

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

БАЛЛО ЯРОСЛАВ В`ЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 614.841.45

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ВОДЯНОГО  
ПОЖЕЖОГАСІННЯ ВИСОТНИХ БУДИНКІВ**

21.06.02 – пожежна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту (УкрНДІЦЗ) ДСНС України (м. Київ).

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Сізіков Олександр Олександрович**, провідний науковий співробітник УкрНДІЦЗ ДСНС України (м. Київ)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Кириченко Оксана Вячеславівна**, начальник кафедри пожежно-профілактичної роботи Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля (м. Черкаси)

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Дунюшкін Володимир Олександрович**, науково-виробниче об'єднання «Фактор», начальник відділу автоматизованих систем пожежогасіння (м. Київ)

Захист відбудеться 3 листопада 2017 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності ДСНС України (79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35).

Автореферат розіслано «02» жовтня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., доцент



В.М. Баланюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** За статистичними даними за період з 2012 по 2016 р.р. у висотних будинках України виникло 295 пожеж, які призвели до загибелі 40 людей. В будинках з умовною висотою вище 73,5 м системи пожежогасіння, а саме системи внутрішнього протипожежного водопроводу та спринклерні системи пожежогасіння (далі - СП), згідно з вимогами будівельних норм проектуються роздільно від господарсько-питного водопроводу та знаходяться водозаповненими під тиском для зменшення інерційності спрацювання при виникненні пожежі. Особливістю експлуатації водозаповнених СП є те, що вода, яка знаходиться в них (міжрегламентний термін обслуговування СП складає до 180 діб), фактично не циркулює, що спричиняє такі негативні явища, як корозію та біологічне заростання внутрішніх стінок трубопроводної мережі. Це обумовлює збільшення втрат напору води, додаткове навантаження на пожежну насосну станцію будинку та, як наслідок, можливість відсутності нормативного тиску в пожежних кран-комплектах та (або) спринклерних зрошувачах, що негативно впливає на ефективність пожежогасіння або може призвести до відмови СП.

Дослідження утворення біологічного заростання та корозії під час експлуатації систем внутрішнього водопроводу та інших водозаповнених систем викладено в роботах Сауткіної Т.Н., Савченко О.В., Косінова В.П., Paul Su, Fuller D., Clarke B. Значний обсяг наукових досліджень щодо проектування зонованих СП та особливостей їх застосування наведено у роботах Башаричева А.В., Динь К.Х., Shapiro P. Ці роботи в цілому спрямовані на підвищення ефективності СП шляхом удосконалення схеми компонування насосного обладнання методом їх зонованого проектування, захисту цілісності трубопроводу від корозії та вібрації.

Наукові дослідження, спрямовані на підвищення вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин (далі - ВВР) та систем водяного пожежогасіння шляхом застосування модифікувальних добавок, наведено в роботах Білкуна Д.Г., Антонова А.В., Тропінова О.Г., Жартовського В.М., Боровикова В.О., Козяра Н.М., Сізікова О.О., Корольченка А.Я., Тарахно О.В., Абрамова Ю.О., Ковалишина В.В., Дунюшкіна В.О., Ніжника В.В., Огурцова С.Ю., Кирєєва О.О. та ін..

Проте слід відзначити, що в наведених роботах не досліджувалась особливість експлуатації СП, розділених від господарсько-питного водопроводу у висотних будинках та не розглядалось питання запобігання такому негативному явищу як збільшення втрат напору в трубопроводній мережі СП внаслідок корозії та біологічного заростання внутрішніх стінок трубопроводу.

У зв'язку з вище наведеним, розкриття закономірностей впливу модифікувальних добавок до води на ефективність роботи систем водяного пожежогасіння висотних будинків є важливою науковою задачею, розв'язання якої створить передумови підвищення ефективності цих систем.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась відповідно до Концепції Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 р.р., схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 29.12.2010 року № 2348; Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 р.р.,

затвердженої постановою Кабінету міністрів України від 27.06.2012 № 590, під час виконання науково-дослідної роботи в УкрНДЦЗ «Провести дослідження щодо удосконалення законодавчих, нормативно-правових актів та нормативних документів з питань технічного регулювання у сферах пожежної та техногенної безпеки (№ держреєстрації 0115U000189), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

**Ідея роботи** полягає у підвищенні ефективності роботи систем водяного пожежогасіння висотних будинків шляхом застосування в них водної вогнегасної речовини з модифікувальними добавками, яка запобігає збільшенню втрат гідравлічного напору в трубопровідних мережах внаслідок біологічного заростання, а також має кращі показники вогнегасної здатності ніж вода.

**Мета роботи** – розкриття закономірностей впливу модифікувальних добавок до води на ефективність роботи систем водяного пожежогасіння у висотних будинках.

Для досягнення поставленої мети було визначено та поставлено до розв'язання такі задачі досліджень:

- проаналізувати сучасний стан протипожежного захисту висотних будинків, особливості проектування систем пожежогасіння в них, досвід розроблення водних вогнегасних речовин та виявити шляхи підвищення ефективності їх застосування у системах пожежогасіння;

- розробити методики проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу модифікувальних добавок до води на ефективність роботи роздільних від господарсько-питного водопроводу СП;

- провести експериментальні дослідження з визначення впливу модифікувальних добавок до води на хімічні показники її якості під час перебування в сталевому трубопроводі СП, на інтенсивність процесів корозії та біологічного заростання водозаповненого трубопроводу, а також на гідравлічні втрати напору під час руху ВВР в трубопроводі;

- провести експериментальні лабораторні дослідження з визначення впливу модифікувальних добавок до води на відносну вогнегасну ефективність гасіння вогнищ пожеж класів А та В;

- провести натурні полігонні експериментальні дослідження з визначення ефективності системи водяного пожежогасіння спорядженої запропонованою ВВР;

- розробити пропозиції до положень ДСТУ Б В.1.1-43:2016 «Протипожежний захист громадських будинків з умовною висотою від 100 м до 150 м» в частині проектування систем водяного пожежогасіння з урахуванням отриманих результатів досліджень.

**Об'єкт дослідження** – процеси, які впливають на ефективність роботи систем водяного пожежогасіння у висотних будинках.

**Предмет дослідження** – вплив модифікувальних добавок до води на ефективність роботи систем водяного пожежогасіння у висотних будинках.

**Методи дослідження.** В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань розроблення і застосування роздільних від господарсько-питного водопроводу систем водяного пожежогасіння для протипожежного захисту висотних будинків; метод оптичної мікроскопії для визначення дисперсності краплин; гравіметричний метод

визначення швидкості корозії за втратою маси сталевих пластин, занурених у досліджувані водні розчини; стандартизовані методики визначення хімічних показників якості води (рН-метрія, кріоскопія, вміст заліза, потенціометрія, показник окиснення) із застосуванням метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів.

Відносну вогнегасну ефективність водних вогнегасних речовин у разі гасіння у лабораторних умовах тонкорозпиленими струменями макетних вогнищ класу В оцінювали як співвідношення критичних інтенсивностей їх подавання, класу А – як співвідношення витрачених об'ємів води та об'ємів водних вогнегасних речовин на гасіння макетного вогнища.

Вплив модифікувальних добавок до води на гідравлічні втрати напору в системі пожежогасіння досліджено за стандартизованим методом порівняння значень коефіцієнту витрати спринклерного зрошувача (К-фактор).

Ефективність системи спринклерного пожежогасіння проводили у полігонних умовах із застосуванням метрологічно-атестованого обладнання та повірених засобів вимірювання, а також модельного вогнища пожежі 13А, регламентованого за ДСТУ EN 3-7: 2014.

Математичні і статистичні методи обробки результатів експериментальних досліджень здійснювались із використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel, ImageJ, Obrobdisp, Дисперсність-3.

#### **Основні наукові положення та їхня новизна.**

Наукова новизна роботи полягає у розкритті закономірностей впливу модифікувальних добавок до води на ефективність роботи систем водяного пожежогасіння висотних будинків. При цьому:

- уперше виявлено, що заповнення трубопроводної мережі, роздільної від внутрішнього господарсько-питного водопроводу, системи водяного пожежогасіння запропонованою водною вогнегасною речовиною з вмістом 1% мас бінарної суміші силікату натрію та карбонату калію за їх мольного співвідношення 1:1 знижує інтенсивність процесу корозії та біологічного заростання внутрішньої поверхні трубопроводу, що запобігає збільшенню втрат гідравлічного напору та зниженню ефективності протипожежного захисту висотних будинків при довготривалій експлуатації зазначених систем пожежогасіння;

- уперше виявлено ефект синергізму під час гасіння твердих матеріалів та горючих рідин тонкорозпиленими струменями запропонованої водної вогнегасної речовини з вмістом 1% (мас) бінарної суміші силікату натрію та карбонату калію за їх мольного співвідношення 1:1, який проявляється у неадитивному підвищенні значень відносної вогнегасної ефективності у 2,2 рази для класу А та 2,7 рази для класу В, порівняно із значеннями ефективності в 1,3-1,8 рази для окремих розчинів запропонованих модифікувальних добавок;

- набуло подальшого розвитку уявлення щодо можливості та доцільності застосування окремого виду водних вогнегасних речовин комплексної дії з модифікувальними добавками цільового призначення;

- удосконалено емпіричну формулу розрахунку лінійних гідравлічних втрат напору у системі внутрішнього протипожежного водопроводу, що враховує змінення швидкості біологічного заростання трубопроводної мережі системи пожежогасіння та

клас забруднення водної вогнегасної речовини, якою вона споряджена залежно від терміну її експлуатації.

