

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
АКАДЕМІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ**

КОЛЕСНІКОВ ДЕНИС ВАЛЕРІЙОВИЧ



УДК 614.844

**УДОСКОНАЛЕННЯ СТАЦІОНАРНИХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧНОГО ВОДЯНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ**

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Черкаси – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля (м. Черкаси)

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент **Стась Сергій Васильович**, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, заступник начальника кафедри техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Ковалишин Василь Васильович**, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, професор кафедри промислової безпеки та охорони праці;

кандидат технічних наук, с.н.с. **Огурцов Сергій Юрійович**, Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, вчений секретар.

Захист відбудеться “25” грудня 2014 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 73.736.01 в Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля за адресою: вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля за адресою: вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034.

Автореферат розісланий “22” листопада 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



І. Г. Маладика

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із перспективних напрямів у сфері пожежогасіння, а також в багатьох інженерних галузях є дослідження з розробки систем та елементів забезпечення протипожежного захисту об'єктів різного призначення, підвищення їх надійності та ефективності. Створення засобів та технологій пожежогасіння пов'язано з розробкою різного роду розподільчих пристроїв, які забезпечують необхідні витрати водної вогнегасної речовини, з вирішенням задачі перепаду тиску в'язких рідин зі змінною за довжиною витратою. Подібного роду дослідження можуть бути корисними в системах зрошення, що використовуються у системах охолодження різноманітних небезпечних об'єктів, в протипожежній техніці (стаціонарних системах водяного і пінного пожежогасіння), протипожежних автомобілях, пожежному устаткуванні тощо. Складність вирішення подібного типу задач полягає в тому, що при розподілі рідини вздовж трубопроводу, рух у його магістральній частині є нестабілізованим, тобто при розрахунку втрат енергії виникає необхідність враховувати вплив сил інерції від конвективного прискорення. Особливо актуальними є дані для опису течій аномально в'язких рідин, у яких реологічні властивості можуть змінюватись залежно від зміни витрати. З огляду на те, що подібного роду течіями і нині займаються багато вчених, проблема рівномірного (або однакового) відбору рідини вздовж потоку як ламінарного, так і турбулентного, залишається актуальною. Таким чином, прогнозування гідродинаміки потоків зі змінними за довжиною витратами з урахуванням як реологічного фактора, так і геометричних особливостей трубопроводу, а також розробка сучасних методів розрахунку подібних систем протипожежного водопостачання базується на сучасному уявленні про фізичні процеси в них, та з урахуванням фізичного і математичного моделювання є актуальним і перспективним напрямком досліджень. Окрім того, подальший прогрес розв'язання окреслених задач неможливий без розкриття особливостей впливу чинників розподілу рідини вздовж трубопроводу на ефективність функціонування стаціонарних систем водяного і пінного пожежогасіння.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у рамках реалізації «Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 року № 870», та Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012–2015 роки під час виконання науково-дослідної роботи за темою: «Розробка способу створення розпиленого потоку рідини», Державний Реєстр №0111U009148, в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Ідея роботи полягає в удосконаленні автоматичних систем водяного пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів шляхом забезпечення рівномірності витрати водних вогнегасних речовин вздовж усіх ланок

розподільчої мережі за рахунок визначення та врахування чинників, які можуть впливати на гідродинамічні характеристики потоку в них.

Метою дисертаційної роботи є виявлення закономірностей впливу чинників розподілу рідини вздовж трубопроводу на ефективність функціонування автоматичних систем водяного пожежогасіння та її окремих елементів.

Для досягнення визначеної мети було поставлено до вирішення такі задачі:

- провести аналіз сучасного стану розроблення та застосування автоматичних систем водяного пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів та виявити шляхи їх удосконалення;
- розробити методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення впливу чинників розподілу рідини вздовж трубопроводу на ефективність роботи автоматичних систем водяного пожежогасіння;
- проаналізувати чинники, що впливають на розрахунок трубопроводів розподільчих мереж автоматичних систем водяного пожежогасіння і виявити вплив реологічних властивостей рідини на характеристики потоку;
- розробити фізичну модель потоку зі змінною масою за довжиною і провести моделювання потоку водної вогнегасної речовини;
- провести аналіз гідродинаміки потоку зі змінною за довжиною масою водної вогнегасної речовини та визначити вплив сил інерції від конвективного прискорення на характеристики транзитного потоку в каналі;
- обґрунтувати методику розрахунку автоматичних систем водяного пожежогасіння та їх окремих елементів, яка враховує зміну маси рідини за довжиною трубопроводу у випадку наявності відбору рідини, а також розробити пропозиції щодо внесення змін та доповнень до нормативних документів, які регламентують питання проектування зазначених систем.

Об'єкт дослідження – ефективність роботи автоматичних систем водяного пожежогасіння.

Предмет дослідження – вплив чинників розподілу рідини вздовж розподільчого трубопроводу на ефективність роботи автоматичних систем водяного пожежогасіння.

Методи дослідження – для вирішення поставлених завдань застосовувались як теоретичні, так і експериментальні методи. Виконано фізичне моделювання процесу в лабораторних умовах. Обробку результатів проведено з використанням методів математичної статистики. Розв'язання поставлених у роботі задач ґрунтувалося на застосуванні системного підходу до проектування об'єктів нової техніки. Дослідження проводились на основі уявлень з механіки руху тіла зі змінною масою.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу чинників на ефективність функціонування

автоматичних систем водяного пожежогасіння та їх окремих елементів. При цьому:

- вперше для розрахунку параметрів потоку зі змінною за довжиною масою для стаціонарних систем автоматичного водяного пожежогасіння використана модель нестабілізованого руху рідини, яка враховує вплив сил інерції від конвективного прискорення;
- вперше проведені реологічні дослідження розчинів поверхнево-активних речовин (піноутворювачів) із заданими концентраціями 0,5-6,0% та встановлені відповідні їм реологічні закони;
- вперше експериментальним шляхом розв'язана задача Мещерського І. В. про рух рідини в розподільчих трубопроводах для неньютонівських рідин (для водних розчинів піноутворювачів);
- отриманий базис експериментальних даних дозволив рекомендувати нову методику розрахунку стаціонарних систем автоматичного водяного пожежогасіння з врахуванням впливу реологічних властивостей рідини на характеристики потоку;
- встановлені графічні залежності перепаду тиску та зміни витрат рідини для випадку відбору рідини, які дозволяють уточнити параметри роботи стаціонарних систем автоматичного водяного пожежогасіння.

Достовірність отриманих результатів підтверджується застосуванням загальнонаукових і спеціальних методів досліджень із використанням натурних даних інших авторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному: по-перше, в удосконаленні методів розрахунку розглянутих гідравлічних стаціонарних систем автоматичного водяного пожежогасіння; по-друге, в різниці нових методик проектування і розрахунку систем пожежогасіння з урахуванням реологічних особливостей робочих рідин, криволінійності каналів, особливостей конструкцій насадок розпилювачів. Викладені у дисертаційній роботі положення і висновки можуть бути використані при проектуванні засобів та технологій пожежогасіння, експлуатації та реконструкції систем розподілу рідин у процесах пожежогасіння, протипожежного водопостачання, охолодження поверхонь, аерації різного типу об'ємів, простору тощо.

