

УДК 614.8

О. А. Петухова, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORSID 0000-0002-4832-1255)
Д. В. Колесніков, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORSID 0000-0002-4068-3454)
В. Г. Дагіль, ст. викл. каф. (ORSID 0000-0002-2382-0533)
О. В. Сінко, ст. викл. каф. (ORSID 0009-0000-3675-9121)
Л. І. Андрєєва, викл. каф. (ORSID 0009-0005-9992-0070)
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОВІДДАЧІ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПРОВОДУ

Проаналізовано прилади для проведення випробувань на водовіддачу внутрішнього протипожежного водопроводу та визначено, що важливим є не лише точне використання приладу, а і проведення вимірювань в години та у місцях з найгіршим водозабезпеченням. Показано, що результат випробувань не є фактичною кількістю води на пожежогасіння, у випадку, коли при визначенні часу та місця проведення випробувань перевага віддається зручності процесу, а не створенню найгірших умов водозабезпечення під час випробувань. Також визначено, що для збільшення достовірності одержаних результатів проведення випробувань необхідно подовжувати у часі, що приводить до необґрунтованого збільшення витрат води при випробуваннях. Досліджено зв'язок між показаннями манометра приладу при проведенні випробувань та витратами води в мережі. Розгляданням рівнянь Бернуллі та нерозривності потоку обґрунтовано достовірність результату при використанні приладів з манометром, при цьому доведено, що результат буде відповідати фактичним витратам лише за умовою зливу води. Встановлено, що при використанні приладів без зливу води, манометр фіксує збільшені значення тиску, використання яких в розрахунках не дає фактичного результату витрат води та довжини компактної частини струменю. Запропонований спосіб вдосконалення пристрою для визначення водовіддачі мережі, в основу якого покладено схему побудування приладу для проведення випробувань з покращеними характеристиками, які дозволяють збільшити точність вимірювань одночасно із зменшенням кількості води на проведення вимірювань, що робить саму процедуру більш зручною, а результати розрахунків витрат води та довжини компактної частини струменю фактичними. Отримані результати можуть бути використані при проведенні випробувань на водовіддачу внутрішнього протипожежного водопроводу та оцінюванні результатів з точки зору забезпечення умов успішного пожежогасіння.

Ключові слова: внутрішній протипожежний водопровід, пожежний кран-комплект, водовіддача, витрати води на пожежогасіння

1. Вступ

До складу системи протипожежного захисту об'єктів входить внутрішній протипожежний водопровід (далі – ВПВ). Статистичні дані мирних часів показують, що найчастіше та найефективніше ВПВ для гасіння пожежі може використовуватись у будівлях підвищеної поверховості та висотних будівлях. Але в умовах воєнного сьогодення ситуація змінюється і дуже часто наявність та працездатність ВПВ у будь-якій будівлі може забезпечити і успішне гасіння пожежі і можливо рятування та евакуацію людей, а також забезпечити відповідний рівень протипожежного захисту об'єкта. Підтримування в працездатному стані ВПВ забезпечується вчасною та якісною перевіркою та проведенням випробувань на водовіддачу. Одним з головних елементів ВПВ є пожежні кран-комплекти (далі – ПКК), які встановлюються всередині будівель, можуть безпосередньо використовуватись при гасінні пожежі, забезпечують подачу кількості води не менш, ніж вимагається нормативними документами та розташовуються так, щоб кожна точка приміщення захищалась нормативною кількістю струменів, а це є актуальним питанням в проблемі забезпечення умов успішного гасіння пожежі.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Сучасні дослідження ВПВ спрямовані на дослідження його гідравлічних параметрів та визначення витрат води з ПКК [1]. Реалізація таких напрямків здійснюється визначенням впливу типу запірної арматури (ручна, з електроприводом та ін.) на швидкість її спрацювання та витратні характеристики ділянок мережі при цьому [2], але не розглядається вплив типу арматури на результат вимірювання витрат води при змінах умов експлуатації мережі. Дослідження моделювання руху струменя води залежно від тиску, діаметра насадки та кута нахилу дозволяють визначити ефективну зону пожежогасіння [3], але питання щодо відповідності зони пожежогасіння необхідному захисту кожної крапки приміщення та часом проведення вимірювань не розглянутий. Пошук оптимальних співвідношень тиску та витрат у висотних будівлях, де на початкових етапах гасіння виникає надлишковий тиск проведений у [4], але не розглянуто питання точності вимірювань при вмиканні пожежних насосів та створенні ними відповідних пульсацій струменів з ПКК, а також питання водовідведення під час випробувань. Ряд наукових пошуків спрямовано на дослідження специфіки ПКК, перспектив уніфікації вимог до них, а також аналізу сучасного стану нормативної бази [5], але це важливий напрямок, який ефективно реалізується на стадії проектування і не може бути використаний при експлуатації та випробуванні мережі. Визначення характеристик складових ПКК для будівель різного призначення та фактичної водовіддачі пропонується за рахунок дослідження впливу зміни довжини рукава та типу розпорошувача [6–8], але не враховано час, місце проведення випробувань та мінімальну кількість ПКК, які обов'язково повинні бути задіяні при випробуванні для забезпечення умов успішного пожежогасіння.

