

УДК 614.841.45

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ЗРОШУВАЧА СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА ЙОГО ВИТРАТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.2.105-112>

Бенедюк В. С.\*, ORCID iD 0000-0002-5109-5295

Онищук А. Є., ORCID iD 0000-0002-1829-126X

Тимошенко О. М., ORCID iD 0000-0001-7568-5030

Іллюченко П. О., ORCID iD 0000-0001-6687-6388

\*E-mail: naanotek@ukr.net

*Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО  
СТАТТЮ

АНОТАЦІЯ

*Надійшла до редакції:  
03.10.2023*

*Пройшла рецензування:  
20.10.2023*

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

технічна механіка  
рідини, зрошувач  
систем пожежогасіння,  
виртота зрошувача,  
гідравлічний опір,  
втрата тиску на  
проточних елементах,  
К-фактор зрошувача,  
коефіцієнт місцевого  
гідравлічного опору,  
турбулентність  
водяного потоку.

Проаналізовано проблемні питання, які періодично виникають під час випробувань деяких показників технічних характеристик (за методами та процедурами згідно з ДСТУ EN 12259-1:2019) для окремих партій зразків зрошувачів систем водопінного пожежогасіння, що не мають маркування провідних зарубіжних брендів або мають, але невідомих виробників, імовірно неоригінальних виробів, через які зазвичай ці зразки бракуються. Зокрема, це пов'язано з отриманням незадовільних результатів випробувань щодо такого показника якості виробів, як К-фактор. Для з'ясування причин зазначеного проведено теоретичні дослідження в галузі технічної механіки рідин (гідродинаміки) та попередньо їх виявлено. Подальші дослідження зразків зрошувачів, що не відповідали вимогам вказаного стандарту, підтвердили вплив виявленого недоліку конструкції, ймовірно допущеного під час виготовлення забракованих зрошувачів, на результати випробувань. Встановлено та підтверджено, що причина полягає у дефекті проточної частини зрошувача, а саме – наявності гострої крайки на його вхідному отворі. Після доопрацювання конструкції через видалення гострої крайки виконанням фаски результати повторних гідравлічних випробувань показали, що параметри зрошувача відповідають встановленим нормам. Результати досліджень наведені у матеріалах цієї публікації у графічному вигляді. З огляду на зазначене необхідно у будь-який можливий спосіб, зокрема через цю публікацію, інформувати постачальників та замовників продукції щодо необхідності проведення обов'язкової перевірки. Якщо фаски або плавного закруглення крайки вхідного отвору проточної частини виробів немає, це свідчить про неоригінальність зрошувачів, що може спричинити їх бракування.

**Постановка проблеми.** За методами та рекомендованими процедурами, наведеними в [1], виконують перевірки та випробування 19 показників якості та одного показника щодо маркування спринклерів (зрошувачів) автоматичних систем пожежогасіння. Під час проведення випробувань зрошувачів різних типорозмірів, що не мають маркування відомих зарубіжних брендів або мають, але невідомих виробників, імовірно неоригінальних виробів, для

окремих партій зразків виникало проблемне питання щодо невідповідності одного з показників якості, К-фактора, вимогам, наведеним в [1]. Зрозуміло, це призводило до бракування таких зразків.

Під час проведення теоретичних розвідок у галузі технічної механіки рідин (гідродинаміки) попередньо виявлено причину зазначеної проблеми, а в процесі подальших експериментальних досліджень зрошувачів підтверджено негативний вплив виявленого недоліку конструкції,

допущеного під час їх розроблення та/або виготовлення, на результати випробувань. Зміст та результати вказаних теоретичних та експериментальних досліджень наведено у цій публікації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на те, що перші спринклерні системи водяного пожежогасіння з'явилися ще наприкінці XIX століття, після того як британець Стюарт Гаррісон у 1864 році винайшов спринклер – зрошувач, роботи щодо їхнього удосконалення, зокрема й самих зрошувачів, тривають і донині. До найкращих брендів світових виробників зрошувачів систем пожежогасіння, що працюють на ринку України, зокрема належать: TYCO, VICTAULIC, RELIABLE (США), VIKING, MINIMAX (Німеччина), RAPIDROP (Великобританія), HD FIRE (Індія) тощо.