Результати досліджень впроваджені на підприємстві ТІТАЛ з виробництва протипожежної техніки, виробничому підприємстві ТОВ «ВП "Інвестспецкомплекс"» та у навчальний процес Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля.

Особистий внесок здобувача полягає у тому, що автор дисертаційної роботи особисто виконав аналіз літературних джерел, присвячених проблемам руху потоків зі змінною за довжиною масою, провів теоретичні і експериментальні дослідження на спроектованих і власноруч побудованих стендах, провів обробку даних і відповідні розрахунки. Матеріали досліджень впроваджуються у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково-практичних конференціях, наукових семінарах, симпозіумах та форумах різних рівнів: Міжнародній конференції AmTech (м. Габрово, Республіка Болгарія, 2007); Міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека” (Черкаси, 2007; м. Київ, 2013); Міжнародній конференції UniTech (м. Габрово, Республіка Болгарія, 2009-2011, 2014); Міжнародній науково-технічній конференції „Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (м. Чернівці, 2009, м. Вінниця, 2011, м. Кіровоград, 2014); Міжнародній конференції „Прогресивна техніка і технологія”, (м. Севастополь, 2010, 2011); Міжнародній науково-практичній конференції «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту» (м. Черкаси, 2010, 2012).

Патенти України на корисну модель:

1. № 58516 Пожежний ствол. Зареєстровано в Державному реєстрі 11.04.2011р.;
2. № 60500 Спосіб створення розпиленого потоку рідини. Зареєстровано в Державному реєстрі 25.06.2011р.

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 18 наукових праць, з яких 5 наукових статей у виданнях, включених до переліку фахових, 1 в науково-технічному збірнику, 10 тез доповідей на конференціях, отримано 2 патенти України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних у роботі літературних джерел і додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 110 сторінках друкованого тексту, що містять 45 рисунків, 10 таблиць, 99 посилань на використану літературу та у додатках на 60 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, визначено зв'язок з науковими програмами, наведені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок автора, апробація результатів роботи. Представлені основні напрямки досліджень автора.

У **першому розділі** проаналізовано статистику пожеж, використання автоматичного пожежного устаткування, а також системи забезпечення протипожежного захисту об'єктів різного призначення та їх елементи. Проаналізовано область застосування течії рідини зі змінною за довжиною масою, розглянуті практичні схеми розподільчих протипожежних пристроїв у стаціонарних системах зрошення, проаналізовані можливі схеми трубопроводів протипожежного водопостачання з рівномірним та нерівномірним розподілом витрати за довжиною, а також існуючі аналітичні методи розрахунку. Подібні проблеми вивчали такі дослідники як Мещерський І. В., Кравчук І. М., Яхно О. М., Желяк В. І., Петров Г. А., Грабовський П. А., Кисельов П. Г., Коновалов І. М., Волинов М. А., Брайнін А. Л., Васіленко А. А., Большаков В. А., Єрошенко Е. М.,

Коченов І. І., Ісаханов Г. З., Матушкін Н. І., Єгоров А. І., Антонов А. В., Ковалишин В. В., Мешман Л. М., Огурцов С. Ю., Сізіков О. О., Walden H., Cantrak S. M., Slavchev H., Joy D. M., Carman P. C.

У більшості випадків у теоретичних моделях в якості рівнянь руху використовується рівняння Мещерського І. В., для руху тіла зі змінною масою, на основі даного рівняння отримано закон розподілу тиску в трубопроводах при наявності та відсутності транзитних витрат. Аналіз наведених результатів експерименту дозволив на основі π -теореми встановити основні критерії, що характеризують даний гідродинамічний процес. Аналізуючи властивості поверхнево-активних речовин (таблиця 1), що використовуються при пожежогасінні, були отримані реологічні характеристики деяких водних розчинів. Дослідження реологічного стану рідини (рис. 1) виконувалося на ротаційних віскозиметрах типу Rheotest-2, який дає можливість вимірювати динамічну в'язкість у межах градієнтів швидкості 10^{-2} - 10^5 пуаз в діапазоні швидкостей зсуву від $0,2 \text{ с}^{-1}$ до $1,8 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ з похибкою 3-4 % в залежності від вимірювального пристрою, що використовується. Вимірювання вязкості проводилось у робочому діапазоні температур $0^\circ\text{C} \leq T^\circ\text{C} \leq 30^\circ\text{C}$.

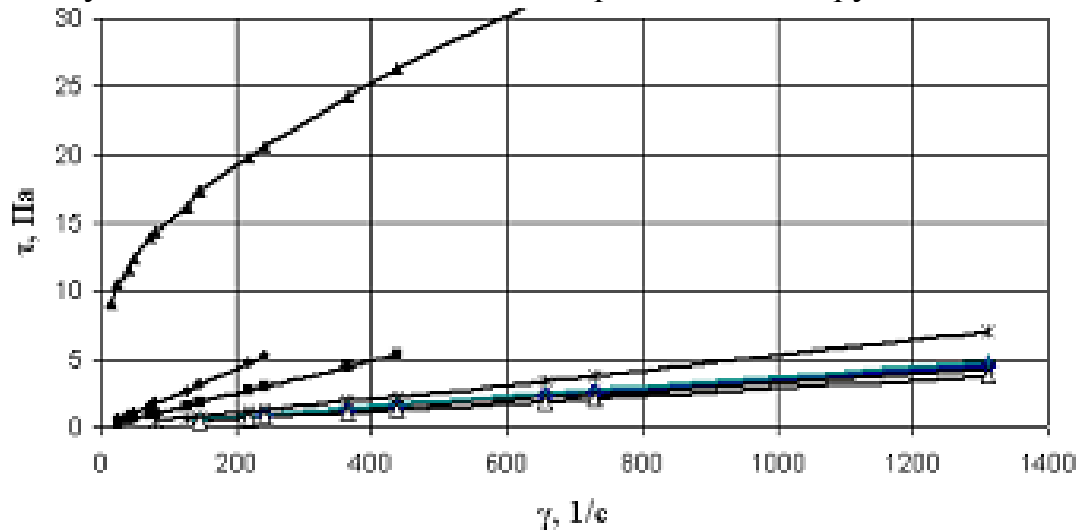
Таблиця 1.
Реологічні значення консистентної сталої k та індексу течії n