ПКК кожного року перевіряються на працездатність пуском води, а система ВПВ при прийнятті до експлуатації перевіряється на водовіддачу. Тобто якісна перевірка працездатності ПКК та визначення дійсної кількості води, що забезпечує внутрішня мережа, є одним зі способів підвищення рівня протипожежного захисту об'єктів. При проведенні випробувань на водовіддачу важливим є визначення місця та часу так, щоб одержані витрати відповідали найгіршим умовам експлуатації [9, 10], тоді в будь-яких інших обставинах мережа зможе забезпечити подачу кількості води не менш, ніж було встановлено при випробуваннях, та відповідно пожежа буде успішно ліквідована, але особливості використання такого підходу для внутрішнього протипожежного водопроводу не розглянуто.

Таким чином, невирішеним залишається питання організації та проведення випробувань ВПВ таким чином, щоб ті витрати води, які визначені при випробуванні, дорівнювали фактичним витратам води, що реально при будь-яких умовах забрати з мережі та подати на успішне гасіння пожежі.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка схеми побудування приладу для визначення водовіддачі водопровідної мережі, який доцільно та обґрунтовано використовувати для внутрішнього протипожежного водопроводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Запропонувати класифікацію приладів для проведення випробувань на водовіддачу за вимірюваною величиною.
2. Дослідити зв'язок між показаннями манометра приладу при проведенні випробувань та витратами води в мережі.

3. Запропонувати спосіб вдосконалення пристрою для визначення водовіддачі мережі.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес проведення випробувань внутрішнього протипожежного водопроводу на водовіддачу. Предметом дослідження є залежність достовірності вимірювань гідравлічних параметрів та трудомісткості процесу випробувань від конструктивних особливостей розробленої схеми приладу.

Основною гіпотезою дослідження є те, що використання розробленої схеми приладу дозволить зменшити похибку вимірювань та спростити процес гідравлічних випробувань порівняно з існуючими методами.

Для досягнення поставленої мети використовуються теоретичні методи: аналіз та узагальнення існуючих конструкцій приладів для проведення випробувань на водовіддачу та виявлення їх недоліків; математичне моделювання руху води через прилад для вимірювання при випробуваннях на водовіддачу; емпіричний метод порівняння отриманих результатів із витратами води для успішного пожежогасіння.

5. Класифікація приладів для проведення випробувань на водовіддачу за вимірюваною величиною

Практика проведення щорічних перевірок або проведення випробувань мережі на водовіддачу передбачає використання спеціальних приладів, які найчастіше вимірюють тиск. При правильній організації випробувань вимірний тиск перераховується у витрати води, які є водовіддачею мережі. Приладами для випробувань внутрішніх мереж можуть бути ствол-водомір, трубка Піто, пристрій "СВ", конструкція яких передбачає наявність манометра, встановленого на корпусі приладу.

Прилади для випробувань мереж на водовіддачу можна розділити на три групи. До першої групи відносяться прилади, які вимірюють безпосередньо витрати води. До складу таких приладів входять витратомір та з'єднувальні головки, що дозволяють приєднати прилад до ПКК з одного боку та ствола з іншого. На достовірність результату може вплинути відсутність достатньої ємності для зливу води та віддаленість ПКК, які приймають участь у випробуваннях. Друга група приладів дозволяє реалізувати об'ємний спосіб випробувань – вода зливається від необхідної кількості ПКК у ємність (не менш 500 л) з вимірюванням часу її заповнення. Можливість використання рукавів спрощує реалізацію випробувань, але рекомендована величина ємності може стати ускладнюючим фактором та основною причиною використання об'ємного способу для проведення випробувань зовнішніх мереж. Особливостями третьої групи приладів, до яких відносяться ствол-водомір, трубка Піто, пристрій "СВ", є те, що їх основною складовою є манометр, який вимірює тиск. Достовірність перерахунку вимірюваного тиску у витрату води обґрунтовується рівняннями Бернуллі та нерозривності потоку за умовою зливу води зі ствола при проведенні випробувань.

Для обґрунтування того, що при використанні перелічених приладів, показання манометра, які перераховуються у витрати води, дійсно відповідають водовіддачі мережі, запишемо рівняння Д. Бернуллі для ділянки ствола-водоміра (або пристрою "СВ" з приєднаним до нього стволом), яка розташована між точкою встановлення манометра (переріз I-I) та точкою витікання води зі ствола (переріз II-II) та (рис. 1):

$$\frac{P_I}{\rho g} + \frac{v_I^2}{2g} = \frac{P_{II}}{\rho g} + \frac{v_{II}^2}{2g}, \quad (1)$$

де $\frac{P_I}{\rho g}$, $\frac{P_{II}}{\rho g}$ – питома потенційна енергія у відповідних перерізах; $\frac{v_I^2}{2g}$, $\frac{v_{II}^2}{2g}$ – питома кінетична енергія у відповідних перерізах; при цьому втратами тиску на ділянці I-II нехтуємо через їх незначну величину.