**Практичне значення і реалізація отриманих результатів** полягає у розкритті особливостей експлуатації та підвищенні ефективності роботи системи водяного пожежогасіння висотних будинків, шляхом її спорядження водною вогнегасною речовиною цільового призначення, як для збереження гідравлічних параметрів системи так і для підвищення її вогнегасної ефективності.

Результати дисертаційної роботи використанні при розробці вимог до національного стандарту України ДСТУ Б В.1.1-43:2016 «Протипожежний захист громадських будинків з умовною висотою від 100 м до 150 м», в частині проектування систем водяного пожежогасіння у висотних будинках.

**Особистий внесок здобувача** полягає в участі у формулюванні ідеї роботи, визначенні мети і завдань досліджень, об'єкту та предмету досліджень, самостійному аналізі вітчизняних та закордонних джерел інформації, удосконаленні та розробленні методик досліджень та обладнання, проведенні експериментальних досліджень та обробленні їх результатів, формулюванні та узагальненні висновків. Участь автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведено в списку опублікованих праць за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на міжнародних та національних науково-практичних конференціях, а саме:

- IV Міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (Черкаси, 2014).
- VII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 2016).
- XVIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту в Україні: перспективи та шляхи європейського простору» (м.Київ, 2016).
- Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (м. Львів, 2016).

**Публікації.** Основний зміст роботи викладено в п'яти наукових статтях, віднесених до переліку фахових, одній статті у виданні, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, ICI Journals Master List та одній статті у іноземному виданні.

Результати досліджень також висвітлено у п'яти матеріалах та тезах міжнародних та національних науково-практичних конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 118 найменувань, містить 200 сторінок друкованого тексту, 20 таблиць, 37 рисунків, 5 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено актуальність, мету, ідею дисертаційної роботи, задачі, об'єкт і предмет досліджень, відображено наукову новизну отриманих результатів, дані щодо апробації, а також публікації її результатів.

У **першому розділі** наведено результати аналізу даних про статистику пожеж у висотних будинках, особливості проектування СП, стан протипожежного захисту висотних будинків України системами пожежогашіння. Встановлено, що через конструктивні особливості таких будинків, зокрема умовну висоту вище 73,5 м, обмежену кількість у містах спеціальної пожежно-рятувальної техніки для захисту висотних будинків та недостатню ефективність роботи СП, більшість пожеж, які виникали, не вдавалося загасити на початковій стадії їх виникнення, що призводило до суттєвих ризиків для життя людей, втрати майна та деформації конструкції самих будинків.

Розглянуто схемно-компонувальні рішення СП та виявлені недоліки водозаповненої зонованої системи внутрішнього протипожежного водопроводу роздільного від господарсько-питного водопроводу, які призводять з часом до відсутності у верхній поверховій зоні висотного будинку нормативного тиску води у пожежних кран-комплектах та спринклерних зрошувачах, які входять до складу СП.

Встановлено, що на сьогоднішній день вимоги нормативних документів не враховують особливості експлуатації СП, технічного обслуговування та проведення регламентних робіт.

На основі аналізу інформативних джерел, запропоновано у СП висотних будинках використовувати воду з модифікувальними добавками: по-перше, для захисту внутрішніх стінок трубопроводу від негативних явищ біологічного заростання та корозії під час експлуатації СП в режимі чергування (що може тривати 180 діб до моменту проведення регламентних робіт), та спричиняють підвищені гідравлічні втрати напору у системі, а по-друге, для підвищення ефективності застосування СП при гасінні пожежі.

За результатом аналітичних досліджень щодо вибору модифікувальних добавок до води придатних для використання у роздільних СП для підвищення її ефективності запропоновано використання рідкого натрієвого скла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), яке має високий показник адгезії зі сталлю та забезпечує захист металу водозаповнених трубопроводних мереж СП від корозії. Визначено, що при силікатній обробці води, феросилікат ( $\text{Na}_2\text{SiO}_2 \cdot \text{FeO}(\text{OH})_3$ ) закріплює на металі продукти корозії, заповнює дефекти на його поверхні та знижує швидкість утворення біологічного заростання створюючи суцільну захисну плівку.

Підвищення вогнегасної ефективності СП запропоновано досягти шляхом спорядження її ВВР з додаванням карбонату калію ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), як загально відомого ефективного інгібітора горіння. Аналіз даних щодо властивостей карбонату калію показав, що  $\text{K}_2\text{CO}_3$  легко розчиняється у воді та взаємодіє з солями натрію не знижуючи їх захисних властивостей для вуглецевої сталі.

Аналітичні дослідження показали, що зазначеним вимогам до спорядження СП ВВР, відповідає бінарний водний розчин силікату натрію та карбонату калію.

Наукова ідея виконання дисертаційної роботи полягає в обґрунтуванні застосування модифікувальних добавок до води для підвищення ефективності роботи роздільних від господарсько-питного водопроводу систем водяного пожежогасіння та удосконалення протипожежного захисту висотних будинків.

У другому розділі наведено методики теоретичних та експериментальних досліджень з визначення чинників впливу модифікувальних добавок до води на підвищення відносної вогнегасної ефективності системи пожежогасіння, а саме:

- методику визначення швидкості біологічного заростання на внутрішніх стінках трубопроводу в СП заповненій досліджуваними зразками ВВР;

- методику визначення впливу модифікувальних добавок до води на гідравлічні втрати напору у трубопроводі під час її руху;

- методику виявлення впливу модифікувальних добавок до води на підвищення вогнегасної ефективності систем водяного пожежогасіння під час гасіння макетних вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями у лабораторних умовах;

- методику дослідження дисперсності крапель у струменях тонкорозпиленої водної вогнегасної речовини.

Розроблено методики з визначення відносної вогнегасної ефективності під час гасіння макетних вогнищ класу А в лабораторних та натурних умовах системами водяного пожежогасіння.

Наведено удосконалену методику для пожежних насосних станцій з визначення лінійних втрат напору у трубопроводній мережі СП під час проведення регламентних робіт. За результатами аналітичних досліджень запропоновано удосконалене рівняння на основі емпіричної формули Дарсі-Вейсбаха (1) з визначення лінійних втрат напору ( $h_{л.в}$ , м) в трубопроводній мережі СП в залежності від терміну її експлуатації та класу забруднення ВВР:

$$h_{л.в} = \lambda \frac{l}{d_p - z \cdot t} \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

де  $l$  – довжина розрахункової ділянки, м;

$d_p$  – розрахунковий внутрішній діаметр труби, м;

$v$  – швидкість руху води, м/с;

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

$z$  – абсолютний приріст біологічного заростання, визначається за табличними даними в залежності від хімічних показників якості води, м/рік.

$t$ , (роки) – термін експлуатації трубопроводу.

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя, залежить від режиму руху води (турбулентного або ламінарного) та відносної шорсткості трубопроводу, яка в свою чергу залежить від наявності та величини значень корозії та/або біологічного заростання.

Для формули (1) коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  запропоновано розраховувати за удосконаленою формулою:

$$\lambda = \frac{0.0179}{(d_p - z \cdot t)^{0.3}} \left( 1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3}. \quad (2)$$



Введення в рівняннях (1-2) емпіричного коефіцієнту  $z$ , який залежить від  $t$  дозволить врахувати реальні зміни гідравлічних параметрів водозаповненого трубопроводу з часом його експлуатації, які змінюється через поступове утворення біологічного наростання на його внутрішніх стінках.

Запропоновані рівняння (1-2) можуть використовуватись під час проведення регламентних робіт на пожежних насосних станціях для більш точного визначення гідравлічних втрат напору у СП та забезпечення нормативних витрат та напорів води з врахуванням терміну її експлуатації.

Із використанням запропонованих емпіричних формул (1-2) розроблено модель з визначення зміни ефективності СП, роздільної від господарсько-питного водопроводу, в залежності від терміну її експлуатації (5, 10 та 15 років) та класу забруднення ВВР, яким заповнена СП.