Варто зауважити, що з 01.01.2020 р. в Україні чинні два національні стандарти щодо вимог та методів випробувань спринклерів систем пожежогасіння: [1], який є ідентичним відповідному європейському стандарту EN та [2], який є ідентичним відповідному міжнародному стандарту ISO, що набули чинності методом підтвердження згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» за № 405 від 05.12.2019 р. Зміст та положення обох документів здебільшого збігаються (дублюються), але за окремими позиціями відрізняються. Зокрема, у стандарті [2] передбачено вимоги та методи випробувань спринклерів щодо вогневих випробувань, герметичності, замерзання в них води, дії вакууму тощо, яких немає у стандарті [1]. Зазначено також про окремі відмінності трактування деяких норм за текстом документів, зокрема у разі визначення показника, що досліджується у цій публікації, К-фактору; відрізняються діапазони випробувальних тисків тощо. Таким чином, імовірно без проведення детальшого аналізу змісту та суті цих документів під час ухвалення рішення про їхнє впровадження створена колізія для користувачів щодо розбіжностей у двох формально чинних в Україні нормативних

актах. Окрім цього, аналітичні дослідження виявили ще одну проблему щодо наведеного питання – нині стандарт ISO 6182-1:2014, який в Україні взято за основу наведеного вище стандарту [2], розробником міжнародних стандартів ISO замінений на нову редакцією від 2021 року. Згідно з наведеними у доступних джерелах інформації змістом та обсягом цієї редакції стандарту значно розширені вимоги до характеристик, маркування та методів випробувань для інших типів зрошувачів: спринклерів зі збільшеним покриттям захищеної площі, побутових та складських спринклерів, зокрема спринклерів зі швидким реагуванням (ESFR), спринклерів з електричним активуванням (EAS) і спринклерів із контролюванням активації (SMA). З огляду на це необхідно вивчити питання з метою можливого впровадження цього стандарту в Україні та відміни чинних одночасно стандартів [1–2], що усуне колізію, про яку зазначено вище. Разом із наведеними стандартами в Україні також чинний стандарт [3], в якому регламентовано вимоги до проектування, монтування та технічного обслуговування автоматичних спринклерних систем пожежогасіння, включаючи зрошувачі. У статті [4] наведені результати досліджень щодо впливу геометричних характеристик зрошувачів і трубопроводів на гідравлічні параметри розподільчої мережі систем водяного пожежогасіння, які показують, що на гідравлічні параметри розподільчої мережі насамперед впливають геометричні параметри зрошувачів, а потім параметри трубопроводів розподільчої мережі та виявлено групи комбінацій геометричних характеристик трубопроводів і зрошувачів із близькими гідравлічними параметрами, урахування яких дає змогу знизити вартість розподільчої мережі. Матеріали аналітичних досліджень у [5] містять, зокрема, інформацію щодо позитивного впливу наявності фаски у вхідному отворі гідравлічних насадок на зменшення коефіцієнта місцевого гідравлічного опору. У підручнику [6] викладено основи

технічної механіки рідини і газу: фізичні властивості рідини, гідростатика, гідродинаміка, гідравлічні опори, втрати напору під час руху рідини тощо, зокрема щодо коефіцієнтів місцевого гідравлічного опору різних форм вхідного отвору проточної частини гідравлічних насадок.

**Формулювання цілей дослідження.** Метою проведення дослідження є виявлення причин, що призводять до розбіжності гідродинамічних характеристик зразків зрошувачів одного типорозміру від різних виробників (постачальників), отриманих для випробувань, внаслідок яких деякі зрошувачі не проходили випробування та бракувалися.

**Методи дослідження.** Проведено аналітичні, теоретичні та експериментальні дослідження із наведеної проблеми для деяких типорозмірів зрошувачів від окремих постачальників, що не пройшли випробування згідно з вимогами, наведеними в [1].