Речовина		ПО-6К	TEAC	S.F.P.M 6/6	"ПІЛВ- Універсал" марки 103	"ПІЛВ- Універсал" марки 106М	ПО-6 ТСМ	ПО-6 ОСТ	"Сніжок-1"
Концентрація, %									
100%	k	0,045	0,0157	3,1948	0,0041	0,006	0,0157	0,0046	0,0037
	n	0,9637	0,9558	0,3499	0,97	0,9786	0,9558	0,9672	0,9619
	°C	19,5	20,0	20,0	19,5	21,0	21,5	20,5	21,0
6%	k	0,0027	0,0032	0,0141	0,0032	0,0027	0,0032	0,0022	0,0024
	n	0,9226	0,9011	0,7556	0,8862	0,9246	0,9011	0,9485	0,9299
	°C	19,5	20,0	22,0	22,0	21,5	22,0	20,5	21,0

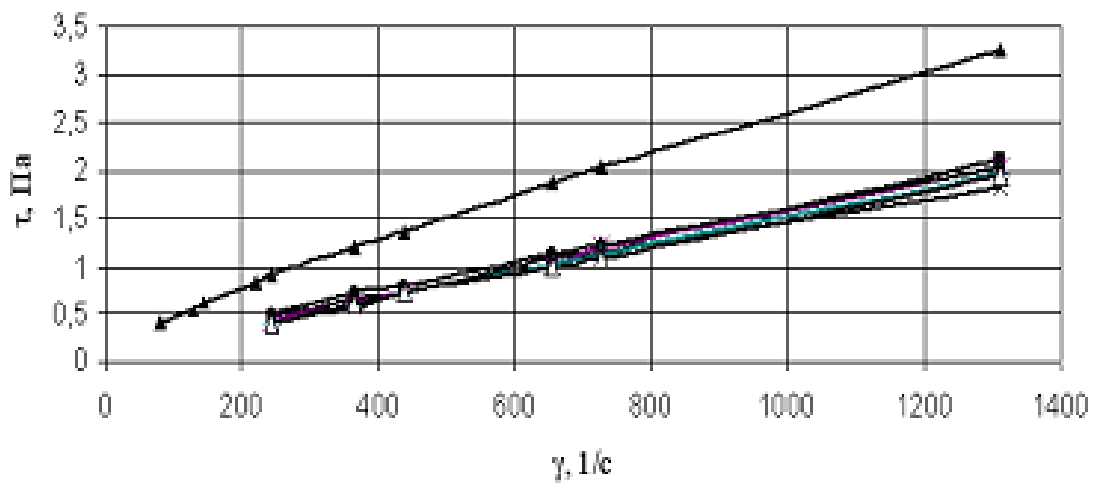
$$\text{Розмірність консистентної сталої } k = \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^n}{\text{м}^2}.$$

У цілій низці випадків подані розчини (розглядалася концентрація 6% і 100%) не суттєво відрізняються від ньютонівських рідин, однак для окремих розчинів прояви аномалії в'язкості є суттєвими. Реологічний стан досліджених рідин може бути описаний законом Освальда де Віля $\tau = k\dot{\gamma}^n$. У таблиці 1 наведені константи цього закону для різних марок піноутворювача. На рис. 1 представлені реологічні криві концентратів та розчинів

піноутворювача, що розглядались. Опис поведінки потоків рідини з даними полімерними (піноутворюючими) добавками представлено в ряді робіт, однак до теперішнього часу відомості про поведінку потоків в системах трубопроводів з масою, що змінюється по довжині недостатні. В той же час викликають інтерес дослідження пов'язані з тим, в якій мірі додавання добавок у потік впливає на зниження гідравлічного опору та теплообміну.



а



б

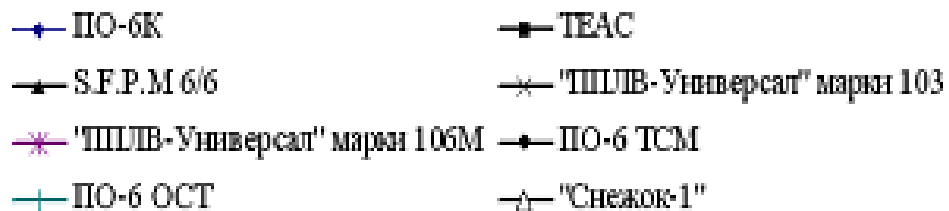


Рис. 1. Реологічні криві, концентратів піноутворювачів (а) і розчинів піноутворювачів (б) у робочих концентраціях

В якості робочої рідини у дослідженнях використані як ньютонівські рідини, так і рідини, що проявляють аномалії в'язкості. В якості ньютонівських рідин була використана вода, а в якості рідин з проявленням аномалії в'язкості – водні розчини піноутворювача з концентрацією від 0,5% до 6%.

Аналіз результатів існуючих досліджень низки авторів показав, що ними в основному розглядався ламінарний режим руху в'язкої неньютонівської рідини у подібного роду трубопроводах, дослідження проводилися з позиції стабілізованого руху рідини, а дослідження пов'язані з рухом рідини в криволінійних каналах й нині відсутні. На основі проведеного огляду існуючих досліджень були сформульовані задачі, в яких об'єктом дослідження були як ньютонівські, так і неньютонівські рідини (розчини піноутворювачів). На основі цих даних удосконалені моделі потоку зі змінною масою за довжиною, які дозволили відкоригувати існуючі методики розрахунку.

У **другому розділі** наведено результати фізичного моделювання систем зі змінною по довжині масою. Описано розроблені і власноруч створені стенди та проведено експерименти для випадків магістральних трубопроводів, як прямолінійних, так і криволінійних, виконаних у вигляді спіралі. На рис. 2 представлена загальна схема експериментального стенду, на рис. 3 (а, б) показана фотографія робочої частини стенду зі спіральною формою магістрального трубопроводу (3а) та схема стенду з прямолінійним трубопроводом (3б), а на рис. 4 зовнішній вигляд стенду і його елементів. Проведено планування експерименту, яке враховує, що повнофакторний експеримент має реалізувати можливі поєднання всіх рівнів незалежних факторів. Параметр оптимізації в даному випадку залежав від трьох незалежних факторів. У зв'язку з цим число необхідних експериментів складає $N=2^3=8$. Значення дисперсії в кожному досліді розраховувалось за формулою

$$S_i^2 = \frac{\sum_{q=1}^n y_q - y}{n-1}^2 \quad (1)$$

У випадку, що розглядається, критерій Кохрена дорівнював

$$q = \frac{S_{i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^e} = 0,47 \quad (2)$$

Адекватність отриманих моделей перевірялася за допомогою критерія Фішера, який складав

$$F = \frac{S_{ai}^2}{S_j^2} = \frac{9,5}{4,75} = 2 \quad (3)$$

Визначено дисперсію коефіцієнтів регресії, отримані значення критеріїв Фішера, які дозволяють судити про адекватність моделі, а використані при моделюванні стенди дозволили вивчити течії через струминоформуєчне обладнання (насадки-зрошувачі), розташоване вздовж трубопроводу.