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень з виявлення впливу модифікувальних добавок ВВР на гідравлічні характеристики водопровідної мережі СП.

Дослідження впливу модифікувальних добавок до води на основі  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  і  $\text{K}_2\text{CO}_3$  на швидкість утворення біологічного заростання на внутрішніх стінках сталевого трубопроводу СП з часом проводилося шляхом порівняння хімічних показників якості (окиснюваність, вміст заліза, окислювально-відновлювальний потенціал, загальний солевміст та рН) у зразках досліджуваної ВВР та води без модифікувальних добавок після перебування їх у трубопроводі.

Кожен із трьох зразків ВВР в серії був законсервований в лабораторних умовах у фрагментах попередньо продезінфікованих сталевих труб, які відповідають ГОСТ 3262-75. Терміни проведення експериментальних досліджень склали: 45 дів, 100 дів та 220 дів. По завершенню зберігання серій досліджуваних зразків за кожним періодом часу, труби розконсервовувалися, а досліджувані розчини проходили хімічний аналіз в лабораторії. В таблиці 1 наведено середні значення результатів зазначених досліджень з трьох зразків ВВР із середньоквадратичним відхиленням.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень з визначення показників якості води та досліджуваних зразків ВВР

Серії досліджуваних види зразків ВВР	Значення хімічних показників якості ВВР														
	Перманганатна окиснюваність, мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$ ( $\pm 0,1$ )			Вміст заліза заг., мг/л ( $\pm 0,5$ )			Загальний вміст солей, мг/л ( $\pm 1$ )			ОВП, мВ ( $\pm 1$ )			рН ( $\pm 0,05$ )		
Термін, дів	45	100	220	45	100	220	45	100	220	45	100	220	45	100	220
№1 Вода питна ДСТУ 7525:2014	17,6	41,6	46,0	35,3	89,2	92,4	180	143	252	164	250	218	8,07	6,91	7,33
№2 Вода дистильована без добавок	16,3	25,2	40,8	21,7	25,6	31,5	56	19	125	251	252	235	7,70	7,22	6,76
№3 Вода з 0,03% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мол. співв. 1:1	15,8	25,8	27,2	13,9	13,5	13,1	578	374	820	122	128	84	11,17	9,72	10,24
№4 Вода з 0,5% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мол. співв. 1:1	12,5	22,0	23,6	12,7	10,3	9,8	1610	482	1920	61	131	65	11,66	10,15	10,81
№5 Вода з 1,0% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мол. співв. 1:1	4,8	19,2	22,0	1,1	3,1	5,5	1550	1550	2130	60	73	17	11,63	10,83	10,99

За результатами отриманих даних хімічних аналізів ВВР та води без модифікувальних добавок встановлено, що через 45 діб вода, що перебуває у закритому сталевому трубопроводі, не відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 та за нормативними критеріями належить до 5 класу забруднення з найбільшим корозійним потенціалом та, відповідно до «Методичних рекомендацій з визначення технічного стану систем теплового, гарячого, холодного водопостачання» матиме щорічний приріст біологічного заростання трубопроводу в межах 0,6-3,0 мм/рік, що впливатиме на зменшення пропускної спроможності трубопроводу та збільшення гідравлічних втрат напору.

За результатом комплексного аналізу відзначено, для зразків ВВР 1% розчину бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  за мольного співвідношення 1:1 (серія №5), помірну динаміку збільшення показників перманганатної окиснюваності, вмісту заліза та окисно-відновлювальний потенціал у порівнянні із аналогічними показниками для води без модифікувальних добавок. Виявлено, що показники якості для зразків вищезазначеної серії, зберігаються в 1,5 разів краще за показником окиснюваності та вдвічі краще за показником вмісту заліза у порівнянні із водою без добавок. Це впливає на сповільнення процесів біологічного заростання внутрішніх стінок трубопроводу, корозії та зменшення значення шорсткості трубопроводу, що в свою чергу впливає на зменшення значення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  та гідравлічні втрати напору у такому трубопроводі.

На рис. 1 наведено графік залежності зміни з часом у ВВР та воді насиченості органічними речовинами (забруднювачами) для основних досліджуваних серій зразків ВВР.

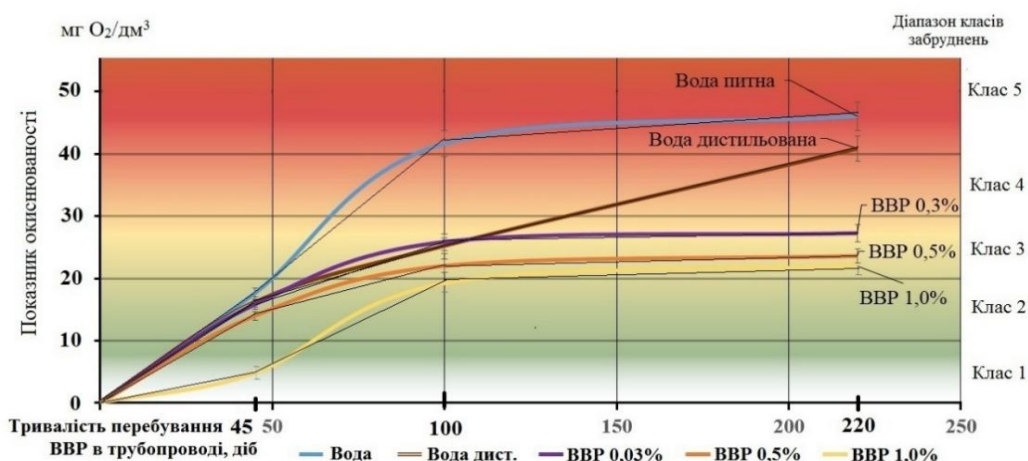


Рис. 1. Графік вмісту кисню та насиченості ВВР органічними речовинами (забруднювачами) для основних досліджуваних серій зразків від тривалості перебування ВВР в трубопроводі

В таблиці 2 наведено значення абсолютного приросту біологічного заростання внутрішніх стінок трубопроводу для досліджуваних зразків ВВР в залежності від терміну їх перебування в трубопроводі

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень з визначення абсолютного приросту біологічного заростання внутрішніх стінок трубопроводу для досліджуваних зразків ВВР в залежності від терміну їх перебування в трубопроводі

Термін перебування ВВР в трубопроводі, діб	Межі значень абсолютного приросту біологічного заростання, мм/рік				
	Вода питна ДСТУ 7525:2014	Вода дистильована без добавок	Вода з 0,03% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мол. співв. 1:1	Вода з 0,5% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мол. співв. 1:1	Вода з 1,0% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мол. співв. 1:1
45	0,12-0,18	0,1-0,14	0,08-0,15	0,07-0,14	0,012-0,032
100	0,62-1,3	0,22-0,31	0,24-0,32	0,18-0,25	0,11-0,17
220	2,3-2,7	0,47-0,62	0,25-0,34	0,25-0,34	0,19-0,26

За результатом лабораторних досліджень встановлено, що для зразків 1% ВВР бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  за мольного співвідношення 1:1, через 220 діб перебування в закритому металевому трубопроводі належить до 3 класу забруднення з помірним корозійним потенціалом та щорічним приростом біологічного заростання трубопроводу в межах 0,19-0,26 мм/рік, у порівнянні із значенням 2,3-2,7 мм/рік для води без добавок.

Проведено експериментальні дослідження з визначення корозійної активності досліджуваних зразків ВВР відносно вуглецевої сталі марки Ст3. Суть методу полягала у визначенні середньої швидкості втрати маси з одиниці площі металевих пластин під час їх експонування у досліджуваних зразках водних розчинів вогнегасних речовин.

Середню питому швидкість втрати маси пластини  $V_{\text{пл}}$  кг/(м<sup>2</sup>·год) розраховували за формулою:

$$V_{\text{пл}} = \frac{P}{S \cdot t}, \quad (3)$$

де  $P$  – втрата маси пластини, кг,

$S$  – площа поверхні контакту пластини з ВВР, м<sup>2</sup>,

$t$  – тривалість експозиції пластини в розчині ВВР, год ( $t=720$  год).

Результати експериментальних досліджень з визначення корозійної активності досліджуваних зразків ВВР наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати експериментальних досліджень визначення корозійної активності для досліджуваних зразків ВВР

Фізико-хімічна характеристика ВВР	Вид ВВР			
	Вода питна ДСТУ 7525:2014	Вода з 1% вмістом $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	Вода з 1% вмістом $\text{K}_2\text{CO}_3$	Вода з 1,0% розчинами $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ та $\text{K}_2\text{CO}_3$ за мольного співв. 1:1
Корозійна активність, кг/(м <sup>2</sup> ·год)	$6,94 \cdot 10^{-8}$	$1,65 \cdot 10^{-8}$	$6,38 \cdot 10^{-8}$	$1,67 \cdot 10^{-8}$

Результати експериментальних досліджень показали, що значення корозійної активності для 1% розчину бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  за мольного співвідношення 1:1 у 3,1 рази менше порівняно з водою без добавок.

