constructed a transcendental equation, the root of which is the fire extinguishing time. We derived the equation provided that the intensity of the sprayed water supply to the combustion centre to be described by the Heaviside function. The dynamic properties of fire are defined using the integral Laplace transform. We obtained the functional dependence of class B fire extinguishing time on fire parameters and showed that this time does not exceed a tenth of the constant fire time. In the first approximation, the inertial properties of the fire extinguishing system can be taken into account by the transfer function of an aperiodic link with a generalised time constant. For this case, we constructed a transcendental equation that determines the fire extinguishing time by the inertial fire extinguishing system. We note that, according to inertial properties, fire extinguishing systems fall into three classes. For each of the three classes, estimates of the extinguishing time of a class B fire were obtained, depending on the dynamic properties of this fire. The results show that this time can change several times. The authors have introduced the criterion for the efficiency of fire extinguishing systems, which characterises the degree of approximation of the speed of the fire extinguishing system to the maximum possible value. This criterion also indicates how much it is necessary to increase the extinguishing agent mass supplied per unit area of the fire relative to the extinguishing agent mass supplied in leaps per unit area of the fire, provided that the extinguishing times are the same. We obtained estimates of the effectiveness of fire extinguishing systems using this criterion. Furthermore, we provided recommendations on the use of the efficiency criterion.

Keywords: *fire extinguishing system, extinguishing time, efficiency criterion.*