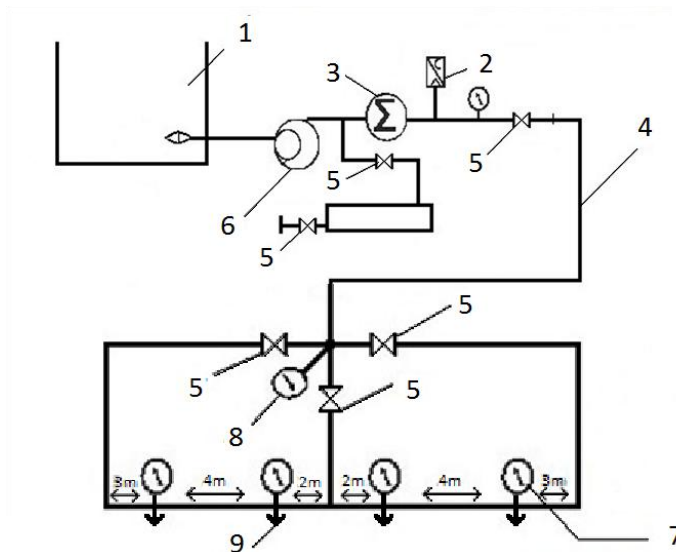
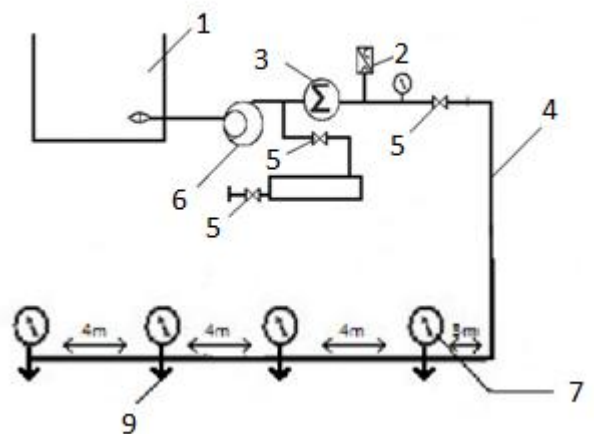


Рис. 2. Загальна схема експериментального стенду:

- 1 – ємність 1 м³;
- 2 – аналоговий перетворювач тиску;
- 3 – перетворювач витрати рідини електромагнітний;
- 4 – труба водопровідна ПЕ 80 Ø35;
- 5 – вентиль Ø50 мм;
- 6 – насос відцентровий;
- 7,8 – манометр;
- 9 – дренчер Ø 8-10 мм.



а



б

Рис. 3. Стенд, що дозволяє моделювати течію рідини зі змінною вздовж потоку масою, а – фотографія стенду дослідження криволінійних трубопроводів; б – схема стенду дослідження прямолінійних трубопроводів



а



б



в



г



д



е

Рис. 4. Зовнішній вигляд стенда і його елементів,
а, б – силова установка стенда, в – зовнішній вигляд стенда в лабораторії,
г – штатив утримання струминоформуючого обладнання, д – електронні
витратомір та датчик тиску, е – частотний перетворювач приводу силової
установки

У розділі представлений опис станда, де трубопровід являє собою закруглений криволінійний канал (рис. 3а), з радіусом закруглення $R_k = 420$ мм.

Таким чином, в результаті експериментів які були проведені за допомогою представлених установок отримано дані по всім основним характеристикам потоку.

Проведені дослідження дали можливість перевірити існуючі підходи до вирішення загальної задачі та з'ясувати особливості, пов'язані з конструкціями гідравлічних систем подібного типу. У досліджах використовувались насадки (спринклери) відповідного діаметру, для яких визначався гідравлічний опір. У зв'язку з тим, що умови на вході до насадок були різними, визначалась різниця в гідравлічному опорі насадків. Представлені в роботі методики дослідження та розрахунку геометричних параметрів дали можливість провести оцінку достовірності одержаних результатів, а необхідні обчислення проводились за допомогою комп'ютерного станда з унікальним програмним забезпеченням (рис. 5).



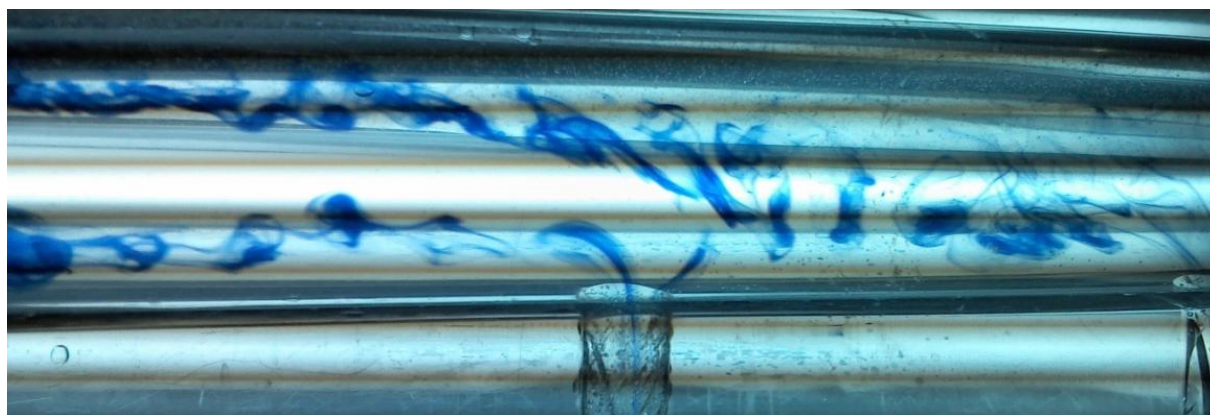
Рис. 5 Комп'ютерний стенд

Планування експерименту пов'язане із дослідженнями течії в'язкого середовища в потоках з перемінною масою здійснювалось на основі досліджень що приведені в роботах Адлера Ю. П., Тихомірова В. В., Монтгомері Д. К., Красовського Г. І. та ін. При проведенні експериментальних досліджень основною задачею стало виявлення залежностей між тиском P та витратою рідини Q на різних ділянках трубопроводу. Дані значення залежать від цілого ряду параметрів: геометричних характеристик каналів, реологічних і температурних властивостей рідини і розчинів, витрат через насадки, таким чином було заплановано і проведено багатофакторний експеримент, який дозволив припустити, що параметри оптимізації залежать в даному випадку від трьох незалежних величин.