Проведено експериментальні дослідження впливу модифікувальних добавок до води на гідравлічний опір нового сталевого трубопроводу та трубопроводом демонтованим з СП із перевищеним гарантованим терміном експлуатації. Експериментальні дослідження проводились при ламінарному режимі руху ВВР та за таких гідравлічних параметрів: умовний діаметр трубопроводу – 25 мм, витрата води – 2,5~2,9 л/хв, швидкість потоку – 0,13-0,16 м/с. Результати досліджень наведено в таблиці 3.

Таблиця 3.

Результати експериментальних досліджень з виявлення впливу модифікувальних добавок до води на значення витрати ВВР та гідравлічного опору трубопроводу

Гідравлічні параметри	Трубопровід сталевий, новий		Трубопровід сталевий, з перевищеним гарантованим терміном експлуатації	
	Вода без модифікувальних добавок	Вода з 1% розчинами $\text{K}_2\text{CO}_3$ та $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ за мольного співвідношення 1:1	Вода без модифікувальних добавок	Вода з 1% розчинами $\text{K}_2\text{CO}_3$ та $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ за мольного співвідношення 1:1
Витрата води, Q л/хв	2,88 (±0,02)	2,84 (±0,02)	2,46 (±0,02)	2,78 (±0,02)
Втрати напору, h, мм	34 (±2)	19 (±2)	125 (±2)	36 (±2)

Результати експерименту підтвердили теоретичні припущення щодо необхідності удосконалення емпіричної формули для визначення лінійних втрат напору під час проведення регламентних робіт для СП, яка знаходиться в довготривалій експлуатації. Експериментально підтверджено результати попередніх розрахунків, а саме, що збільшення значення коефіцієнту гідравлічного тертя  $\lambda$  може значно перевищувати розраховані 62% за емпіричними формулами, що застосовуються на сьогоднішній день для СП, та при використанні води 4 класу забруднення та вище, через поступове біологічне заростання внутрішнього перерізу трубопроводу, втрати напору на ділянці трубопроводу СП можуть досягати 240% від початкових значень. За результатом експериментальних досліджень обґрунтовано удосконалення емпіричних формул з визначення лінійних втрат напору для трубопроводу СП зі значним терміном експлуатації (більше 5 років) та високим значенням еквівалентної шорсткості.

Виявлено вплив модифікувальних добавок до води на збільшення пропускної здатності досліджуваного трубопроводу на 12-15% за рахунок утворення захисної феросилікатної плівки  $\text{Na}_2\text{SiO}_2 \cdot \text{FeO}(\text{OH})_3$  на внутрішній стінці трубопроводу та як наслідок зменшення значення еквівалентної шорсткості з 0,07-0,12 мм до 0,02-0,04 мм.

**В четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень з виявлення впливу модифікувальних добавок у складі ВВР на її відносну вогнегасну ефективність.

На стенді наведеному на рис. 2, проводилися лабораторні експериментальні дослідження з визначення відносної вогнегасної ефективності ВВР з різним концентраційним вмістом модифікувальних добавок на основі рідкого натрієвого скла та карбонату калію порівняно з водою без добавок під час гасіння макетного вогнища пожежі класу В, а у таблиці 5 наведено результати цих досліджень.

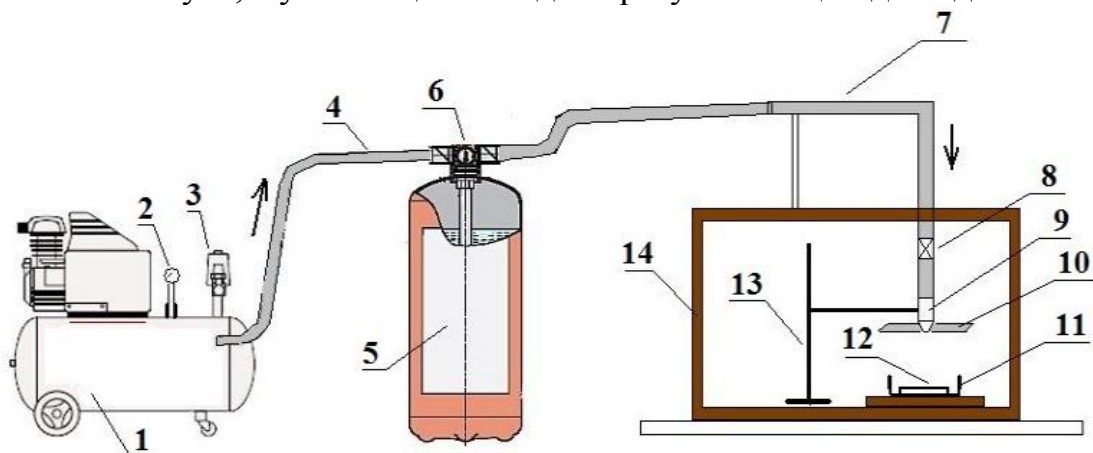


Рис. 2. Схематичне зображення стенду визначення показника відносної вогнегасної ефективності ВВР у разі гасіння вогнищ пожеж класу В

де 1 – компресор; 2 – манометр; 3 – запобіжний клапан; 4 – трубопровід стисненого повітря; 5 – ємкість для води або ВВР; 6 – наливна горловина з запірною арматурою, 7 – подавальний трубопровід; 8 – запірний вентиль; 9 – перехідник з насадком розпилювачем; 10 – захисний екран; 11 – піддон; 12 – деко; 13 – штатив; 14 – витяжна шафа.

Таблиця 5

Результати експериментальних досліджень з визначення відносної вогнегасної ефективності ВВР та води без добавок під час гасіння макетних вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями

Вид ВВР, мольна частка модифікувальних добавок, %	Питома густина, г/см <sup>3</sup>	Витрата вогнегасної речовини (R), л/с · 10 <sup>3</sup>	Максимальна площа гасіння макетного вогнища, м <sup>2</sup>	Критична інтенсивність подавання ВВР $I_{кр} = R/S$ , л · с <sup>-1</sup> · м <sup>-2</sup>	Усереднені значення відносної вогнегасної ефективності ВВР $I_{кр\text{ води}}/I_{кр\text{ ВВР}}$
Вода без добавок	1,000	1,026	$0,79 \cdot 10^{-2}$	0,131 (±0,003)	1,0
Вода з 1% вмістом Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1,016	1,022	$1,33 \cdot 10^{-2}$	0,077 (±0,001)	1,7
Вода з 1% вмістом K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,011	1,035	$0,95 \cdot 10^{-2}$	0,109 (±0,001)	1,2
Вода з 1,0% розч. Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> та K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> за мольн. співв. 1:1	1,014	1,389	$2,83 \cdot 10^{-2}$	0,049 (±0,002)	2,7
Вода з 1,0% розч. Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> та K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> за мольн. співв. 70:30	1,015	1,378	$2,54 \cdot 10^{-2}$	0,054 (±0,001)	2,4
Вода з 1,0% розч. Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> та K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> за мольн. співв. 30:70	1,015	1,383	$2,27 \cdot 10^{-2}$	0,061 (±0,001)	2,2

За результатом експериментальних досліджень, під час гасіння макетних вогнищ пожежі класу В, виявлено відносну вогнегасну ефективність ВВР з вмістом Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> та K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Змішування даних компонентів в бінарний розчин в концентрації у воді до 1% за мольного співвідношення 1:1, супроводжується підвищенням вогнегасних властивостей (явище синергізму) та має відносну вогнегасну ефективність у середньому в 2,7 рази вищу ніж вода без добавок, а також вищу ніж в окремих розчинах з вмістом Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> або з K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Наступним етапом лабораторних досліджень було визначення відносної вогнегасної ефективності ВВР з різною мольною часткою 1% Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> та 1% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> під час гасіння макетного вогнища класу А, що проводилися при застосування стенду наведеного на рис. 2. Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Результати експериментальних досліджень з визначення відносної вогнегасної ефективності ВВР під час гасіння макетних вогнищ пожежі класу А тонкорозпиленими струменями ВВР

Вид ВВР	Тривалість подавання ВВР до досягнення гасіння t, с	Витрата вогнегасної речовини (R), г/с	Маса ВВР витрачена на гасіння, (m <sub>води</sub> або m <sub>ВВР</sub> ), г	Відносна вогнегасна ефективність ВВР у порівнянні із водою без добавок, (m <sub>води</sub> /m <sub>ВВР</sub> )
Вода без модифікувальних добавок	322	3,28	1056 (±10)	1,00
Вода питна з 1% вмістом Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	321	3,66	1175 (±10)	1,00
Вода питна з 1% вмістом K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	270	3,35	905 (±10)	1,30
Вода питна з 1% вмістом K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> та Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> у мольному співвідношенні 1:1	152	3,62	550 (±10)	2,20
Вода питна з 1% вмістом K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> та Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> у мольному співвідношенні 70/30	291	3,64	1060 (±10)	1,10
Вода питна з додаванням K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> та Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> у мольному співвідношенні 30/70	275	3,64	1000 (±10)	1,15

Встановлено, що додавання рідкого 1%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та 1%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  до води у мольному співвідношенні добавок 1:1, при гасінні макетного вогнища класу А забезпечує найбільшу вогнегасну ефективність, а саме в 2,2 рази ефективніший ніж вода без модифікувальних добавок. Бінарна суміш даних компонентів у мольному співвідношенні 1:1 супроводжується явищем синергізму та має відносну вогнегасну ефективність вищу ніж в окремих розчинах з  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  або з  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

На рис. 5 наведено графік залежності значення відносної вогнегасної ефективності під час гасіння макетних вогнищ пожежі класу А досліджуваною ВВР від концентрації модифікувальних добавок на основі рідкого натрієвого скла та карбонату калію порівняно із водою без добавок.