**Виклад основного матеріалу.** Пожежна наука та технічні засоби водопінного пожежогасіння базуються безпосередньо на принципах гідродинаміки, зокрема на застосуванні основних її законів: системи диференційних рівнянь руху в'язкої рідини Нав'є – Стокса, закону нерозривності потоку, рівнянь Бернуллі тощо. Відомо, що зазвичай зрошувачі систем водопінного пожежогасіння за своїм конструктивним виконанням відповідно до основ гідродинаміки [6] являють собою насадки як короткий трубопровід, довжина якого не перевершує 3–4 діаметри отвору його проточної частини. Окрім цього, отвір проточної частини зрошувача виконано конусним, збіжним від входу до виходу, з кутом при вершині осевого перерізу конуса близько 10°–13°. Такі параметри проточної частини зрошувача забезпечують практично плавне протікання рідини без гідравлічних збуджень течії. Водночас отвір проточної частини зрошувача є одним із елементів місцевого гідравлічного опору, що може

мати різні величини коефіцієнта гідравлічного опору  $\zeta$ , який, зокрема, залежить від швидкості течії рідини, геометричних розмірів і його форми. В той же час втрата тиску на елементі місцевого гідравлічного опору ( $\Delta h$ , м. вод. ст.), що за законами гідродинаміки негативно впливає на витратні характеристики насадки, визначається за відомою формулою Вейсбаха (1):

$$\Delta h = \zeta \times \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

де  $\zeta$  – безрозмірний коефіцієнт місцевого гідравлічного опору;

$V$  – середня швидкість течії рідини, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\frac{V^2}{2g}$  – швидкісний напір течії рідини, м

Експериментально встановлено, що для різних форм вхідного отвору проточної частини гідравлічної насадки коефіцієнти місцевого гідравлічного опору  $\zeta$  мають відповідні значення [6, с. 159]. Наприклад, для вхідного отвору гідравлічної насадки, що має гостру вхідну крайку, цей коефіцієнт складає  $\zeta = 0,5$ , для отвору з мало закругленою крайкою –  $\zeta = 0,2$ , а для отвору з плавно закругленою крайкою –  $\zeta = 0,04 \div 0,10$ , який для розрахунків беруть рівним  $\zeta = 0,08$ . Водночас встановлено, що траєкторії окремих струминок потоку рідини, що зайшли до отвору з плавно закругленою крайкою після її проходження не піддаються істотній деформації, і їхня форма під час входу в отвір збігається з їхньою формою на виході, тобто турбулентність потоку, що пройшов через такий місцевий опір, не збільшується.

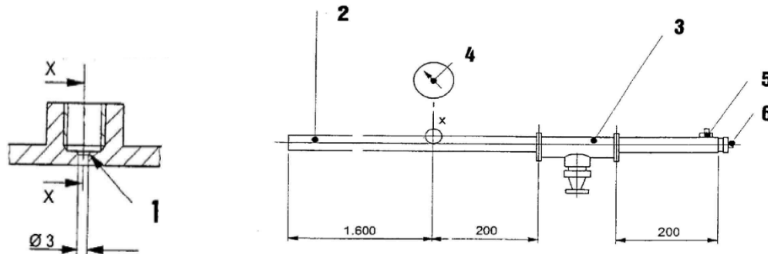
Візуальний огляд виконання проточних частин наданих зрошувачів, що не пройшли випробування з показника К-фактор, показав, що саме на них вхідний отвір має гостру вхідну крайку порівняно зі зрошувачами, які успішно пройшли випробування і мають фаску на вхідному отворі.

Для перевірки наведеної версії на стенді для визначення К-фактора проведено порівняльні гідравлічні

дослідження зразків з гострою крайкою на вхідному отворі проточної частини та зрошувачів після доопрацювання конструкції через видалення гострої

крайки виконанням фаски розміром  $1,6 \times 45^\circ$ .

Схема стенда для визначення К-фактора зрошувачів згідно з [1] наведена на рис. 1.



1 – штуцер для приєднання засобу вимірювання тиску; 2 – стальна труба  $D_y 40$  мм; 3 – трійник для приєднання зрошувача; 4 – засіб вимірювання тиску (манометр, датчик тиску); 5 – клапан для випускання повітря; 6 – заглушка

Рисунок 1 – Схема стенда для визначення К-фактора зрошувачів

Джерело: [1, с. 21]

Загальний вигляд зразків двох типорозмірів зрошувачів, з номінальним діаметром отвору 15 мм та 20 мм, що досліджувались, наведено на рис. 2.