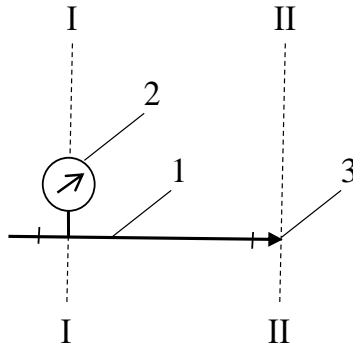


Рис. 1. Розрахункова схема ствола-водоміра: 1 – ствол-водомір, 2 – манометр, 3 – насадок ствола

Манометр фіксує потенційну енергію в перерізі I-I, тому в формулі (1) це значення можна позначити H_m . В перерізі II-II потенційна енергія повністю перетворюється у кінетичну, тому значення $\frac{P_{II}}{\rho g}$ буде дорівнювати 0. Так само і швидкісний тиск у перерізі I-I можна прийняти за 0 через його незначну величину. Тоді формулу (1) можна записати наступним чином:

$$H_m = \frac{v_{II}^2}{2g}. \quad (2)$$

Тобто показання манометру відповідають швидкісному тиску на виході води зі ствола. Використовуючи рівняння нерозривності потоку можна одержати зв'язок між показаннями манометру та витратами води.

Принциповим в цьому дослідженні є те, що при використанні ствола-водоміра, трубки Піто та пристрою “СВ” вимірювання виконуються само зливом води зі ствола. Але на практиці дуже часто при проведенні випробувань на водовіддачу ВПВ використовують прилад, який нагадує пристрій “СВ”, але відрізняється від нього тим, що з одного боку корпусу встановлюється заглушка, тобто злив води не відбувається, а тому попереднє аналітичне дослідження не може бути використано для визначення витрати води. До того ж і щорічна перевірка працездатності ПКК повинна виконуватись пуском води, чого не здійснюється.

6. Дослідження зв'язку між показаннями манометра та витратами води в мережі

Для дослідження зв'язку між показаннями манометра приладу, який використовується при випробуваннях на водовіддачу, та витратами води, що можна реально одержати з мережі та використати на гасіння пожежі, знайдемо рівняння

зв'язку витрат води на ділянці мережі з тисками H_a , H_b на кінцях ділянки a-b (рис. 2) та висотами розташування цих кінців z_a , z_b :

$$q = p |\Delta u|^{0.5} \text{sign}(\Delta u), \quad (3)$$

де q – витрати води на ділянці мережі, $\text{м}^3/\text{с}$; p – коефіцієнт пропускної здатності ділянки a-b, $\text{м}^{3.5}/\text{кг}^{0.5}$; яка визначається: u – величина, яка визначається:

$$u = H + \rho g z, \quad (4)$$

де H – тиск, Па; ρ – щільність рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

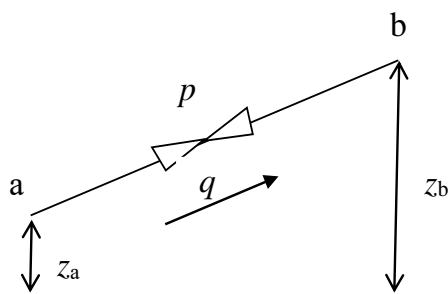


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення витрат води на ділянці мережі

З урахуванням (4) визначення витрат води (3) можна записати:

$$q = p |H_a - H_b + \rho g(z_a - z_b)|^{0.5} \text{sign}(H_a - H_b + \rho g(z_a - z_b)). \quad (5)$$

де $\text{sign}(x)$ – функція знака:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, x > 0 \\ -1, x < 0 \\ 0, x = 0 \end{cases}$$

Функція знака в формулах (3) та (5) враховує той факт, що знаки величин q та Δu повинні співпадати.

При складанні математичного опису окрім рівняння (3) для кожної ділянки необхідно врахувати рівняння збереження маси рідини, яке зв'язує потоки в місцях розгалуження трубопроводів. У випадку постійної щільності рідини баланс потоку маси призводить до балансу витрат, тоді для кожного розгалуження виконується співвідношення:

$$\sum q = 0, \quad (6)$$

в якому враховується напрямок руху рідини відносно вузла (при русі рідини до вузла, знак витрат приймається позитивним, а від вузла – негативним).

Запишемо вираз для витрат води через ствол q_2 (рис. 3), якщо задано: $z_2 = z_3 = z$, $H_1, H_3 = H_0$ (де H_0 – зовнішній тиск), ρ, g, p_1, p_2 .

Розглядаючи крапку 2 як вузол, з (6) одержуємо:

$$q_1 = q_2 (= q).$$

Рівняння (5) для ділянки 1, з урахуванням того, що $z_1 - z_2 = -z$, можна записати у вигляді:

$$q = p_1 |H_1 - H_2 - \rho g z|^{0.5} \text{sign}(H_1 - H_2 - \rho g z), \quad (7)$$

що у випадку $H_1 - H_2 - \rho g z > 0$ дозволяє переписати (7) у вигляді:

$$H_1 - H_2 - \rho g z = \left(\frac{q}{p_1} \right)^2. \quad (8)$$

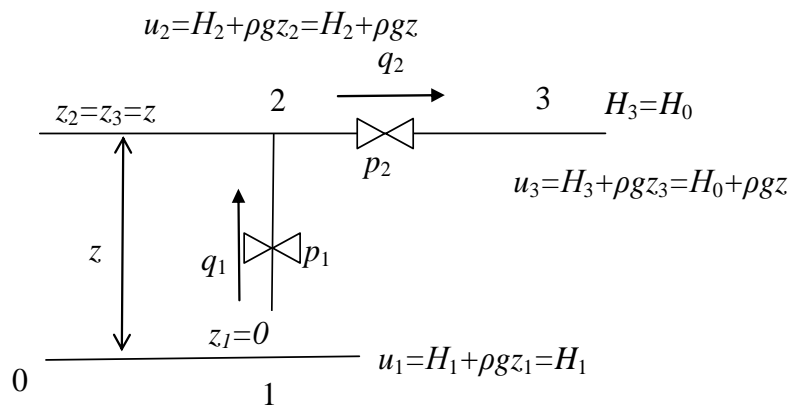


Рис. 3. Розрахункова схема ділянки мережі 1-2-3

Аналогічно рівняння (5) для ділянки 2, з урахуванням того, що $z_2 - z_3 = 0$ та $H_3 = H_0$, можна записати у вигляді:

$$q = p_2 |H_2 - H_0|^{0.5} \text{sign}(H_2 - H_0), \quad (9)$$

що у випадку $H_2 - H_0 > 0$ дозволяє переписати (9) у вигляді:

$$H_2 - H_0 = \left(\frac{q}{p_2} \right)^2. \quad (10)$$

Додаючи рівняння (8) та (10) можна позбавитись від H_2 та одержати:

$$H_1 - H_0 - \rho g z = q^2 \left(\frac{1}{p_1^2} + \frac{1}{p_2^2} \right). \quad (11)$$

З останнього співвідношення одержуємо розрахункову формулу витрат води:

$$q = \frac{\sqrt{H_1 - H_0 - \rho g z}}{\sqrt{\frac{1}{p_1^2} + \frac{1}{p_2^2}}}. \quad (12)$$

Вводячи ефективний коефіцієнт пропускної здатності двох послідовно з'єднаних ділянок:

$$p_{ef} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{p_1^2} + \frac{1}{p_2^2}}} = \frac{p_1 p_2}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}, \quad (13)$$

одержуємо інший варіант запису формули (12):

$$q = p_{ef} |H_1 - H_0 + \rho g z|^{0.5}. \quad (14)$$

Аналіз формули (13) показує, що будь-яких відмінних від нуля значеннях p_1 ефективний коефіцієнт p_{ef} менше кожного з них, тобто:

$$p_{ef} = \frac{p_1 p_2}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}} < p_2. \quad (15)$$

При проведенні випробувань на водовіддачу мережі нерідко використовують розрахунково-експериментальний підхід визначення витрат води q_2 , який складається з двох етапів:

- 1) виконання вимірювань величини H_2 в статичній ситуації, тобто при відсутності зливу води зі ствола ($q_1=0$);
- 2) використання одержаного експериментального значення H_2 при розрахунку витрат води зі ствола ($q_2=q$) за формулою (9).

Вимірювання H_2 виконується при $q_1=q=0$, тоді з формули (8) одержуємо природний для статички зв'язок тиску в крапках, що розташовані на різних рівнях за висотою, що дорівнює z :

$$H_{2(\text{факт})} = H_1 - \rho g z / \quad (16)$$

Реальне значення H_2 при наявності руху води відповідно (8) завжди буде мати меншу величину:

$$H_2 = H_1 - \rho g z - \left(\frac{q}{p_1}\right)^2 = H_{2(\text{факт})} - \left(\frac{q}{p_1}\right)^2 < H_{2(\text{факт})},$$

тобто статичне значення H_2 є більшим за фактичне.

Підставляючи одержане значення $H_2 = H_{2(\text{факт})} = H_1 - \rho g z$ до формули (9), одержуємо відповідне значення витрат води зі ствола:

$$q = q_2 = p_2 |H_{2(\text{факт})} - H_0|^{0.5} = p_2 |H_1 - H_0 - \rho g z|^{0.5}. \quad (17)$$

Порівнюючи витрати (17) та (14), з урахуванням (15), можна зробити висновок, що розрахунково-експериментальний підхід дає збільшене значення витрат води зі ствола. Таким чином, визначені за допомогою приладу з заглушкою витра-

ти води не є водовіддачею водопровідної мережі і при гасінні пожежі не доцільно спиратись на їх значення.

7. Спосіб вдосконалення пристрою для визначення водовіддачі мережі

Відомими пристроями для проведення випробувань на водовіддачу водопровідних мереж є ствол-водомір, трубка Піто, пристрій “СВ” та інші. Особливостями цих приладів є те, що вони містять манометр, встановлений на корпусі та призначений для визначення тиску води, що проходить крізь корпуси цих пристроїв. Недоліками цих пристроїв являються значні габарити, незручність при гасінні пожежі, збереженні та транспортуванні.

Ствол-водомір складається з корпусу, яким являється пожежний ствол зі змінними насадками, на якому встановлений манометр. Недоліком ствола-водоміра є достатньо великі масо-габаритні характеристики та необхідність створення струменя води.

Найближчим аналогом до ствола-водоміра є пристрій “СВ” для визначення водовіддачі водопровідних мереж [11], який містить корпус з манометром та з’єднувальними головками Богданова. Корпус виконаний у вигляді прямого кругового циліндру, на боковій поверхні якого встановлений манометр, а в торцях розташовані з’єднувальні головки Богданова. Недоліком пристрою є недостатня інформативність аналогового приладу вимірювання тиску (манометра), стрілка якого має значну амплітуду коливань під час вимірювання тиску потоку води. Дана особливість роботи манометра унеможлиблює отримання точних результатів вимірювання тиску, отримані таким чином дані мають велику похибку, а час проведення випробувань необґрунтовано збільшується.