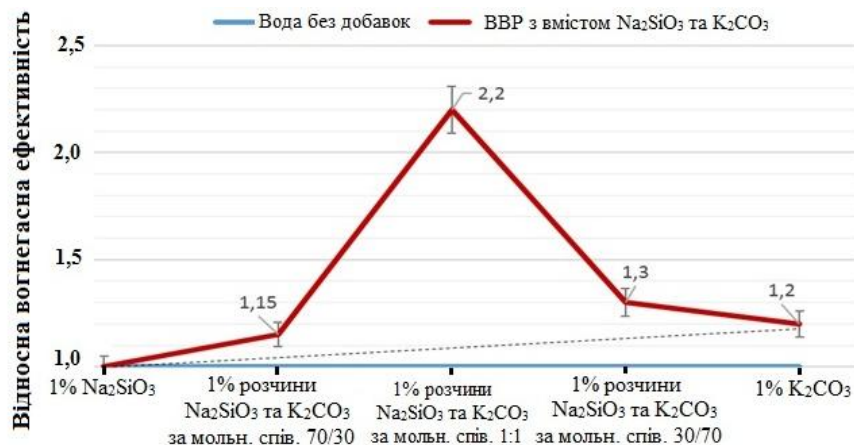


Рис. 5. Графік залежності зміни відносної вогнегасної ефективності під час гасіння макетних вогнищ класу А в залежності від вмісту модифікувальних добавок

За результатами отриманих даних експериментальних досліджень зроблено припущення, що підвищення відносної вогнегасної ефективності досліджуваних зразків водних розчинів, бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , обумовлено підвищенням ефекту охолодження у порівнянні із водою без добавок. Таким чином наступний етап досліджень полягав у визначенні впливу модифікувальних добавок  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  і  $\text{K}_2\text{CO}_3$  на значення дисперсності крапель у струмені тонкорозпиленої ВВР як основного чинника ефективності охолодження під час гасіння пожежі.

В таблиці 7 наведено узагальнені результати експериментальних досліджень з визначення середнього репрезентативного діаметру крапель досліджуваних ВВР.

Таблиця 7

Результати визначення дисперсності досліджуваних зразків ВВР методом оптичної мікроскопії

Основні параметри розпилу, при $Q= 1,05 - 1,1 \text{ л/с} \cdot 10^3$ , форсунок «Danfos»	Вид досліджуваної ВВР			
	Вода без добавок ( $\pm 0,3$ )	ВВР 1% розчину $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , ( $\pm 0,3$ )	ВВР 1% розчину $\text{K}_2\text{CO}_3$ , ( $\pm 0,3$ )	Вода з 1% вмістом $\text{K}_2\text{CO}_3$ та $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ за мольного співвідношення 1:1, ( $\pm 0,3$ )
$D_{10}$	103	82	79	59
$D_{20}$	115	91	81	67
$D_{30}$	125	95	86	75
$D_{32}$	147	109	95	93
$D_{v01}$	108	73	69	59
$D_{v05}$	154	115	112	105
$D_{v09}$	249	214	218	149
SPAN	0,913	0,896	0,881	0,853

Основним показником, значення якого визначає належність сформованого зрошувачем струменя ВВР до тонкорозпиленого, прийнято репрезентативний діаметр  $D_{v0,9}$ , для якого частка 90 % загального об'єму рідини перебуває у вигляді краплин меншого діаметра. Відповідно до норм, тонкорозпиленою вважається ВВР, 90 % об'єму якої подається у вигляді крапель, діаметр яких не перевищує 1000 мкм, тобто  $D_{v0,9} \leq 1000$  мкм. Оброблення даних проводилось відповідно до вимог ДСТУ CEN/TS 14972:2016.

За результатом експериментальних досліджень встановлено, що діаметр крапель 1% ВВР бінарної суміші  $Na_2SiO_3$  та  $K_2CO_3$  у мольному співвідношенні добавок 1:1 під час подавання тонкорозпиленого струменю у середньому на 32% менший за діаметр тонкорозпилених крапель води без добавок, що обумовлює підвищення охолоджуючого ефекту та відповідно підвищення ефективності пожежогасіння.

На основі систематизування отриманих даних, сформовано вимоги до основних показників якості та розроблено проект технічних умов на ВВР. Показники якості запропонованої ВВР наведено в таблиці 8.

Таблиця 8

Технічні вимоги до показників якості водної вогнегасної речовини, придатної до застосування у роздільній від господарсько-питного водопроводу системи водяного пожежогасіння висотного будинку

Показник якості ВВР	Розмірність	Значення показника	Методи визначення
Зовнішній вигляд	-	Однорідна рідина без розшарування	згідно з ГОСТ 27025
Питома густина	г/см <sup>3</sup>	1,015 ( $\pm 0,005$ )	згідно з ГОСТ 18995.1
Водневий показник рН	-	від 10,5 до 12,0	згідно з ГОСТ 29188.2-91
Поверхневий натяг, не вище	мН/м	50,0	згідно з ДСТУ 2207.1-93
Кінематична в'язкість, не менше	мм <sup>2</sup> /с	0,90	згідно з ГОСТ 10028-81.
Щорічний приріст біологічного, не більше	мм/рік	0,4	ДСаНПіН 2.2.4-171-10
Корозійна активність	кг/(м <sup>2</sup> ·год)	$1,7 \cdot 10^{-8}$	ГОСТ 9.506-87
Температурний діапазон застосування	°С	від 5,0 до 40,0	ГОСТ 27025
Скидання ВВР у комунальні та відомчі системи каналізації	-	Дозволяється без попереднього очищення	Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України
Передбачуваний термін зберігання у заводській тарі, не менше	місяці	12	згідно з ГОСТ 27025

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних натурних досліджень за стандартизованими методиками з визначення та порівняння гідравлічних втрат напору в спринклерній СП та визначення відносної вогнегасної ефективності СП спорядженою досліджуваною ВВР у порівнянні з СП, спорядженою водою без добавок під час натурних вогневих досліджень.

Визначення впливу модифікувальних добавок до води на основі  $Na_2SiO_3$  та  $K_2CO_3$  на гідравлічні втрати напору в СП проводилося за стандартизованою методикою на метрологічно атестованому стенді з визначення коефіцієнта витрати спринклерних зрошувачів. Методика з визначення коефіцієнта витрати (К-фактор) спринклерного зрошувача полягає у вимірюванні витрати ВВР або води, що подається зі зрошувача за одиницю часу при однаковому значенні тиску перед зрошувачем з подальшим розрахунком коефіцієнта витрати води або ВВР. На основі отриманих даних зроблено висновки щодо загальних гідравлічних втрат напору в досліджуваній СП при турбулентному режимі руху ВВР в трубопроводі. На рис. 7 приведена схема випробувального стенду.