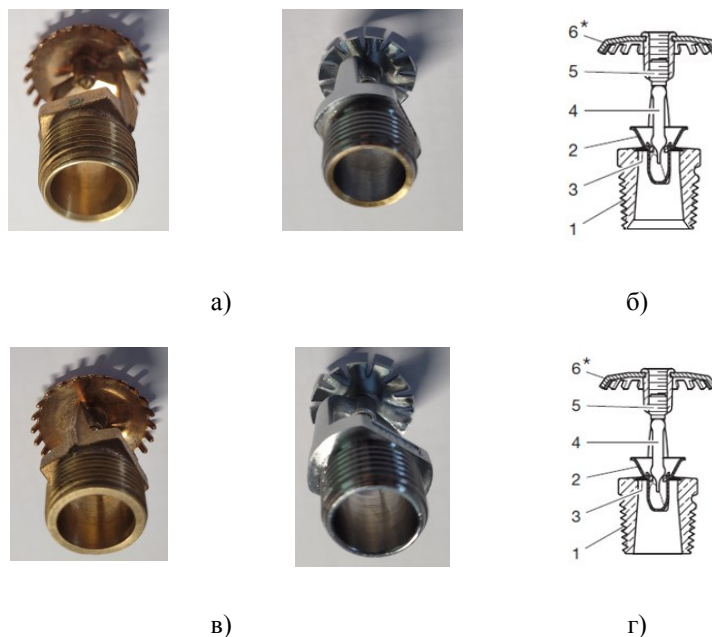


Рисунок 2 – Загальний вигляд зрошувачів з номінальним діаметром отвору 15 мм та 20 мм, що досліджувались: а) – зрошувачі з фаскою на вхідному отворі; б) – зрошувач з фаскою в розрізі: 1 – корпус; 2 – заглушка клапана; 3 – ущільнювач; 4 – термоколла; 5 – гвинт; 6 – розетка; в) – зрошувачі без фаски на вхідному отворі; г) – зрошувач без фаски в розрізі

Джерело: розробка авторів

Робочий момент випробувань зрошувача на випробувальному стенді для визначення К-фактора наведено на рис. 3



Рисунок 3 – Робочий момент випробувань зрошувача на випробувальному стенді для визначення К-фактора

Джерело: розробка авторів

Значення К-фактора зрошувачів згідно з [1] не повинні виходити за допуски, зазначені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення К-фактора для зрошувачів систем пожежогасіння

| Номинальний діаметр отвору, мм | К-фактор, (л/хв <sup>-1</sup> )·бар <sup>-0,5</sup> |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 10                             | 57 ± 3                                              |
| 15                             | 80 ± 4                                              |
| 20                             | 115 ± 6                                             |

Джерело: посилання [1, с. 5]

Випробування проводили згідно з наведеною в [1] методикою. Зрошувачі приєднували до відповідного трійника 3 стенда (див. рис. 3) За допомогою витратоміра стенда (на рисунках не

показано) з похибкою вимірювання витрати ± 2% визначали витрату води через зрошувач у діапазоні від 0,5 бар до 6,5 бар із кроком (1,00 ± 0,02) бар, який контролювали за допомогою датчика тиску 4. Для кожного значення тиску з наведеного інтервалу визначали К-фактор за формулою (3):

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (3)$$

де P – тиск, бар;

Q – витрата води через зрошувач, л/хв.

Для наглядного порівняння на рис. 4–5 надано графіки витратних характеристик води та К-фактора зрошувача з номінальним діаметром отвору 15 мм, а на рис. 6–7 –аналогічні дані для зрошувача з номінальним діаметром отвору 20 мм.