У попередньому розділі обґрунтовано, що зменшення похибки вимірювань використанням приладу із заглушкою, не дозволяє одержати достовірний результат. Напрямок використання цифрового вимірювального приладу передбачає введення в процес вимірювання додаткових елементів, що буде збільшувати вартість процесу, але не вплине на достовірність результату. Пропонується вдосконалення пристрою для визначення витрат води з водопровідних мереж за рахунок зміни конфігурації його корпусу.

Поставлене завдання вирішується тим, що пристрій для визначення витрат води з водопровідних мереж містить корпус з манометром та з’єднувальними головками Богданова, при цьому корпус виконаний у вигляді прямого кругового циліндру, а на його боковій поверхні встановлено додатково кільце, внутрішній об’єм якого має зв’язок з корпусом через отвори малого діаметру та манометр (рис.4).

Пристрій для визначення водовіддачі водопровідних мереж працює наступним чином.

При проведенні випробувань на водовіддачу зовнішньої або внутрішньої водопровідної мережі пристрій для визначення витрат води з водопровідних мереж за допомогою з’єднувальних головок Богданова 4 встановлюється між пожежним рукавом та пожежним стволом. При поданні води на пристрій для визначення витрат води з водопровідних мереж манометр 5 вимірює її тиск, який перераховується у витрати за формулою:

$$q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (17)$$

де d – діаметр насадки ствола, який приєднується до пристрою, м; g – прискорення вільного падіння, m/s^2 ; H – показання манометру, м.

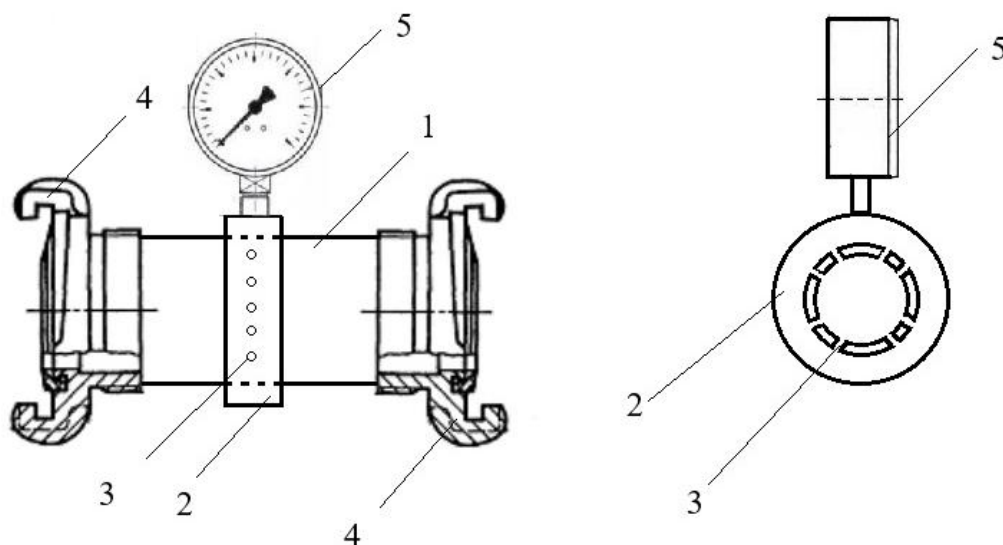


Рис. 4. Пристрій для визначення водовіддачі водопровідних мереж: 1 – корпус, 2 – кільце, 3 – отвори малого діаметру, 4 – з'єднувальні головки Богданова, 5 – манометр

В пристрої “СВ” манометр стаціонарно встановлений на корпусі, що призводить до коливань стрілки приладу при його використанні через наявні пульсації потоку в напірному трубопроводі. Перевагами пристрою для визначення водовіддачі водопровідних мереж, що пропонується, є те, що корпус пристрою має додатково встановлене кільце внутрішній об'єм якого зв'язаний з корпусом через отвори малого діаметру та манометром і працює як демпфер коливань тиску, нівелюючи стрибки стрілки манометра.

Обґрунтування впливу пульсацій на манометричні вимірювання витрати базується на фізичних властивостях середовища та інерційності вимірювального механізму. Основними причинами недостовірності результату від впливу пульсації є наступні:

- квадратична залежність витрат води від тиску (18) з урахуванням характеристик приладу. Якщо тиск пульсує, манометр через свою інерцію часто показує середнє значення тиску. Але результат корню із середнього значення зазвичай значно більший ніж середнє значення з корню. Таким чином, чим більша амплітуда пульсацій, тим вища системна похибка вимірювань.

- динамічна похибка механізму пов'язана з тим, що аналоговий манометр має власну вагу і к випадку збігу частоти пульсацій з власною частотою приладу, амплітуда коливань стрілки різко зростає, що призводить до ситуації, коли прилад показує пікові значення або зняти показники стає неможливим.

- у вузьких трубках, які йдуть до манометра пульсації можуть посилюватись через гідравлічний удар у приладі, що створює додатковий динамічний тиск, який манометр сприймає як статичний, що ще більше спотворює дані про реальну витрату.

Таким чином, запропонована схема побудування приладу для випробувань на водовіддачу дозволяє виключити пульсацію потоку при вимірюваннях, яка спричиняє невизначеність вимірювання та систематичне завищення показників витрати через нелінійний зв'язок між тиском і швидкістю, а також прискорює деградацію точності самого приладу.

