

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЗЛА УПРАВЛІННЯ СПРИНКЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ

В сучасному світі недооцінка важливості пожежної безпеки в будівлях може коштувати не тільки значних матеріальних втрат, але й призвести до загибелі людей. Пожежі в будівлях викликають численні проблеми, включаючи різноманітні джерела займання, різноманітні механізми поширення вогню та складні евакуаційні та рятувальні операції. Для боротьби з ними вже понад сотню років застосовуються спринклерні системи водяного пожежогасіння. Наприклад, у Сполучених Штатах у період з 2015 по 2019 рік на об'єктах, обладнаних спринклерною системою пожежогасіння, рівень загибелі та травмування цивільного населення на одну пожежу був нижчим на 89% і 27% відповідно. Рівень ураження особового складу від пожеж був на 67% меншим. Протягом цього періоду спринклери спрацьовували в 92% будівельних пожеж і були ефективними в контролі пожежі 96% часу, коли вони працювали [1]. Але разом з тим, статистичні дані показують, що понад три чверті випадків, коли спринклерна система не спрацювала, пов'язані з недостатньою підтримкою системи в робочому стані, причому на відключення системи припадає 57% несправностей. Іншими словами, підтримка вузлів управління спринклерних систем в працездатному стані, значно знижує ризик втрати внаслідок пожежі [2]. Зменшення часу спрацьовування вузла управління спринклерної системи буде сприяти зменшенню часу реагування системи на загоряння. Для зменшення інерційності вузла управління необхідно дослідити його математичну модель.

При побудові математичної моделі вузла управління спринклерної водозаповненої системи враховані наступні припущення: рух клапану обмежений в нижній та в верхній точках за допомогою конструктивних особливостей корпусу вузла управління, не враховуються гідравлічні сили, викликані зміною напрямку руху та виду руху водяної маси.

Диференційне рівняння, що описує рух тарільчатого клапана в корпусі вузла управління спринклерної системи має вигляд [3]:

$$m \cdot \ddot{x} = \left(P_1 \cdot A(x) - P_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} - \beta \cdot \dot{x} - m \cdot g - (h - x) \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot \rho \cdot g \right). \quad (1)$$

де m – маса клапану, P_1 – постійний тиск в живильному трубопроводі; $A(x)$ – площа поверхні клапану, що залежить від його розташування; P_2 – тиск в розподільчому трубопроводі; d_2 – діаметр клапану; β – коефіцієнт опору руху води по трубопроводу; g – прискорення вільного падіння; h – положення клапана у відкритому стані, ρ – щільність води за нормальних умов, x – поточна координата розташування клапану.

Враховуючи те, що в сталому режимі, виконується залежність:

$$P_1 \cdot S_1 = P_2 \cdot S_2 - m \cdot g - (h - x) \cdot S_2 \cdot \rho \cdot g,$$

де S_2 – площа поверхні клапану з боку живильного трубопроводу, коли вузол управління закритий, S_1 – площа поверхні клапану з боку розподільчого трубопроводу.

Математична модель (1) може бути представлена у вигляді:

$$T^2 \cdot \ddot{x} + 2 \cdot T \cdot \zeta \cdot \dot{x} + x = K \cdot y, \quad (2)$$

де $T = \sqrt{\frac{m}{S_2 \cdot \rho \cdot g}}$ – постійна часу, $\zeta = \frac{\beta}{2\sqrt{m \cdot S_2 \cdot \rho \cdot g}}$ – декремент загасання,

$K = \frac{P_2}{\rho \cdot g}$ – коефіцієнт передачі.

Застосовуючи до виразу (2) інтегральне перетворення Лапласу, отримаємо передаточну функцію вузла управління спринклерної системи водяного пожежогасіння:

$$W(s) = \frac{K}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot T \cdot s + 1},$$

де s – комплексна змінна Лапласа.

Підставивши до виразу декременту загасання ζ значення маси клапану, площі поверхні клапану збоку розподільчого трубопроводу та решти фізичних величин, отримаємо таке значення декременту, що дозволяють ідентифікувати перехідний процес, який виникає в вузлі управління при спрацьовуванні спринклерного зрошувача і падіння тиску, як аперіодичний. Тому одиничну перехідну функцію (ОПФ) клапану можна описати виразом [4]:

$$h(t) = K \cdot \left[1 - e^{-\frac{\zeta}{T} \cdot t} \left(\frac{\zeta}{\alpha} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{T} \cdot t\right) + \cos\left(\frac{\alpha}{T} \cdot t\right) \right) \right],$$

де $\alpha = \sqrt{1 - \zeta^2}$.

За отриманою залежністю побудуємо графік ОПФ та дослідимо вплив маси клапану та площі його поверхні на інерційність вузла управління.