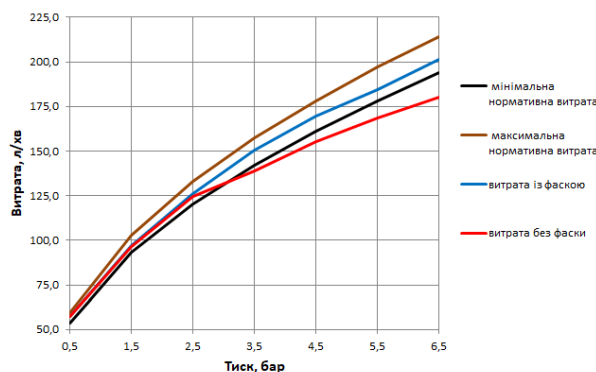


Рисунок 4 – Графіки витратних характеристик зрошувача з номінальним діаметром отвору 15 мм

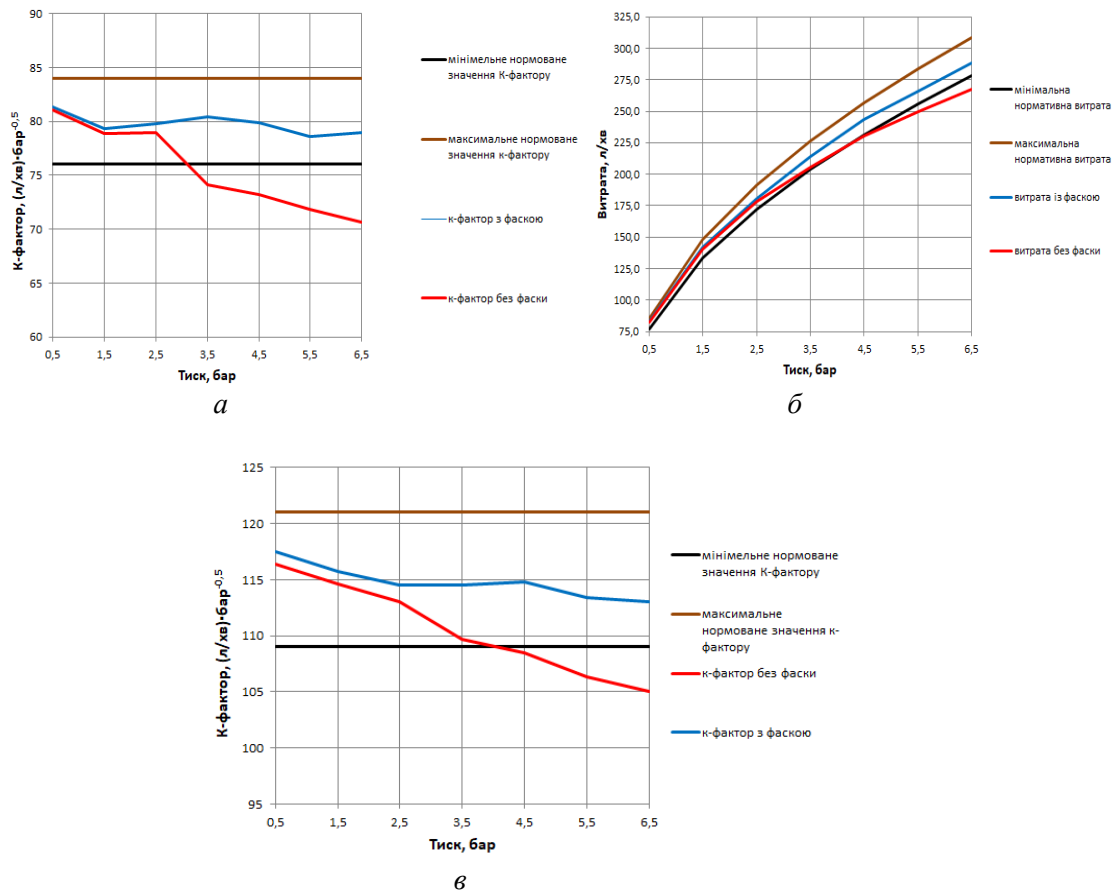


Рисунок 5 – а) графіки К-фактора зрошувача з номінальним діаметром отвору 15 мм; б) графіки витратних характеристик зрошувача з номінальним діаметром отвору 20 мм; в) графіки К-фактора зрошувача з номінальним діаметром отвору 20 мм