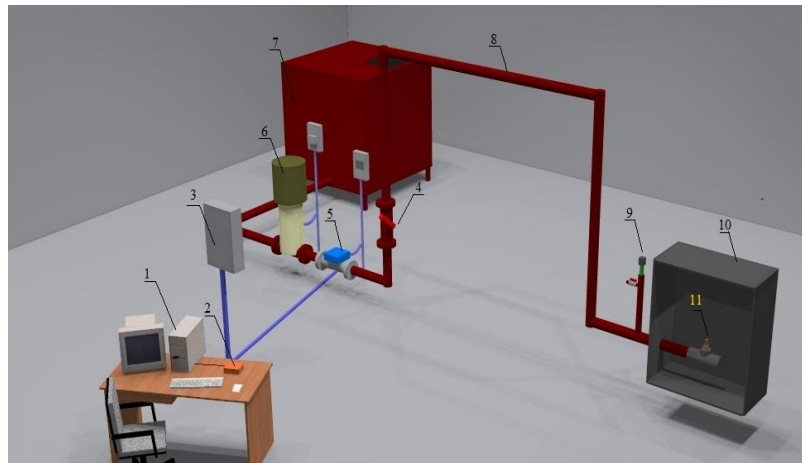


Рис. 7. Схематичне зображення стенду з визначення коефіцієнта витрат (К-фактор) зрошувачів СП

де 1 – реєструвальне та електронно-обчислювальне обладнання; 2 – регулятор частоти обертів двигуна насоса; 3 – автоматизований блок управління стендом; 4 – запірний кран; 5 – витратомірний пристрій; 6 – насос; 7 – резервуар для води або досліджуваної ВВР; 8 – подавальний трубопровід; 9 – датчик тиску; 10 – камера розміщення спринклерних зрошувачів; 11 – спринклерний зрошувач типу Viking (10 мм, К-фактор 80).

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту витрати (К-фактор) досліджуваної ВВР через спринклерний зрошувач наведено в таблиці 9.

Таблиця 9

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнтів витрати води та досліджуваної ВВР (К-фактор) стандартним спринклерним зрошувач

Тиск, бар	Витрата, Q (л/хв)			К-фактор (л·хв <sup>-1</sup> )/ бар <sup>-0,5</sup>		
	Вода без добавок	ВВР з 1% вмістом K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> та Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> у мольному співвідношенні 1:1	Середнє збільшення витрати, %	Вода без добавок	ВВР з 1% вмістом K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> та Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> у мольному співвідношенні 1:1	Середнє збільшення К-фактора, %
0,5	59,0	66,1	11,5	83,43	93,48	8,7
1,5	99,0	110,5		80,83	90,22	
2,5	126,4	141,5		79,94	89,49	
3,5	148,5	160,0		79,37	85,52	
4,5	167,7	177,5		79,05	83,67	
5,5	185,5	194,8		79,09	83,06	

Графік залежності витрати ВВР та води без модифікувальних добавок від тиску перед зрошувачем, наведеного на рис. 8.

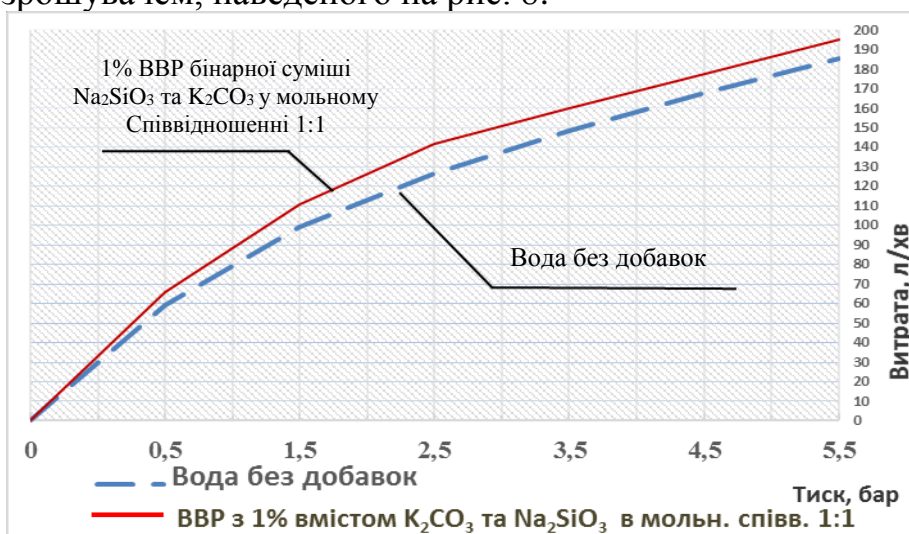


Рис. 8. Графік залежності зміни витрати ВВР від тиску перед спринклерним зрошувачем СП



За результатом отриманих даних зроблено висновок, що збільшення значення витрати досліджуваної ВВР з модифікувальними добавками обумовлено меншим значенням її кінематичної в'язкості. За результатом лабораторних вимірювань кінематичної в'язкості встановлено, що при температурі 20 °С для води без модифікувальних добавок кінематична в'язкість становить 1,004 мм<sup>2</sup>/с, а для досліджуваного ВВР - 0,92 мм<sup>2</sup>/с. Таким чином, менше значення кінематичної в'язкості досліджуваного ВВР з модифікувальними добавками призводить до зменшення втрат напору в трубопроводі стенду СП в середньому на 10-12% під час його руху в турбулентному режимі в діапазоні робочого тиску СП від 1,5-3,5 бар.

Визначення відносної вогнегасної ефективності СП проводилося шляхом гасіння модельного вогнища пожежі 13А за ДСТУ EN 3-7:2014 спринклерною СП, спорядженою досліджуваною ВВР порівняно з СП спорядженою водою без модифікувальних добавок за розробленою методикою. Вибір модельного вогнища пожежі обумовлено величиною його пожежного навантаження ~ 380 МДж/м<sup>2</sup>, що відповідає пожежному навантаженню для громадських та житлових будинків, яке знаходиться в межах (150-400 МДж/м<sup>2</sup>).

Експериментальні натурні дослідження проводилися у метрологічно атестованому випробувальному боксі для проведення вогневих випробувань ВБК 285. На рис. 9 наведено схемне зображення випробувального стенду для проведення натурних вогневих випробувань.

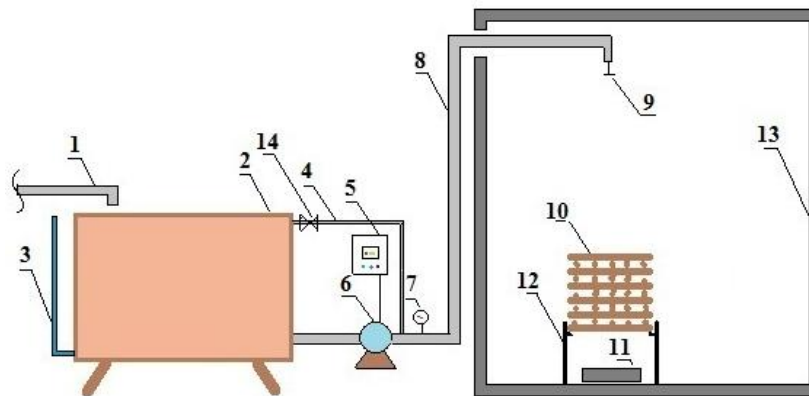


Рис. 9. Схематичне зображення випробувального стенду для проведення натурних вогневих випробувань, де 1 – наливний трубопровід; 2 – резервуар для води або ВВР; 3 – індикатор для визначення кількості води в резервуарі; 4 – байпасна лінія регулювання тиску; 5 – блок управління насосною станцією; 6 – насос; 7 – манометр; 8 - подавальний трубопровід; 9 – спринклерний зрошувач типу Viking (10 мм, К-фактор 80); 10 – модельне вогнище пожежі класу А; 11 – деко для палива; 12 – підставка; 13 – випробувальний бокс ВБК 285; 14 – запірний кран

Критеріями для визначення ефективності гасіння модельного вогнища пожежі 13А під час проведення експериментальних натурних досліджень прийнято по-перше тривалість гасіння (t, с) ВВР з модифікувальними добавками та водою без них за однакових умов їх подавання, а по-друге загальний об'єм (М, л) ВВР або води без добавок, які подані спринклерним зрошувачем на захищувану площу під час гасіння модельного вогнища пожежі 13А.

Захищувана площа спринклерного зрошувача відповідно до заявлених характеристик складала 12 м<sup>2</sup>, таким чином розміщення модельного вогнища пожежі класу 13А із загальною площею горіння 4,7 м<sup>2</sup> під час проведення кожного повтору та етапу експериментальних досліджень обиралося довільно в межах площі зрошування спринклером.

Результати експериментальних досліджень з визначення впливу модифікувальних добавок до води на ефективність гасіння модельного вогнища пожежі класу 13А спринклерною системою пожежогасіння наведені в таблиці 10.