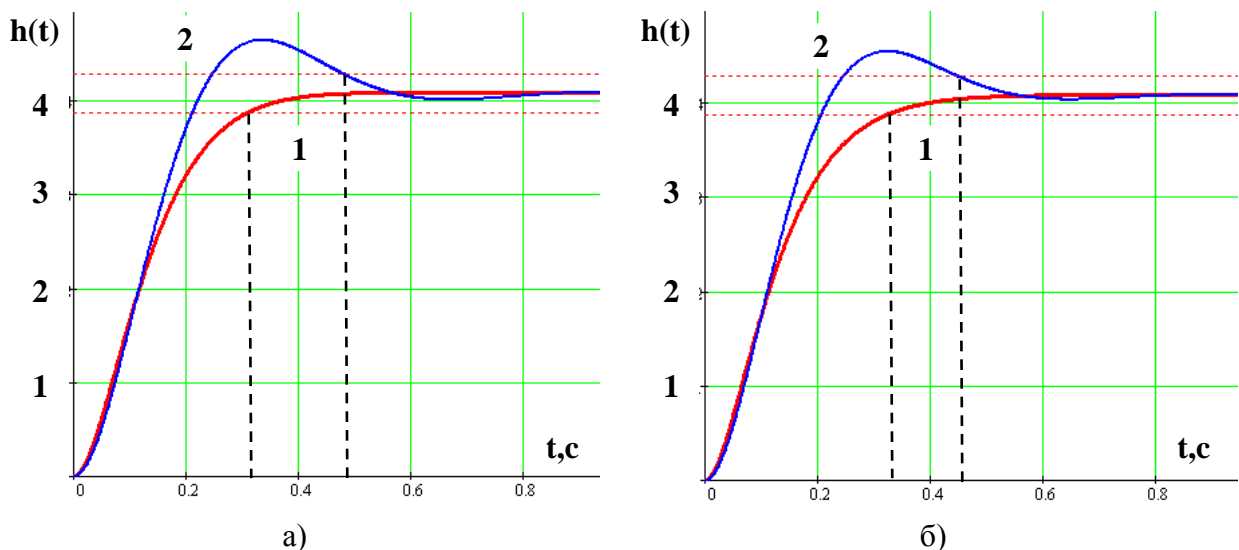


Рис. 1. Часові характеристики вузла управління водяної спринклерної системи пожежогасіння: а) для клапана виготовленого з ковкого чавуну; б) для клапана виготовленого з бронзи (1 – діаметр клапана 100 мм, 2 – діаметр клапана 150 мм)

За отриманими графіками ОПФ, визначимо тривалість перехідного процесу в вузлі управління при спрацьовуванні спринклерної системи. Незалежно від матеріалу, з якого виготовлено клапан, збільшення діаметру вузла управління призводить до зростання інерційності спрацьовування в межах 36 – 60 %.

Найменший час спрацьовування буде у вузла управління спринклерної системи з діаметром 100 мм клапан, якого виготовлений з бронзи. У вузлах управління діаметром 150 мм з бронзовим клапаном інерційність спрацьовування збільшується на 60%. Застосування ковкого чавуну в якості матеріалу для виготовлення клапану, дозволить знизити інерційність спрацьовування вузла управління діаметром 150 мм на 10 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ahern M. Research US Experience with Sprinklers. NFPA Oct 2021. URL: <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/us-experience-with-sprinklers>
2. Leavitt R. Fire sprinkler and other water-based suppression systems: a little maintenance goes a long way. International fire protection. 2020. Vol. 6. P. 25–27. URL: <https://ifpmag.com/fire-sprinkler-and-other-water-based-suppression-systems-a-little-maintenance-goes-a-long-way/>
3. Бондаренко С.М., Барчан О.О. Розробка рекомендацій до покращення динамічних характеристик вузла управління спринклерної установки водяного пожежогасіння з водосигнальним клапаном // Проблеми пожежної безпеки. 2006. Вип. 18. С. 20–24.
4. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: Підручник. 2-ге вид., перер. і доп. / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007.– 656с.

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
S. Bondarenko, PhD, Associate Professor of the Department, National University of Civil
Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

A. Klokova, master's degree, National University of Civil
Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

STUDY OF THE TIME CHARACTERISTICS OF THE CONTROL UNIT OF THE WATER FIRE EXTINGUISHING SPRINKLER SYSTEM

In the work, a mathematical model was obtained that describes the dynamics of the movement of the poppet valve in the body of the control unit of the water sprinkler fire extinguishing system. A unit transient function was constructed and a study of the change in the duration of the transient process in the control unit for different diameters of the valve and the type of material from which the valve is made was carried out.