Джерело: розробка авторів

Як видно з рис. 4–5, експериментальні значення витрати води та К-фактора для зрошувачів з фаскою не виходять за нормовані межі цих показників. Для зрошувачів без фаски експериментальні значення витрати води та К-фактора виходять за нижню нормовану межу цих показників за тиску води понад 3 бар для зрошувача з номінальним діаметром отвору 15 мм (див. рис. 4–5) та більше 4 бар для зрошувача з номінальним діаметром отвору 20 мм (див. рис. 5). Це пояснюється тим, що гостра крайка вхідного отвору створює додаткову турбулентність потоку, яка за швидкостей води у діапазоні тисків (0,5–3,0) бар для зрошувача з номінальним діаметром отвору 15 мм та у діапазоні тисків (0,5–4,0) бар для зрошувача з номінальним діаметром отвору 20 мм ще не приводить до негативних результатів, а далі, вище

3,0 бар та 4,0 бар відповідно, швидкість та пов'язана з нею турбулентність потоку підвищуються настільки, що значення витрати води та К-фактора знижуються та виходять за нормовану межу, внаслідок чого такі зрошувачі підлягають бракуванню.

**Висновки та напрями подальших досліджень.** 1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено негативний вплив виявленого конструктивного виконання одного з елементів проточної частини, а саме – наявності гострої крайки на вхідному отворі, на витратні характеристики зрошувача систем пожежогасіння.

2. Встановлено, що в Україні чинні два національні стандарти щодо вимог та методів випробувань спринклерів систем пожежогасіння [1–2]. Зміст та положення

обох документів здебільшого збігаються (дублюються), але за окремими позиціями відрізняється. Окрім цього, виявлено, що нині стандарт ISO 6182-1:2014, який в Україні взято за основу наведеного вище стандарту [2], замінено у новій редакції від 2021 року. Зміст та обсяг цієї редакції розширено щодо вимог та методів випробувань для інших типів зрошувачів: спринклерів зі збільшеним покриттям захищеної площі, побутових та

складських спринклерів, зокрема спринклерів зі швидким реагуванням (ESFR), спринклерів з електричним активуванням (EAS) і спринклерів із контролюванням активації (SMA).

Пропонується надалі провести вивчення наведених документів із метою пошуку можливостей впровадження в Україні єдиного стандарту щодо спринклерів, що допоможе усунути колізію, про яку зазначено вище.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 12259-1:2019 (EN 12259-1 : 1999 + A1:2001, IDT) / Зміна № 3 : 2019 (EN 12259-1:1999 + M:2001/A3:2006, IDT) Стационарні системи пожежогасіння. Компоненти спринклерних і водорозпилювальних систем. Ч. 1. Спринклери. [Чинний від 2020-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 56 с (Інформація та документація).
2. ДСТУ ISO 6182-1:2019 (ISO 6182-1:2014, IDT) Протипожежний захист. Автоматичні спринклерні системи. Ч. 1. Вимоги та методи випробування спринклерів. [Чинний від 2020-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 68 с (Інформація та документація).
3. ДСТУ Б EN 12845:2011. (EN 12845:2004+A2:2009 IDT) Ч. 2. Стационарні системи пожежогасіння. Автоматичні спринклерні системи. Проектування, монтування та технічне обслуговування. [Чинний від 2012-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2012. 19 с. (Інформація та документація).
4. Дурєєв В. О. Дослідження впливу геометричних характеристик зрошувачів і трубопроводів на гідравлічні параметри розподільчої мережі системи водяного пожежогасіння. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матер. IX Міжнар. наук.-практич. конф. Черкаси : ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2018. С. 95. 96 с.
5. Liang-Han Chien, Jin-Jia, Xu, Tien-Fu Yang, Wei-Mon Yan. Experimental study on water spray uniformity in an evaporative condenser of a water chiller. *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 2019, P. 33–45.
6. Технічна механіка рідини і газу: підруч. / С. О. Вамболь, І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко. Харків : НУЦЗУ, 2016. 300 с.

