

С. М. Бондаренко, к.т.н, доцент, доц. каф., НУЦЗУ,
О. М. Литвяк, к.т.н, доцент, доц. каф., НУЦЗУ,
М. М. Мурін, к.т.н, доцент, доц. каф., НУЦЗУ

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СПРАЦЬОВУВАННЯ СПРИНКЛЕРНИХ ПОВІТРЯНИХ СЕКЦІЙ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ

(представлено д.т.н. Абрамовим Ю. О.)

Розглянуто питання визначення часу виходу повітряної суміші з живлячого та розподільчого трубопроводів при спрацюванні спринклерних повітряних, водоповітряних та систем попередньої дії водяного пожежогасіння з урахуванням особливостей конструкції застосованих елементів.

Ключові слова: спринклерні системи водяного пожежогасіння, спринклерний зрошувач, живлячий трубопровід, розподільча мережа, робочий тиск, час виходу повітряної суміші.

Постановка проблеми. Розробка нових систем пожежогасіння та вдосконалення вже існуючих систем спричинила за собою зміну нормативної бази, що привело до зміни вимог до таких систем. При проектуванні необхідно урахувати усі обмеження, які накладаються на такі системи. В повітрянозаповненій системі спринклерного пожежогасіння проміжок часу між спрацюванням теплового замка спринклера та виходом води не повинен перевищувати 60 с [1], при цьому існують обмеження, щодо максимального об'єму розподільчого та живильного трубопроводів стосовно приміщень різних класів пожежної небезпеки. Отримання аналітичних залежностей, що пов'язують час спрацювання повітрянозаповненої спринклерної системи з параметрами трубопроводної мережі є актуальною задачею, що дозволяє вирішити проблему підвищення надійності та ефективності засобів протипожежного захисту об'єктів різного призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний момент питання проектування систем водяного пожежогасіння, сформульовані в [1–3]. Там же наведені і деякі рекомендації щодо визначення параметрів систем. Питання визначення максимально припустимих геометричних параметрів розподільчої мережі спринклерних повітряних секцій систем водяного пожежогасіння розглянуто в роботі [4]. В роботі [5] розглянуто питання визначення часу заповнення розподільчої мережі дренчерних систем водяного пожежогасіння в залежності від геометричних розмірів трубопроводу і параметрів насосу основного водоживлювача. Але фізичні процеси, що відбуваються при витіканні повітряної суміші із спринклерних повітряних систем, суттєво відрізняються від тих, що розглянуті у роботі [5].

Постановка завдання та його вирішення. При проектуванні трубопроводів спринклерних повітряних, водоповітряних систем та систем попередньої дії необхідно щоб час подавання води до зрошувачів, що спрацювали, не перевищував 60 с. Метою даної роботи є отримання ана-

літичних залежностей, що пов'язують час з об'ємом трубопроводу, кількістю спринклерних зрошувачів, що захищають розрахункову площу і тих, що спрацювали, тиском і температурою в трубопроводі.

Умовно схема роботи таких систем представлена на рис. 1.

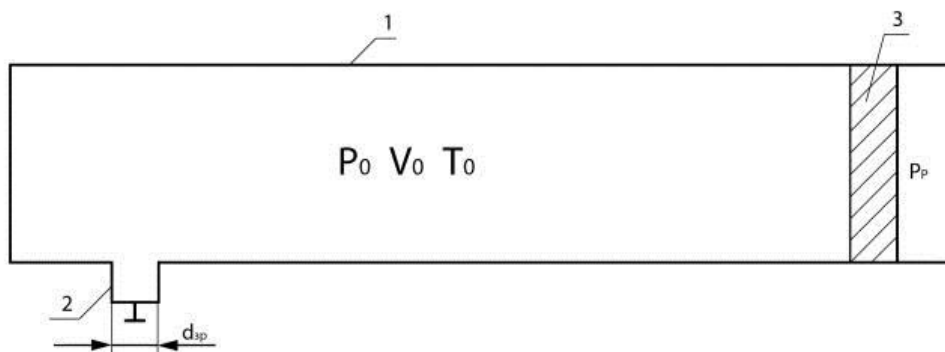


Рис. 1. Фізична модель трубопровідної мережі спринклерної системи: 1 – розподільчий та живлячий трубопровід; 2 – спринклерний зрошувач; 3 – вузол керування спринклерною системою пожежогашіння

Час заповнення трубопроводів водою буде складатися з двох фаз.