Для надання остаточної відповіді щодо використання приладу, побудованого за запропонованою схемою, необхідно підкресити, що важливим параметром успішності пожежогасіння в середині будівлі з використанням ПКК є створення струменя, який буде зрошувати кожну точку приміщення (з урахуванням нормативної кількості струменів). Залежність між напором зі ствола, який вимірюється при проведенні випробувань та буде мати точніші значення, витратами води та довжиною компактної частини струменя є ключовим фактором, який забезпечує успішне пожежогасіння.

Витрати води зі ствола напряму залежать від тиску перед стволом (2). Чим більше значення тиску, тим більші витрати води проходять через вимірювальний прилад та можуть бути використані при гасінні пожежі. Таким чином, важливим є виміряти само фактичний тиск.

Довжина компактної частини струменя залежить від тиску перед стволом та їх значення пов'язані наступним чином:

– при низькому тиску - витрати води зі ствола та довжина компактного струменя мають невеликі значення, відповідно з ПКК не буде одержана кількість води, яка достатня для пожежогасіння, а також ПКК не зможе забезпечити захист простору, що відведений для нього;

– при оптимальних значеннях тиску струмінь досягає максимальної довжини компактної частини та загальної максимальної довжини, таким чином забезпечуються умови успішного пожежогасіння;

– при високих значеннях тиску (наприклад, на нижніх поверхах висотних будівель) зі ствола практично з самого початку одержується розпорошений струмінь за рахунок високої турбулентності потоку, тобто зрошення відповідного простору.

При проведенні випробувань на водовіддачу пристроєм із заглушкою, тобто без зливу води, значення тиску, що вимірюються манометром, будуть мати завищені значення, відповідно, якщо їх використовувати для перерахунку у витрати води та за ними визначати довжину компактної частини струменя, можна прийти до помилкових висновків, які будуть мати трагічні наслідки. Розрахункові значення витрат води та довжини компактної частини струменя для стволів з різними насадками в залежності від тиску перед стволом та довжини рукава наведено на рис. 5.

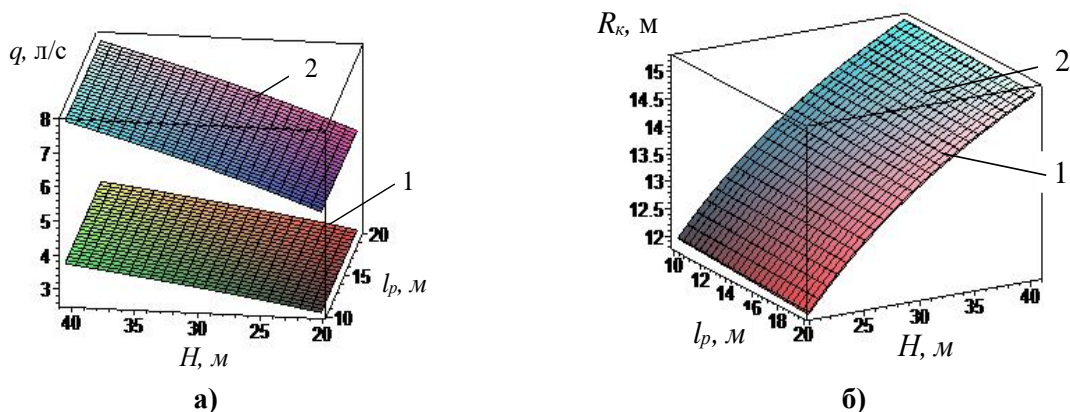


Рис. 5. Результати розрахунку витрат води (а) та довжини компактної частини струменя (б) з ПКК в залежності від тиску перед ПКК (H) та довжини рукава (l): 1 – для ствола з діаметром насадка 13 мм та діаметром рукава 51 мм; 2 – для ствола з діаметром насадка 19 мм та діаметром рукава 66 мм

Аналіз рис. 5 показує, що якщо перерахунок витрат води та компактної частини струменя виконувати за завищеними значеннями показань манометра, то висновок про водозабезпечення об'єкта та виконання умов успішного пожежогасіння буде зроблений неправильний. До того ж необхідно враховувати, що реальна довжина компактної частини струменя відносно до теоретичної буде ще меншою через опір повітря та кут нахилу ствола.

8. Обговорення результатів проведення випробувань на водовіддачу пристроєм побудованим за запропонованою схемою

Одним з напрямків забезпечення умов успішного гасіння пожежі в середині будівлі є перевірка працездатності ВПВ та визначення його фактичних робочих характеристик. Розглядаючи те, що важливим є подача достатньої кількості води та створення компактного струменя відповідної довжини від ПКК, можна зробити висновок про необхідність визначення точних значень тиску при проведенні випробувань на водовіддачу. При правильній організації випробувань, а саме при проведенні їх в години та в місці з найгіршими умовами водозабезпечення, на достовірність результату впливає тривалість проведення випробування, точність зняття показників та перерахунок їх у витрати води. Прилади, що на сьогодні використовуються при випробуваннях, мають похибку вимірювань за рахунок пульсацій. Виключення цього явища можливо подовженням часу проведення випробувань. Такий підхід веде до необґрунтованого збільшення кількості води, але не гарантує достовірність результату. Запропонована схема побудування приладу для випробувань на водовіддачу дозволяє збільшити точність вимірювань одночасно із зменшенням кількості води на проведення вимірювань, що робить саму процедуру більш зручною, а результати фактичними. За таких умов отримані результати показують фактичну кількість води, яку можна забрати з мережі та реально подати на гасіння пожежі, запропонований підхід може бути використаний при проведенні випробувань на водовіддачу внутрішнього протипожежного водопроводу, перерахунку вимірюваних величин у витрати води та оцінюванні результатів, що забезпечить успішне пожежогасіння.