### REFERENCES

1. DSTU EN 12259-1:2019 (EN 12259-1:1999 + A1:2001, IDT) / Zmina № 3:2019 (EN 12259-1:1999 + M:2001/A3:2006, IDT) Statsionarni systemy pozhezhohasinnia. Komponenty sprynklernykh i vodorozpyliuvalnykh system. Chastyna 1. Sprynklery. [Chynnyi vid 2020-01-01]. Kyiv, UkrNDNTs, 2019. 56 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. DSTU ISO 6182-1:2019 (ISO 6182-1:2014, IDT) Protypozhezhnyi zakhyst. Avtomatychni sprynklerni systemy. Chastyna 1. Vymohy ta metody vyprovuvannia sprynkleriv. [Chynnyi vid 2020-01-01]. Kyiv, UkrNDNTs, 2019. 68 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia). [in Ukrainian].
3. DSTU B EN 12845:2011. (EN 12845:2004+A2:2009 IDT) Chastyna 2. Statsionarni systemy pozhezhohasinnia. Avtomatychni sprynklerni systemy. Proektuvannia, montuvannia ta tekhnichne obsluhovuvannia. [Chynnyi vid 2012-06-01]. Kyev: Minrehion Ukrainy, 2012. 219 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia). [in Ukrainian].
4. Durieiev, V. O. Doslidzhennia. Vplyvu heometrychnykh kharakterystyk zroshuvachiv i truboprovodiv na hidravlichni parametry rozpodilchoi merezhi systemy vodianooho pozhezhohasinnia. *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychnykh sytuatsii: Materialy IKh Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii*. Cherkasy: ChIPB im. Heroiv Chornobyliya NUTsZ Ukrainy, 2018. S. 95. 96 s [in Ukrainian].
5. Liang-Han, Chien, Jin-Jia Xu, Tien-Fu Yang, Wei-Mon Yan. Experimental study on water spray uniformity in an evaporative condenser of a water chiller. *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 2019, P. 33–45 [in English].
6. Tekhnichna mekhanika ridyny i hazu: pidruch. / S. O. Vambol, I. V. Mishchenko, O. M. Kondratenko. Kharkyv: NUTsZU, 2016. 300 s [in Ukrainian].

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF FLOW PART OF THE IRRIGATOR OF FIREFIGHTING SYSTEM ON IT'S CONSUMPTION CHARACTERISTICS

V. Benediuk, A. Onyshchuk, O. Tymoshenko, P. Illuchenko

*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

---

### KEYWORDS:

technical fluid  
mechanics, irrigator of  
fire extinguishing  
systems, sprinkler  
consumption,  
hydraulic resistance,  
pressure loss on flow  
elements, K-factor of  
sprinkler, coefficient of  
local hydraulic  
resistance, water flow  
turbulence

### ANNOTATION

Problematic issues, which periodically arise while technical characteristics testing according to methods and procedure which specified in DSTU EN 12259-1:2019, for individual batches of specimens of irrigators of water-foam extinguishing system with or without marking of well-known foreign brands, but unknown manufactures, probably not original product, due to which, objectively, these specimens of sprinklers are rejects, have been analyzed. In particular, it is connected with obtaining unsatisfactory test results regarding such product quality indicators as: K-factor. To find out the reasons for these unsatisfactory test results, theoretical research was conducted in the field of technical fluid mechanics (hydrodynamics) and the cause of the mentioned problem was previously identified. Further research of sprinkler specimens, that did not meet the requirements of the specified standard, confirmed the influence of the identified design flaw, presumably allowed during the manufacture of the rejected sprinklers, on the test results. It was clarified and confirmed that the reason lies in the manufacturing defect of the flow part of the sprinkler, namely the presence of a sharp edge on its inlet opening. After finalizing the design, by removing the sharp edge (chamfering), the results of repeated hydraulic tests showed that the parameters of the sprinkler returned to normal. The results of this research are presented in the materials of this publication in graphic form. Therefore, it's necessary in any possible way, including this publication, inform manufacturers and customers of this production about necessary checking of presenting of chamfer or smooth rounding of the edge of inlet opening of the flow part of the product, because it's absence can be one of signs of the non-original sprinklers and reason of irrigators defect.