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2, \quad (1)$$

де t_1 – час, коли виходить повітря під тиском при постійному об'ємі та температурі, тобто тиск в системі є *var* (до спрацювання вузла керування); t_2 – час, коли виходить повітря при постійному тиску та температурі при змінному об'ємі (після спрацювання вузла керування).

Для першої фази лінійна динамічна модель може бути записана наступним чином:

рівняння нерозривності, що зв'язує зміну маси у часі:

$$M = M_0 - \frac{\partial M}{\partial t} dt. \quad (2)$$

Для визначення секундної витрати повітряної суміші скористаємось рівнянням Христиановича:

$$\dot{M} = \frac{dM}{dt} = m \cdot \frac{p^*}{\sqrt{T^*}} \cdot F \cdot q(\lambda), \quad (3)$$

де p^* – повний тиск повітряної суміші у трубопроводі; T^* – повна температура повітряної суміші; $q(\lambda)$ – наведена швидкість витікання повітряної суміші; F – сумарна площа випускних насадків спринклерних зрошувачів; m – постійний коефіцієнт, який для повітря приймає значення 0,0404.

Для повітряної суміші, що витікає з розподільчого трубопроводу:

$$p^* = p_0; T^* = T_0, \quad (4)$$

де p_0 ; T_0 – початкове значення тиску та температури повітряної суміші.

Для надкритичних перепадів, в критичному перетині:

$$q(\lambda) = 1. \quad (5)$$

Масу газу, який знаходиться у замкнутому об'ємі, визначаємо з рівняння Менделєєва–Клапейрона, що встановлює залежність між тиском, молярною масою і абсолютною температурою ідеального газу має вигляд:

$$M = \mu \cdot \frac{p \cdot V}{R \cdot T}, \quad (6)$$

де p – тиск; V – об'єм; T – абсолютна температура; R – універсальна газова постійна; μ – молярна маса газу.

З урахуванням початкових параметрів у замкнутому об'ємі розподільчого та живлячого трубопроводів рівняння (6) має вигляд:

$$M_0 = \mu \cdot \frac{p_0 \cdot V_0}{R \cdot T_0}. \quad (7)$$

Виходячи з припущення, що на першій фазі $T = T_0 = const$ та $V = V_0 = const$, у лінійному наближенні витрату маси газу можна записати як

$$\Delta M = \mu \cdot \frac{V_0}{R \cdot T_0} \cdot \Delta p. \quad (8)$$

З іншого боку

$$\Delta p = \frac{R \cdot T_0}{\mu \cdot V_0} \cdot \Delta M. \quad (9)$$

У відносних змінних рівняння (9) має вигляд:

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{R \cdot T_0}{\mu \cdot V_0} \cdot \frac{\Delta M}{M_0} \cdot \frac{M_0}{p_0}. \quad (10)$$

Або

$$\bar{p} = \frac{R \cdot T_0}{\mu \cdot V_0} \cdot \frac{M_0}{p_0} \cdot \bar{M}. \quad (11)$$

З урахуванням початкових умов введемо наступне позначення

$$k = \frac{R \cdot T_0}{\mu \cdot V_0} \cdot \frac{M_0}{p_0}. \quad (12)$$

Тоді у лінійній постановці отримуємо

$$\bar{p} = k \cdot \bar{M}. \quad (13)$$

Або у диференційному вигляді

$$\frac{d\bar{p}}{dt} = k \cdot \frac{d\bar{M}}{dt}, \quad (14)$$

$$\dot{\bar{p}} = k \cdot \dot{\bar{M}}. \quad (15)$$

Тоді рівняння Христиановича з урахуванням початкових умов у лінійній постановці має вигляд:

$$\frac{\Delta \dot{M}}{\dot{M}_0} = \frac{\Delta p^*}{p_0} + \frac{\Delta F}{F_0}, \quad (16)$$

де

$$\dot{M}_0 = \left(\frac{dM}{dt} \right)_0 = m \cdot \frac{p_0^*}{\sqrt{T_0^*}} \cdot F_0 \cdot q(\lambda_0);$$

ΔF – сумарна площа вихідних отворів кількості зрошувачів, що спрацювали; F_0 – сумарна площа вихідних отворів кількості зрошувачів на розрахунковій площі.