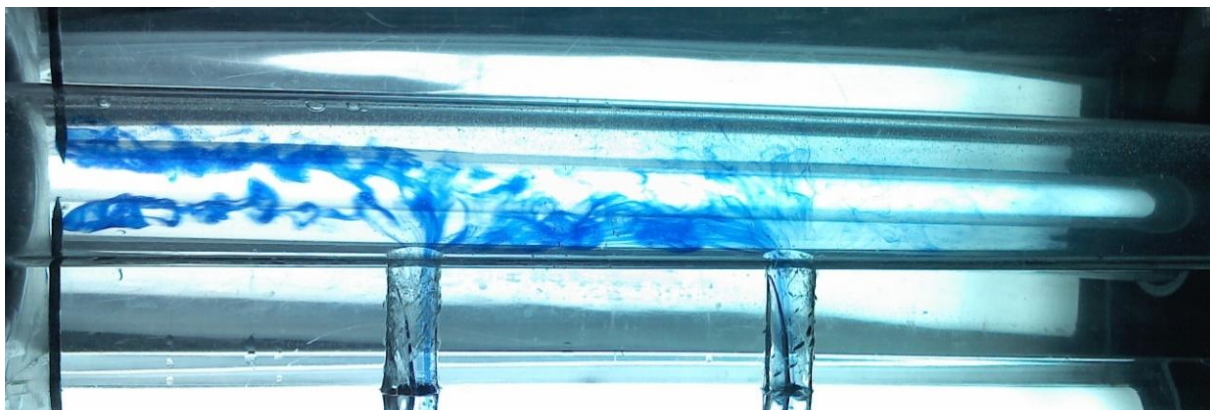
У третьому розділі наведено результати комплексних експериментальних досліджень динамічних характеристик трубопроводів з розташованими за довжиною насадками. Експериментально визначено вплив наявності бокового відбору рідини на дестабілізацію потоку в магістральних трубопроводах. Було встановлено, що в залежності від відстані між насадками відповідним чином змінюється витрата і тиск. Ступінь зміни даних величин залежить від відбору від основного потоку і числа Рейнольдса. Експерименти показали, як змінюється величина $\frac{dQ}{dx}$ (а значить і

$\frac{\partial U_x}{\partial x}$). Зміна даної величини призводить до дестабілізації течії в потоці за насадкою. На рис. 5 (а,б) показано, яким чином змінюються траєкторії руху струминок рідини в зоні її відбору через насадки. Візуалізація потоку в зонах бокового відбору рідини підтвердила запропоновану автором гіпотезу щодо дестабілізації течії на ділянках між насадками. У подальшому це підтвердили конкретні цифрові дані, що характеризують зміну тиску в трубопроводі зі змінною масою за довжиною.

У зв'язку з тим, що відбір рідини дискретний, зміна витрати за довжиною відбувалась за нелінійним законом при великих числах Рейнольдса. Значення числа Рейнольдса у зв'язку зі зміною маси потоку перед входом до кожної насадки було різним. У зв'язку з боковим відбором рідини, витрати рідини за довжиною трубопроводу змінювались у дослідному трубопроводі як показано на рис. 6. На даному рисунку наведені результати досліджень при числах Рейнольдса більше 1500.



а



б

Рис. 6. а, б – дестабілізація течії в потоці за насадкою при числах Рейнольдса ($Re > 1500$)

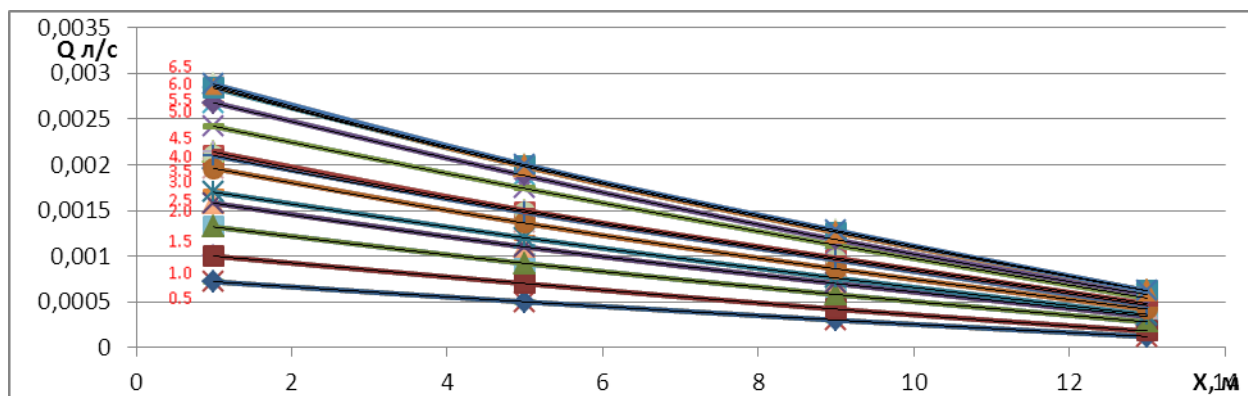


Рис. 6 Характер зміни дискретного відбору в'язкої рідини крізь насадки за довжиною криволінійного трубопроводу, рідина – вода.

Аналіз приведених залежностей $Q = f(x)$ показав, що дані криві можуть бути описати поліномом третього ступеня, а саме:

$$Q = ax^3 + bx^2 + cx + Q_0 \quad (4)$$

де коефіцієнти відповідають розмірностям кінематичної в'язкості

$a = \left[\frac{1}{c} \right]$, $b = \left[\frac{m}{c} \right]$, $c = \left[\frac{m^2}{c} \right]$, $Q_0 = \left[\frac{m^3}{c} \right]$. Таким чином, витрату потоку зі змінною

масою можна представити, як функцію частоти, швидкості і прискорення.

На рис. 7 представлена залежність для випадку течії водного розчину піноутворювача ПО-6К з концентрацією 2,5%. Характер зміни витрат аналогічний тому, що представлений на рис. 6.

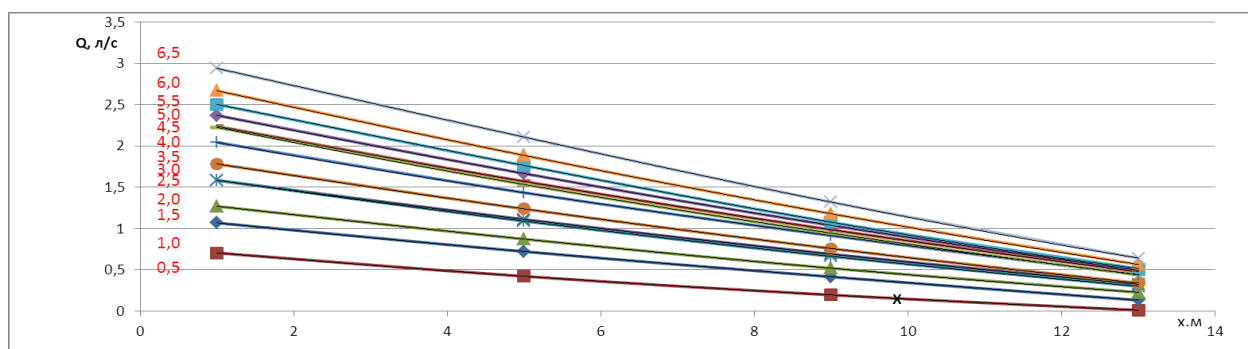


Рис. 7. Характер зміни дискретного відбору в'язкої рідини крізь насадки за довжиною криволінійного трубопроводу, рідина – водний 2,5% розчин піноутворювача

На основі даних рисунків зроблено висновок про закон зміни витрати за довжиною магістральної частини криволінійного трубопроводу при дискретному відборі рідини за допомогою насадок (зрошувачів), які