9. Висновки

1. Запропоновано класифікацію приладів для проведення випробувань на водовіддачу за вимірюваною величиною. Визначено, що важливим є не лише точне використання приладу, а і проведення вимірювань в години та у місцях з найгіршим водозабезпеченням. Показано, що результат випробувань на водовіддачу не є фактичною кількістю води, яку можна забрати з мережі для цілей пожежогасіння, у випадку, коли при визначенні часу та місця проведення випробувань перевага віддається зручності процесу, а не створенню найгірших умов водозабезпечення під час випробувань. Також визначено, що для збільшення достовірності одержаних результатів проведення випробувань необхідно подовжувати у часі, що приводить до необґрунтованого збільшення витрат води при випробуваннях.

2. Досліджено зв'язок між показаннями манометра приладу при проведенні випробувань та витратами води в мережі. Розгляданням рівнянь Бернуллі та нерозривності потоку обґрунтовано достовірність результату при використанні трубки Піто, ствола-водоміра або пристрою "СВ", при цьому доведено, що результат буде відповідати фактичним витратам лише за умовою зливу води. Встановлено, що при використанні приладів без зливу води (така ситуація характерна для про-

ведення випробувань внутрішнього протипожежного водопроводу висотних будівель), манометр фіксує збільшені значення тиску, використання яких в розрахунках дає результат витрат води та довжини компактної частини струменю з пожежного кран-комплекту, якій не є фактичним, а його неправдивість у бік збільшення гарантує невиконання умов успішного пожежогасіння.

3. Запропонований спосіб вдосконалення пристрою для визначення водовіддачі мережі, в основу якого покладено схему побудування приладу для проведення випробувань з покращеними характеристиками: корпус пристрою має додатково встановлене кільце внутрішній об'єм якого зв'язаний з корпусом через отвори малого діаметру та манометром і працює як демпфер коливань тиску, нівелюючи стрибки стрілки манометра. Це дозволяє збільшити точність вимірювань одночасно із зменшенням кількості води на проведення вимірювань, що робить саму процедуру більш зручною, а результати розрахунків витрат води та довжини компактної частини струменю фактичними.

Отримані результати можуть бути використані при проведенні випробувань на водовіддачу внутрішнього протипожежного водопроводу, перерахунку виміряних величин у витрати води та оцінювання результатів з точки зору забезпечення умов успішного пожежогасіння.

Література

1. Петухова О. А., Андронов В. А., Горносталь С. А., Черепаха Р. Е. Протипожежне водопостачання : підручник . Харків : Друкарня Мадрид, 2022. 280 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18831>
2. Kim M., Kong H. Performance evaluation of outlet types in indoor fire hydrant systems. *Journal of Fire Sciences*. 2026. Vol. 44. № 2. P. 112–130. doi: 10.1177/07349041251413181
3. Basmanov O., Oliinyk V., Zemlianskyi O., Derevyanko O., Karpova, D. Building a model of water jet motion exiting a fire hose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 5. № 10(137). P. 77–86. doi: 10.15587/1729-4061.2025.341606
4. Fan Y., Hao A., Yang B. Optimization Analysis of Water Supply Mode for Fire Protection System of Super High Rise Building. *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. Vol. 2860. doi: 10.1088/1742-6596/2860/1/012029
5. Коваль Р. Р., Твердохліб О. С., Ємельяненко С. О., Серєда Д. В., Несенюк Л. П. Порівняльне дослідження міжнародних технічних вимог до пожежних кран-комплектів: сучасний стан та перспективи уніфікації. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2025. № 1(19). С. 129–141. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/25265>
6. Петухова О. А., Горносталь С. А., Щербак С. М. Визначення характеристик складових пожежних кран-комплектів виробничої будівлі. *Проблеми пожежної безпеки*. 2020. № 48. С. 130–135. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12311>
7. An Analysis of the Radiation Pressure of Hose Reel for Fire Hydrant. *Korea Science*. 2024. Vol. 26. № 4. P. 93–101. doi: 10.12812/ksms.2024.26.4.093
8. Петухова О. А., Горносталь С. А., Щербак С. М., Левенко С. М. Розробка підходу до розташування пожежних кран-комплектів в плані будівлі. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2021. № 34. С. 154–167. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14721>

9. Спосіб визначення забезпеченості об'єкта необхідною кількістю води на потреби пожежогасіння від зовнішнього водопроводу: пат. 155407 України: МПК А62С 32/20. Петухова О. А., Рибка Є. О. та ін.; власник НУЦЗ України. № u202301771; заявл. 17.04.2023; опубл. 28.02.2024, Бюл. № 9. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19905>

10. Петухова О. А. Особливості перевірки протипожежного водопроводу. Захист населення, територій та об'єктів критичної інфраструктури: освіта, наука, практика: матеріали II Міжнар. наук.-метод. конф. Київ: ДУ КАІ, 2025. 34 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/26057>