З урахуванням (11)–(13) залежність (16) у відносних змінних приймає вигляд (17)

$$\frac{1}{M_0} \cdot \dot{\bar{M}} + \frac{1}{p_0} \cdot \frac{R \cdot T_0}{\mu \cdot V} \cdot \bar{M} = -\frac{1}{M_0} \cdot \bar{F}, \quad (17)$$

де $\bar{M} = \frac{dM}{M_0}$ – відносна витрата; $\dot{\bar{M}} = \frac{(dM/dt)_0}{M_0}$ – швидкість відносної витрати.

Тоді у стандартному вигляді аналітична залежність між витратою повітряної суміші та площею становить

$$T_{mp} \cdot \dot{\bar{M}} + \bar{M} = -\bar{F}, \quad (18)$$

де $T_{mp} = \frac{\mu \cdot V_0}{m \cdot \sqrt{T_0^*} \cdot F_0 \cdot R}$ – постійна часу розподільчого та живлячого трубопроводів.

Час витоку повітряної суміші з трубопроводу визначається як

$$t_1 \approx 3T_{mp}. \quad (19)$$

Значення t_2 у формулі (1) визначається за методикою, яка розглянута у роботі [5].

Висновки. Даний підхід аналітичного визначення часу виходу повітряної суміші, який не повинен перевищувати $t_2 \leq 60c$, в спринклерних повітряних, водоповітряних системах та системах попередньої дії дозво-

ляе на етапі проектування сформулювати вимоги до геометричних параметрів розподільчого та живлячого трубопроводів цих систем пожежогасіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стационарные системы пожаротушения. Автоматические спринклерные системы. Проектирование, монтаж и техническое обслуживание 2012. С. 220. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=27980
2. Дренчерные системы. Проектирование, монтаж и техническое обслуживание 2013. С. 52. URL: <https://artezia.com.ua/uploads/documents/NCI/dstu/dstu-b-CEN-TS-14816-2013.pdf>
3. Автоматическая противопожарная защита объектов. Требования нормативных актов. Часть 1. Харьков: ХИПБ МВД Украины, 1999. С. 207.
4. Бондаренко С. Н., Мурин М. Н., Христин В. В. Определение параметров распределительной сети спринклерной воздушной секции системы водяного пожаротушения. Проблемы пожарной безопасности. Харьков: НУГЗУ, 2019. № 45. С. 17–21.
5. Мурин М. М. Методика определения времени заполнения трубопроводов дренчерных установок водяного пожаротушения. Проблемы пожарной безопасности. Харьков: НУГЗУ, 2014. № 35. С. 163–166.

Отримано редколлегією 10.01.2020

С. Н. Бондаренко, А. Н. Литвяк, М. Н. Мурин

Аналитическое определение времени срабатывания спринклерных воздушных секций систем водяного пожаротушения

Рассмотрен вопрос определения времени выхода воздушной смеси из питающего и распределительного трубопроводов при срабатывании спринклерных воздушных, водовоздушных и систем предварительного действия водяного пожаротушения с учетом особенностей конструкции применяемых элементов.

Ключевые слова: спринклерные системы водяного пожаротушения, спринклерный ороситель, питающий трубопровод, распределительная сеть, рабочее давление, время выхода воздушной смеси.

S. Bondarenko, O. Lytviak, M. Murin

Analytical operation time determination of water fire extinguishing systems sprinkler air sections

The issue of determining the time of air mixture exit from the supply and distribution pipelines in the operation of sprinkler air, water and fire extinguishing systems with consideration of the design features of the elements used is considered.

Keywords: sprinkler water extinguishing systems, sprinkler, supply pipeline, distribution network, operating pressure, air mixture outlet time.