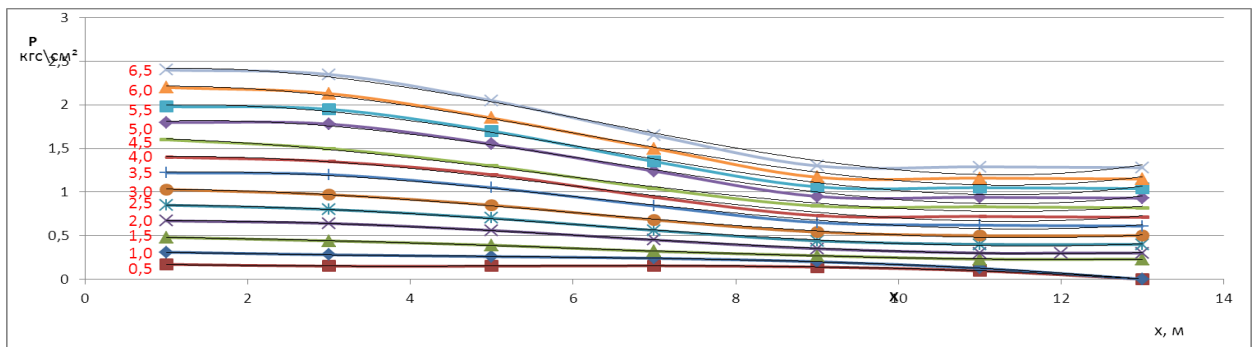
розташовані як і в попередньому випадку, на відстані 4 м один від одного. Ця залежність характеризується поліномом (4), значення коефіцієнтів a, b, c наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

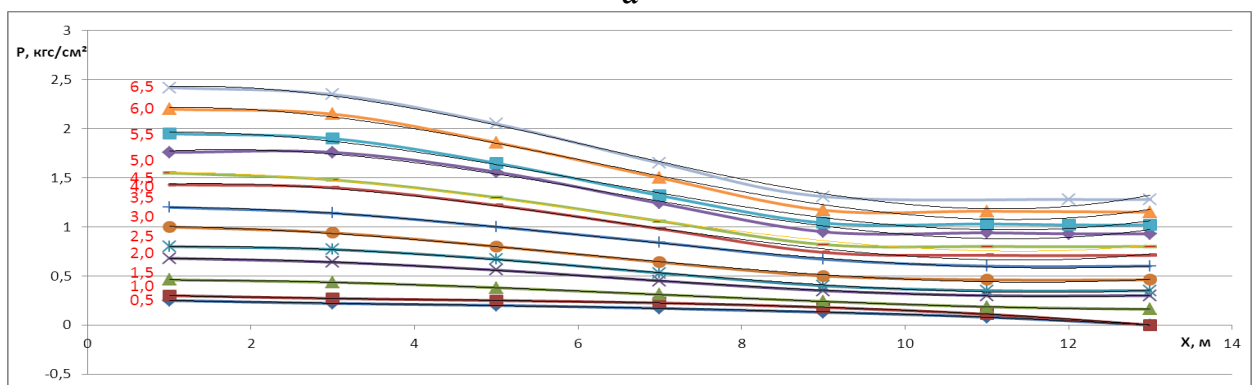
Значення коефіцієнтів a, b, c зміни дискретного відбору в'язкої рідини крізь насадки за довжиною криволінійного трубопроводу при різних значеннях числа Рейнольдса

Re	Значення коефіцієнтів				Re	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	Q_0		a	b	c	Q_0
33078	-0,0026	28,75	- 2699,2	35748	96478	-9,5703	287,12	- 8547	104747
45942	2,3880	- 7,07	- 3477,4	49424	98315	-11,9610	351,66	- 9090	107065
60643	-2,3932	122,05	- 5252,4	65776	111179	-2,3906	121,98	- 8468	119527
72588	-4,7839	186,60	- 6484,3	78890	123124	0,0052	143,45	- 10049	133030
78101	-2,3958	122,09	- 6401,0	84382	130475	-7,3540	356,76	- 11345	133030
90046	-4,7839	215,32	- 8034,9	97870	131394	-9,5729	373,31	- 12050	143081

Характер зміни тиску за довжиною трубопроводу показано на рис. 8 (а, б) для води та 2,5% розчину піноутворювача



а



б

Рис. 8. Характер зміни тиску в'язкої рідини крізь насадки за довжиною криволінійного трубопроводу: а – рідина (вода); б – водний 2,5% розчин піноутворювача

Нелінійність функції P x пов'язана з тим, що локальний відбір рідини крізь насадки призводить до деякої дестабілізації течії, а тому проявляється вплив сил інерції від конвективного прискорення. Таким чином, з'являється відмінність між перепадом тиску ΔP_{cm} стабілізованої течії, де функція ΔP x має лінійний характер, та випадком течії, що розглядається, тобто

$$\Delta P_{Q_{тем}} = \Delta P_{Q-\omega_n} + \delta \Delta P \quad (5)$$

Аналіз залежностей, що характеризують функції Q x і P x для криволінійного і прямолінійного магістрального трубопроводів дозволив отримати співвідношення впливу кривизни на гідравлічні втрати. У зв'язку зі зміною витрати за довжиною трубопроводу відбувається зміна числа Рейнольдса. Таким чином, перед входом до кожної з насадок число Рейнольдса у центральній частині трубопроводу різне, і різні коефіцієнти витрати і швидкості у кожній з насадок. Значення цих коефіцієнтів, як функція відповідних умов входу до кожної з насадок, представлені в роботі. Таким чином, результати проведених експериментів підтвердили припущення про те, що в потоках подібного роду течія є нестабілізованою, тобто крім сил в'язкого тертя діють сили інерції від конвективного прискорення. Враховуючи зазначені аргументи, результати розрахунків характеристик трубопроводу можуть суттєво відрізнятися від запропонованих раніше.

Четвертий розділ присвячений аналізу чинників, які можуть впливати на гідродинамічні характеристики потоку зі змінною витратою за довжиною. Серед таких чинників необхідно виділити реологічні властивості рідини та кривизну каналу, що характеризується величиною $1/R$ (де R – радіус кривизни). Проведено співставлення функцій, що характеризують перепад тиску в прямолінійних і криволінійних каналах з відбором рідини за довжиною з даними про зміну тиску в прямолінійному каналі без відбору рідини. На рис. 9 показана така залежність. Співставлення проведено для випадку, коли число Рейнольдса на вході до трубопроводу складає 202440. Таким чином, на основі такого співставлення можна зробити висновок, що перепад тиску при нестабілізованому русі визначається за формулою (6).

$$\Delta P_K = \Delta P_0 + \delta \Delta P_{Q \neq const} + \delta \Delta P_{Q \neq const} \cdot \frac{1}{R} \neq 0 \quad (6)$$

де ΔP_0 – перепад тиску на прямолінійній частині трубопроводу при умові відсутності витрати за довжиною (тобто перепад тиску при стабілізованій течії); $\delta \Delta P_{Q \neq const}$ – врахування перепаду тиску за рахунок наявності відбору

рідини (тобто нестабілізованої течії); $\delta\Delta P_{\frac{Q \neq const}{\frac{1}{R} \neq 0}}$ – врахування перепаду тиску за рахунок наявної кривизни каналу (нестабілізована течія у криволінійному каналі).