Результати експериментальних досліджень гасіння модельних вогнищ пожежі 13А водою та ВВР з 1% вмістом  $K_2CO_3$  та  $Na_2SiO_3$  у мольному співвідношенні 1:1

Вид ВВР	Об'єм витрачений на гасіння, V, л		Тривалість подавання ВВР до досягнення гасіння t, с		Зменшення об'єму ВВР витраченого на гасіння	Зменшення тривалості гасіння
	Результати 3 дослідів	Середнє значення	Результати 3 дослідів	Середнє значення		
Вода без добавок	1333	1318	713	705	18%	30%
	1397		747			
	1225		655			
1% ВВР бінарної суміші $K_2CO_3$ та 1% $Na_2SiO_3$ у мольному співвідношенні 1:1	1176	1114	562	541		
	1065		517			
	1121		544			

Встановлено, що при подаванні спринклерним зрошувачем ВВР з інтенсивністю 0,18-0,21 л·с<sup>-1</sup>·м<sup>2</sup> витрата досліджуваної речовини з 1% вмістом  $Na_2SiO_3$  і  $K_2CO_3$  у мольному співвідношенні добавок 1:1, на гасіння модельного вогнища пожежі 13А в середньому на 18% відсотків менше, ніж для води без модифікувальних добавок. При цьому тривалість гасіння системою пожежогасіння, заповненою досліджуваною водною вогнегасною речовиною, в середньому на 30% менше, ніж для води без модифікувальних добавок. Зменшення тривалості гасіння та об'єму витраченої досліджуваної ВВР у порівнянні із водою без модифікувальних добавок може бути пояснено реалізацією комплексу таких вогнегасних факторів як інгібувальний ефект добавок  $Na_2SiO_3$  і  $K_2CO_3$ , а також посиленням охолоджуючого ефекту за рахунок підвищення дисперсності вогнегасної речовини через спринклерний зрошувач.

Техніко-економічне обґрунтування застосування водного вогнегасного розчину з модифікувальними добавками в системі пожежогасіння висотного будинку, розраховано на основі методики ГОСТ 12.1.004-91. За результатом розрахунку визначено, що за розрахунковий період експлуатації роздільної СП, а саме 50 років, при заповненні її 1% ВВР бінарної суміші модифікувальних добавок  $Na_2SiO_3$  та  $K_2CO_3$  в мольному співвідношенні 1:1, за рахунок зменшення біологічного заростання та хімічної корозії складових системи пожежогасіння, зменшення експлуатаційних витрат складає до 87%.

На основі проведених досліджень розроблено положення до національного стандарту України ДСТУ Б В.1.1-43:2016 «Протипожежний захист громадських будинків з умовною висотою від 100 м до 150 м» та проект технічних умов на виготовлення ВВР.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено розв'язання актуального наукового завдання розкриття закономірностей впливу модифікувальних добавок до води на працездатність роботи систем водяного пожежогасіння висотних будинків як наукове підґрунтя підвищення ефективності їх застосування. При цьому:

1. На підставі аналізу стану протипожежного захисту висотних будинків, експлуатації внутрішньої системи пожежогасіння роздільної від господарсько-питного водопроводу висунуто ідею, що удосконалення системи може бути досягнуто шляхом додавання модифікувальних добавок до води, якою заповнена система пожежогасіння під час експлуатації. За результатами аналітичних досліджень, пріоритетності критеріїв та сформульованих вимог, визначено найбільш ефективний концентраційно-відносний вміст

модифікувальних добавок, що запобігають утворенню біологічного заростання, корозії та як наслідок зменшують гідравлічні втрати напору в системі пожежогасіння, а також підвищують її вогнегасну ефективність.

2. Вперше виявлено, що додавання  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  до води у мольному співвідношенні 1:1 зменшує абсолютний приріст біологічного заростання та корозії внутрішніх стін сталевго трубопроводу СП в 1,7-3,0 рази в межах концентрації модифікувальних добавок 0,3-1,0% і таким чином запобігає зменшенню внутрішнього діаметру трубопроводу та як наслідок зменшує гідравлічні втрати напору у трубопровідній мережі, кран-комплектах та спринклерних зрошувачах СП.

3. Вперше встановлено, що застосування у СП води з модифікувальними добавками  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в концентрації 1% в мольному співвідношенні 1:1, супроводжується ефектом синергізму модифікованих добавок, який обумовлює підвищення охолоджуючого ефекту ВВР та зменшенням тривалості гасіння модельного вогнища 13А в середньому на 30% при подаванні ВВР через спринклерний зрошувач в межах інтенсивності 0,18-0,21 л·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>, що зменшує загальну кількість ВВР застосованої на гасіння.

4. Розроблено методику визначення відносної вогнегасної ефективності водної вогнегасної речовини під час гасіння тонкорозпиленими струменями пожежі класу А та виявлено, що масова витрата 1% водної вогнегасної речовини бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  за мольного співвідношення 1:1 в 2,2 менша ніж при гасінні водою без добавок, а при гасінні пожежі класу В критична інтенсивність подавання вогнегасної речовини менше в 2,7 рази за однакових умов випробувань.

5. Виявлено вплив модифікувальних добавок до води на основі  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  які зменшують діаметр крапель тонкорозпиленого струменю ВВР до 32 % при витраті ВВР 1,4-3,6 г/с, що обумовлює підвищення охолоджуючого ефекту ВВР та відповідно підвищує ефективність пожежогасіння.

6. Набуло подальшого розвитку уявлення про використання 1% водного розчину бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  до води в мольному співвідношенні 1:1, які зменшують загальні гідравлічні втрати напору в середньому на 10 % в діапазоні тисків 1,5-3,5 МПа, за рахунок утворення плівки феросилікату та зменшення шорсткості внутрішньої поверхні сталевго трубопроводу випробувального стенду з визначення К-фактору спринклерного зрошувача, що відповідно зменшуватиме гідравлічні втрати напору в СП за реальних умов експлуатації.

7. Удосконалено емпіричну формулу з визначення лінійних втрат напору в системі пожежогасіння в залежності від терміну її експлуатації та класу забруднення вогнегасного розчину, яка дозволить підвищити якість пуско-налагоджувальних та регламентних робіт для пожежної насосної станції СП та збільшити її експлуатаційний ресурс.

8. Розраховано економічний ефект використання 1% водного розчину бінарної суміші  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  до води в мольному співвідношенні добавок 1:1 на прикладі 30 поверхового висотного житлового будинку та встановлено, що при довготривалій експлуатації СП, а саме 50 років, за рахунок зменшення біологічного заростання та хімічної корозії складових системи пожежогасіння, зменшення експлуатаційних витрат складає до 87%.

9. На основі проведених досліджень розроблено проект технічних умов на водну вогнегасну речовину та вимоги до національного стандарту України ДСТУ Б В.1.1-43:2016 «Протипожежний захист громадських будинків з умовною висотою від 100 м до 150 м» в частині вимог до проектування систем водяного пожежогасіння.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*У наукових фахових виданнях:*

1. Особливості проектування зонованих систем внутрішнього протипожежного водопроводу у будівлях з умовною висотою вище 26,5 м / О.О. Сізіков, Р.В. Уханський, В.П. Балло, Я.В. Балло // Науковий вісник УкрНДІПБ . – Київ, 2014.- Вип. 29. – С. 30-36.

2. Обґрунтування визначення умовної висоти будинку / В.В.Ніжник, Р.В. Уханський, Я.В. Балло, О.В. Савченко // Науковий вісник УкрНДІПБ . – Київ, 2015.- Вип. 31. – С. 56-61.

3. Шляхи забезпечення ефективної експлуатації системи внутрішнього протипожежного водопроводу у висотних будівлях / О.О. Сізіков, В.В. Ніжник, Р.В. Уханський, Я.В. Балло // Науковий вісник УкрНДІПБ . – Київ, 2015. - Вип. 32. – С. 4-10.

4. Балло Я.В. Підвищення ефективності роботи внутрішнього протипожежного водопроводу додавання до води рідкого натрієвого скла / Я.В. Балло // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-метод. зб / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2015. – Вип. 25. – С. 29-36.

5. Особливості впливу цільових добавок у складі водних вогнегасних речовин на втрату напору у трубопроводі / С.В.Жартовський, Т.Ю. Нижник, О.О. Сізіков., Я.В. Балло, В.П. Балло // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-метод. зб / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2016. – Вип. 26. – С. 21-26.

6. Сізіков О.О. Вплив цільових добавок до води на ефективність гасіння пожеж твердих речовин / О.О. Сізіков, Я.В. Балло, В.С. Бенедюк // Науковий вісник Нац. лісотехн. ун-ту України. – Львів, 2017. – Вип. 26.8. – С. 298-303.

7. Влияние целевых добавок к воде на эффективность системы пожаротушения / А.А. Сизиков, С.В. Жартовский, В.В. Нижник, Я.В. Балло, В.С. Бенедюк // Вестн. ун-та гражд. защ. МЧС Беларуси. - Минск, 2017. – Вип. 25. – С. 35-43.

*Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:*

[1-3] – здобувач провів аналіз вимог нормативних документів щодо проектування висотних житлових та громадських будинків, виявлення шляхів удосконалення експлуатації системи внутрішнього пожежогасіння у висотних будинках а також запропонував можливість підвищення протипожежного захисту будинків шляхом додавання модифікувальних добавок до води.