11. Пристрій для визначення водовіддачі водопровідних мереж: пат. 9520 У України: МПК G 08B 17/06. Петухова О. А. та ін.; власник Академія цивільного захисту України. № u20040907327; заявл. 07.09.2004; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/287147>

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

D. Kolesnikov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

V. Dahil, Senior Lecturer of the Department

O. Sipko, Senior Lecturer of the Department

L. Andriieva, Lecturer of the Department

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

JUSTIFICATION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE WATER OUTPUT OF AN INTERNAL FIRE-FIGHTING WATER PIPE

The devices for conducting tests on the water output of internal fire-fighting water supply were analyzed and it was determined that not only the accurate use of the device is important, but also the measurement at the hours and in places with the worst water supply. It was shown that the test result is not the actual amount of water for fire extinguishing, in the case when, when determining the time and place of testing, preference is given to the convenience of the process, rather than to creating the worst water supply conditions during the tests. It was also determined that to increase the reliability of the obtained results, it is necessary to extend the test period in time, which leads to an unjustified increase in water consumption during the tests. The relationship between the readings of the device's pressure gauge during the tests and the water consumption in the network was investigated. By considering the Bernoulli equations and the continuity of the flow, the reliability of the result when using devices with a pressure gauge was substantiated, and it was proved that the result will correspond to the actual consumption only under the condition of water drainage. It has been established that when using devices without water drainage, the pressure gauge records increased pressure values, the use of which in calculations does not give the actual result of water flow and the length of the compact part of the jet. A method of improving the device for determining the water output of the network is proposed, which is based on a scheme for constructing a device for conducting tests with improved characteristics that allow increasing the accuracy of measurements simultaneously with a decrease in the amount of water for measurements, which makes the procedure itself more convenient, and the results of calculations of water flow and the length of the compact part of the jet actual. The results obtained can be used when conducting tests on the water output of the internal fire-fighting water supply system and evaluating the results from the point of view of ensuring the conditions for successful fire extinguishing.

Keywords: internal fire water supply, fire hydrant set, water output, water consumption for fire extinguishing

References

1. Petukhova, O. A., Andronov, V. A., Hornostal, S. A., Cherepakha, R. E. (2022). Protypozhezhne vodopostachannia [Firefighting water supply: Textbook] Madrid Printing House, 280. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18831>

2. Kim, M., Kong, H. (2026). Performance evaluation of outlet types in indoor fire hydrant systems. *Journal of Fire Sciences*, 44(2), 112–130. doi: 10.1177/07349041251413181
3. Basmanov, O., Oliinyk, V., Zemlianskyi, O., Derevyanko, O., Karpova, D. (2025). Building a model of water jet motion exiting a fire hose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10 (137)), 77–86. doi: 10.15587/1729-4061.2025.341606
4. Fan, Y., Hao, A., Yang, B. (2024). Optimization analysis of water supply mode for fire protection system of super high rise building. *Journal of Physics: Conference Series*, 2860(1), 012029. doi: 10.1088/1742-6596/2860/1/012029
5. Koval, R. R., et al. (2025). Porivnialne doslidzhennia mizhnarodnykh tekhnichnykh vymoh do pozhezhnykh kran-komplektiv: suchasnyi stan ta perspektyvy unifikatsii [Comparative study of international technical requirements for fire hose reels: current state and prospects for unification]. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, (1), 129–141. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/25265>
6. Petukhova, O. A., Hornostal, S. A., Shcherbak, S. M. (2020). Vyznachennia kharakterystyk skladovykh pozhezhnykh kran-komplektiv vyrobnychoi budivli [Determining the characteristics of fire hose reel components in an industrial building]. *Fire Safety Problems*, (48), 130–135. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12311>
7. An analysis of the radiation pressure of hose reel for fire hydrant. (2024). *Korea Science*, 26(4), 93–101. doi: 10.12812/ksms.2024.26.4.093
8. Petukhova, O. A., et al. (2021). Rozrobka pidkhodu do roztashuvannia pozhezhnykh kran-komplektiv v plani budivli [Development of an approach to the location of fire hose reels in a building plan]. *Problems of Emergency Situations*, (34), 154–167. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14721>
9. Petukhova, O. A., Rybka, Ye. O., et al. (2024). Sposib vyznachennia zabezpechenosti obiektu neobkhidnoiu kilkistiu vody na potreby pozhezhogasinnaia vid zovnishnoho vodoprovodu [Method for determining the provision of an object with the required amount of water for firefighting needs from an external water supply system] (Ukrainian Patent No. 155407). State Register of Patents of Ukraine. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19905>
10. Petukhova, O. A. (2025). Osoblyvosti perevirky protyp Pozhezhnoho vodoprovodu [Features of checking the fire water supply system]. In *Zakhyst naselennia, terytorii ta ob'ektiv krytychnoi infrastruktury: osvita, nauka, praktyka* [Protection of the population, territories and critical infrastructure objects: education, science, practice]: Proceedings of the II International Scientific and Methodological Conference. State University of Aviation Infrastructure, 34. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/26057>
11. Petukhova, O. A., et al. (2005). Prystrii dlia vyznachennia vodoviddachi vodoprovodnykh merezh [Device for determining the water yield of water supply networks] (Ukrainian Patent No. 9520). State Register of Patents of Ukraine. Available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/287147>

Надійшла до редколегії: 10.03.2026

Прийнята до друку: 13.04.2026

Дата публікації (оприлюднення): 31.05.2026