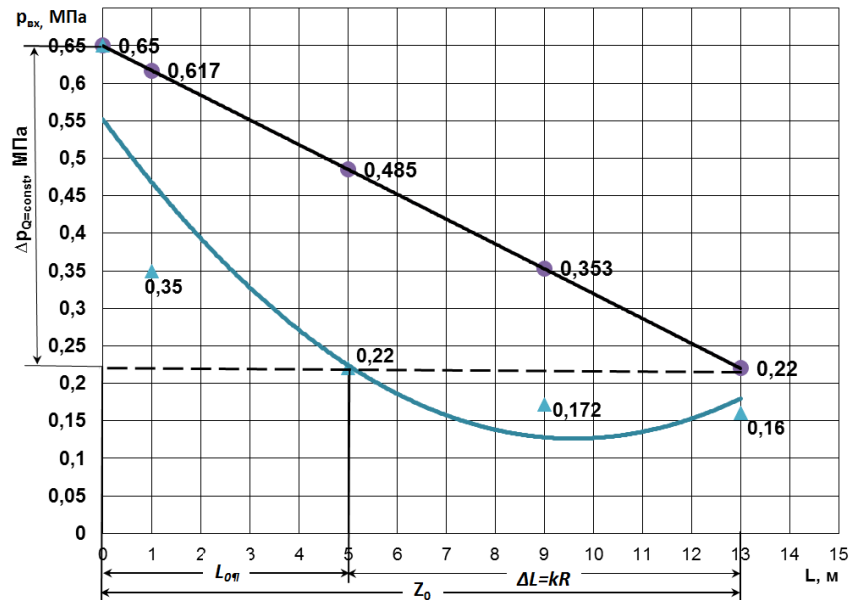


Рис. 9. Залежність тиску $\delta\Delta P_{Q \neq const}$ і ΔP_0

Порівнюючи характеристики зміни тиску за довжиною для прямолінійного і криволінійного каналів при однакових числах Рейнольдса на вході показано, що перепад тиску у криволінійному каналі можна представити у вигляді залежності (6), а величини, що входять до неї представлені у таблиці 3.

Користуючись уявленнями про ефективну довжину Δl , можна запропонувати методику розрахунку перепаду тиску за довжиною на криволінійній ділянці трубопроводу за допомогою формули Дарсі-Вейсбаха із застосуванням поняття ефективної довжини (рис. 9).

Таблиця 3.

Значення величин $\delta\Delta P_{Q \neq const}$ й $\delta\Delta P_{\frac{Q \neq const}{\frac{1}{R} \neq 0}}$ при різних значеннях числа Re

Число Re на вході	ΔP_0 стабілізованого потоку	$\delta\Delta P_{Q \neq const}$	$\delta\Delta P_{\frac{Q \neq const}{\frac{1}{R} \neq 0}}$
202440	0,450	0,0400	0,060
163800	0,300	0,0250	0,045
113400	0,158	0,0050	0,044
50320	0,075	0,0008	0,030

Стосовно впливу реологічних властивостей рідини на гідравлічні втрати енергії, експерименти підтвердили справедливість формули Метцнера

$$\lambda = \frac{A}{\text{Re}^B} \quad (7)$$

де A і B – параметри, що залежать від індексу течії.

У розділі узагальнено опрацьовані результати досліджень, що представлені у дисертації, а на їх основі отриманий базис експериментальних даних, які дозволили рекомендувати нову, вдосконалену методику гідравлічного розрахунку наведеного типу трубопроводів, шляхом урахування впливу сил інерції від конвективного прискорення, які виникають за рахунок дискретного відбору рідини за довжиною трубопроводу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є закінченим науковим дослідженням, розв'язано актуальну науково-технічну задачу розкриття особливостей впливу чинників на ефективність функціонування автоматичних систем водяного пожежогасіння та їх окремих елементів як наукове підґрунтя підвищення ефективності проектування та застосування зазначених систем для протипожежного захисту об'єктів. При цьому отримано такі основні наукові та практичні результати.

1. На підставі аналізу сучасного стану розроблення та застосування автоматичних систем водяного пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів вказано на необхідність проведення досліджень в даній галузі, виявлені шляхи удосконалення зазначених систем.

2. Розроблена система прогнозування та методики проведення теоретичних й експериментальних досліджень з виявлення впливу чинників на ефективність роботи автоматичних систем водяного пожежогасіння, надана методика проектування магістральних каналів з оптимальним розподілом тиску по довжині, а також методика розрахунку водяних зрошувальних стаціонарних систем, що використовуються в пожежогасінні.

3. Проведені аналітичні дослідження впливу різних факторів (геометричних та динамічних характеристик стаціонарних систем автоматичного водяного пожежогасіння) на розрахунок досліджуваних систем і з'ясовано ступінь залежності характеристик потоку від реологічних властивостей рідини. Одержані залежності $Q = Q \cdot x$ і $P \neq P \cdot x$ характеризують ступінь дестабілізації потоку. Проведені реологічні дослідження характеристик потоку з поверхнево-активними речовинами (0,5...6% водними розчинами піноутворювачів з градієнтом швидкості зсуву в діапазоні $0,2 \text{ c}^{-1}$ до $1,8 \cdot 10^3 \text{ c}^{-1}$).

4. Розроблена фізична модель потоку зі змінними витратами за довжиною та здійснене моделювання течії в діапазоні тиску 0,10...0,65 МПа.

5. Проведений аналіз гідродинаміки потоку зі змінною за довжиною витратою рідини та визначений вплив сил інерції від конвективних прискорень на характеристики транзитного потоку в каналі.

6. Врахування впливу сил інерції від конвективного прискорення при розрахунках стаціонарних систем пожежогасіння дає можливість підвищувати точність розрахунку втрат енергії зазначених систем понад 10%.

7. Отримано базис експериментальних даних, та опрацьовані результати дозволили рекомендувати нову методику розрахунку водяних стаціонарних систем пожежогасіння та їх окремих елементів, яка враховує зміну маси рідини за довжиною трубопроводу у випадку наявності розгалужень, а також запропоновані пропозиції щодо внесення змін та доповнень до нормативних документів, які регламентують питання проектування зазначених систем.