[5-7] – удосконалення методики та проведення натурних випробувань, оброблення та узагальнення експериментальних даних.

Опубліковано в інших виданнях:

1. Сізіков О.О., Уханський Р.В., Балло Я.В., Балло В.П. Особливості проектування зонованих систем внутрішнього протипожежного водопостачання у будівлях з умовною висотою вище 26,5 м // IV міжнародна науково-практична конференція «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». – Черкаси. – 2014. – с. 27-30.

2. Копильний М.І., Бенедюк В.Г., Стилик І.Г., Нижник Т.Ю., Балло Я.В. Підвищення ефективності роботи внутрішнього протипожежного водопроводу додаванням до води рідкого натрієвого скла. // Збірник наукових праць «Пожежна безпека: теорія і практика». – Черкаси. – 2015. – с. 47-52.

3. Жартовський С.В., Ніжник В.В., Уханський Р.В., Балло Я.В. Виявлення впливу хімічного складу водних вогнегасних речовин на основі  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та  $\text{K}_2\text{CO}_3$  на їх вогнегасну ефективність під час гасіння вогнищ класу А // Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій». – Черкаси. – 2016. – с. 46-49.

4. Жартовський С.В., Сізіков О.О., Ніжник В.В., Балло Я.В., Копильний М.І. Визначення хімічних показників водних вогнегасних речовин під час їх тривалого перебування в сталевому трубопроводі системи пожежогасіння // XVIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту в Україні: перспективи та шляхи європейського простору». – Київ. – 2016. – с. 139 – 141.

5. Жартовський С.В., Ніжник В.В., Сізіков О.О., Балло Я.В., Бенедюкі В.С. Дослідження ефективності тонкорозпиленої водної вогнегасної речовини з цільовими добавками // Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації». – Львів. – 2016. – с. 158 – 162.

## АНОТАЦІЯ

**Балло Я.В. Підвищення ефективності роботи систем водяного пожежогасіння висотних будинків. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС України, Київ – 2017.

Розкрито особливості експлуатації внутрішньої роздільної від господарсько-питного водопроводу системи пожежогасіння у висотних будинках з умовною висотою вище 73,5 м та обґрунтовано застосування модифікувальних добавок, що запобігають біологічному заростанню та корозії трубопроводу системи пожежогасіння, зменшують гідравлічні втрати напору в ній та підвищують її вогнегасну ефективність.

Здійснено вибір модифікувальних добавок придатних для застосування у роздільних системах водяного пожежогасіння як для захисту системи від негативного явища біологічного заростання та корозії внутрішніх стінок трубопроводу так і для підвищення ефективності гасіння пожежі.

Виявлено вплив бінарної суміші рідкого натрієвого скла та карбонату калію до води у мольному співвідношенні 1:1 на зменшення абсолютного приросту біологічного заростання внутрішніх стін сталевого трубопроводу системи пожежогасіння в 1,7-3,0 рази в межах концентрації модифікувальних добавок 0,3-1,0%.

Набуло подальшого розвитку уявлення про використання модифікувальних добавок, які зменшують загальні гідравлічні втрати напору за рахунок утворення плівки феросилікату та зменшення шорсткості внутрішньої поверхні сталевого трубопроводу системи пожежогасіння.

Проведені натурні експериментальні дослідження та встановлено, що тривалість гасіння вогнищ пожежі 13А, запропонованою водною речовиною з модифікувальними добавками у середньому на 30% менша при інтенсивності подавання ВВР через спринклерний зрошувач системи пожежогасіння в межах  $0,18-0,21 \text{ л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^2$ , у порівнянні із гасінням водою без модифікувальних добавок.

За результатом наукової роботи розроблені вимоги до національного стандарту України “ДСТУ Б В.1.1-43:2016 «Протипожежний захист громадських будинків з умовною висотою від 100 м до 150 м».

**Ключові слова:** вогнегасна речовина, система пожежогасіння, модифікувальні добавки, біологічне заростання, пожежна безпека, висотні будинки.

## АНОТАЦІЯ

**Балло Я.В. Повышение эффективности работы систем водяного пожаротушения высотных домов. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02-пожарная безопасность. Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины, Киев - 2017.

Раскрыты особенности эксплуатации внутренней отделенной от хозяйственно-питьевого водопровода системы пожаротушения в высотных зданиях с условной высотой выше 73,5м и обосновано применение модифицирующих добавок, которые предотвращают биологическое зарастание и коррозию трубопровода системы пожаротушения, уменьшают гидравлические потери напора в ней и повышают ее огнетушащую эффективность .

Предложено в системах пожаротушения высотных домов использовать воду с модифицирующими добавками: во-первых, для защиты внутренних стенок трубопровода от негативных явлений биологического зарастания и коррозии при эксплуатации СП в дежурном режиме.

Осуществлен выбор модифицирующих добавок пригодных для применения в отдельных системах водяного пожаротушения как для защиты системы от негативного явления биологического зарастания и коррозии внутренних стенок трубопровода так и для повышения эффективности тушения пожара.

Выявлено влияние бинарной смеси жидкого натриевого стекла и карбоната калия к воде в мольном соотношении 1:1 на уменьшение скорости процесса биологического зарастания внутренних стен стального трубопровода системы пожаротушения в 1,7-3,0 раза в пределах концентрации модифицирующих добавок 0,3-1, 0% (мас).

Получило дальнейшее развитие представление об использовании модифицирующих добавок, которые уменьшают общие гидравлические потери напора за счет образования пленки феросиликата и уменьшения шероховатости внутренней поверхности стального трубопровода системы пожаротушения.

Выявлено влияние модифицирующих добавок к воде на основе жидкого натриевого стекла и карбоната калия на уменьшение диаметра капель тонкораспыленной струи ВОВ до 32% при расходе ВОВ 1,4-3,6 г/с, что обуславливает повышение охлаждающего эффекта ВОВ и соответственно повышает эффективность пожаротушения;

Разработаны методики по определению относительной огнетушащей эффективности при тушении макетных очагов класса А в лабораторных и натуральных условиях системами водяного пожаротушения.

Проведены натурные экспериментальные исследования и установлено, что продолжительность тушения очагов пожара 13А, предложенным водным веществом с модифицирующими добавками в среднем на 30% меньше при интенсивности подавания водного огнетушащего вещества через спринклерный ороситель системы пожаротушения в пределах  $0,18-0,21 \text{ л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^2$ , по сравнению с тушением водой без модифицирующих добавок.

По результатам научной работы, разработаны положения к национальному стандарту Украины "ДСТУ Б В.1.1-43: 2016« Противопожарная защита общественных зданий с условной высотой от 100 м до 150 м» а также разработан проект технических условий для возможности применения водного огнетушащего вещества в отдельных системах пожаротушения.

**Ключевые слова:** огнетушащее вещество, система пожаротушения, модифицирующие добавки, биологическое зарастание, пожарная безопасность, высотные дома.

#### ANNOTATION

**Ballo Y.V. Raising work efficiency of firewater system in high-rise buildings. - Manuscript.**

A dissertation submitted in fulfillment of the requirements of the degree in specialty 21.06.02 - fire safety. The Ukrainian Civil Protection Research Institute (UkrCPRI), Kiev - 2017.

The dissertation reveals the peculiarities of internal firewater system separated from drinking water system in high-rise buildings with conditional height more than 73,5 m. and provides a base for using modifying additives preventing biological clogging and corrosion of the pipeline of the fire safety system aimed to result in decreasing pipe losses and increasing its safety efficiency.

The dissertation provides a selection of modifying additives adequate for separated systems of firewater safety both for protection from biological clogging and internal corrosion and for increasing fire extinguishing efficiency.

The research has revealed that the binary mixture of sodium silicate and potassium carbonate added to water in mole ratio 1:1 results in decreasing intensiveness of the processes of biological pollution in the steel pipeline by 1,7-3,0 times under the condition of maximum additive concentration of 0,3-1,0%.

Extra data is collected on the using of modifying additives that decreases pipe losses by forming a layer of ferrosilicate film reducing roughness of the internal surface of the steel pipeline in firewater system.

An actual experimental research has been conducted, that indicated a 30% decrease in fire extinction time of 13A initial fire with the suggested water mixture with modifying additives under conditions of flow delivery rate of  $0,18-0,21 \text{ л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^2$ , по сравнению с тушением водой без via fire sprinkler in comparison to using water with no additives.

The result of the academic work helped to create regulations based on State standard of Ukraine SSTU B.V.1.1-43:2016 «Fire safety system of high-rise buildings with conditional height of 100-150 m».

**Key words:** extinguishing medium, fire extinguishing system, modifying additives, biological clogging, fire safety, high-rise buildings.