8. Матеріали досліджень впроваджені на підприємстві ТІТАЛ з виробництва протипожежної техніки, виробничому підприємстві ТОВ «ВП "Інвестспецкомплекс"», а також у навчальний процес Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Колесников Д. В. Особенности гидродинамического расчета щелевых насадок/ О. М. Яхно, С. В. Стась, В. В. Зайвый, Д. В. Колесников // Промышленная гидравлика и пневматика. – № 3. – 2009. – С. 29-34.
2. Колесніков Д. В. Вибір раціональних параметрів спеціальних струменеформуючих насадок Макаревського/ Д. В. Колесніков // Промислова гідравліка і пневматика. – №4(34). – Вінниця: Вінницький національний аграрний університет, 2011. – С. 7-10.
3. Колесніков Д. В. Аналіз чинників впливу на характеристики протипожежного струменя / Д. В. Колесніков // Вісник Національного технічного Університету України «Київський політехнічний інститут». – № 63 «Машинобудування». – 2011. – С. 237-239.
4. Колесников Д. В. О возможности применения уравнения Мещерского для описания потока неньютоновской жидкости // Д. В. Колесников, О. М. Яхно, Н. В. Семинская. – Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 3/7(63). – 2013. – С. 28-31.
5. Колесников Д. В. Дестабилизация потока в канале с изменяющимся по длине расходом// Д. В. Колесников, О. М. Яхно, Н. В. Семинская, С. В. Стась Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 3/7(69). – 2014. – С. 45-49.

Опубліковано в інших виданнях та участь у конференціях:

1. Kolesnikov D. Study of parameters of hydraulic streams used for extinguishing / S. Stas, O. Yakhno, D. Kolesnikov // Technical University of Gabrovo, ISC AmTech. – V. II. – 2007. – P. 211-215.
2. Kolesnikov D. The mathematic modeling of the process of formation of film-type flow from flat-jet nozzles / O. Yakhno, S. Stas, D. Kolesnikov // Technical University of Gabrovo, ISC UniTech. – V. II. – 2009. – P. 518-523.
3. Колесников Д. В. Особенности истечения жидкости через щелевые насадки для обеспечения равномерного расхода струи / С. В. Стась, Д. В. Колесников // Гідравліка і гідротехніка. – № 64. – 2010. – С. 59-72.
4. Kolesnikov D. Hydrodynamic entry length in high- and low-pressure water jets / S. Stas, N. Seminskaya, D. Kolesnikov // Technical University of Gabrovo, ISC UniTech. – V. II. – 2010. – P. 397-401.
5. Kolesnikov D. Calculation for characteristics of unstable flow of Newton's fluid in the action field of mass forces / O. Yakhno, S. Stas, N. Seminska, D. Kolesnikov // Technical University of Gabrovo, ISC UniTech. – V. II – 2011. – P. 267-272.
6. Фізичне моделювання процесів формування пожежних струменів / Д. В. Колесніков, О. В. Мірошніченко // Пожежна безпека: теорія і практика: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції. – Черкаси: АПБ, 2011. – С. 208-211.
7. Расчет характеристик неустойчивого потока вязкой жидкости в поле действия массовых сил / Д. В. Колесніков // Пожежна безпека: теорія і практика: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції. – Черкаси: АПБ, 2011. – С.129–131.
8. Затоплені гідравлічні струмені та їх застосування / Д. В. Колесніков, Є. В. Мельник // Пожежна безпека: теорія і практика: матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції – Черкаси: АПБ, 2011. – С.132–134.
9. Аналіз чинників впливу на характеристики пожежного струменя / Д. В. Колесніков // Прогресивна техніка і технологія-2011: Матеріали XII Міжнародної наук.-техн. конференції – Київ-Севастополь, Україна: СНУЯЕіП, 2011. – С.63.
10. Математическое моделирование процесса формирования плоских струй щелевыми насадками / Д. В. Колесников // Пожежна безпека : теорія і практика: II Міжнар. наук.-практ. конференція – Черкаси: АПБ, 2012. – С. 327–329.
11. Влияние дестабилизации течения в канале с изменяющимся по длине расходом на характеристики потока / Д. В. Колесніков, Н. В. Семинская // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції – Кіровоград: «Гідравліка-Трейд», 2014. – С.64–65.

Патенти:

12. Патент України на корисну модель № 58516 Україна, МПК (2011.01) А62С 31/00. Пожежний ствол / Колесніков Д. В., Яхно О. М., Луговський О. Ф., Стась С. В., Кришталь В. М.; Зареєстровано в Державному реєстрі 11.04.2011р. заявник та патентовласник Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України – № у 2010 13306; дата подання заявки: 09.11.2010; дата з якої є чинними права на корисну модель: 11.04.2011, дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 11.04.2011, Бюл. № 7.
13. Патент України на корисну модель № 60500 Україна, МПК (2011.01) А62С 31/00. Спосіб створення розпиленого потоку рідини. / Колесніков Д. В., Яхно О. М., Луговський О. Ф., Стась С. В. Кришталь В. М.; Зареєстровано в Державному реєстрі 6.04.2011р. заявник та патентовласник Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України – № у 2010 13305; дата подання заявки: 09.11.2010; дата з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2011, дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.06.2011, Бюл. № 12.

АНОТАЦІЯ**Колесніков Д.В. Удосконалення стаціонарних систем автоматичного водяного пожежогасіння. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. – Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Черкаси, 2014 р.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню закономірності руху рідини в гідравлічних системах, що використовуються у різних галузях техніки, в тому числі і пожежної за умови зміни маси потоку за його довжиною. Розглянуті реологічні особливості рідин з поверхнево активними добавками, що використовуються в пожежогасінні, а також трубопровідні системи, як з криволінійними так і прямолінійними магістралями, з дискретним (крізь насадки-зрошувачі) відбором рідини. Експериментально обґрунтовано, що подібного типу потоки є нестабілізованими і при визначенні втрат енергії за довжиною необхідно враховувати, крім сил в'язкого тертя, сили інерції від конвективного прискорення.

Ключові слова: тиск, швидкість, трубопровід, витрата, коефіцієнт тертя, насадка, спринклер, в'язкість, піноутворювач, число Рейнольдса.

АННОТАЦИЯ

Колесников Д.В. Усовершенствование стационарных систем автоматического водяного пожаротушения. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность. – Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, Черкассы, 2014 г.

Диссертационная работа посвящена проблемам гидродинамического расчета противопожарного стационарного и нестационарного оборудования. Рассмотрены вопросы нестабилизированного течения вязких и аномально вязких жидкостей (воды) в системах автоматического пожаротушения, где наблюдается изменение массы потока по длине трубопровода, **т. е.** осуществляется дискретный отбор жидкости по длине распределительного устройства. Для дискретного отбора используются насадки (спринклеры), которые установлены на одинаковых расстояниях друг от друга. Сложность решения данной задачи связана с тем, что при расчёте гидродинамических характеристик потока необходимо учитывать, наряду с силами вязкого трения, силы инерции от конвективного ускорения. Проведенный обзор существующих работ, посвященных данной теме показал, что в большинстве случаев при гидравлических расчетах силы инерции не учитываются. Особенно важным их учет является для смеси воды с пенообразующими веществами, которые в ряде случаев представляют собой неньютоновские жидкости. В связи с этим были проведены реологические исследования подобного типа растворов с использованием ротационного и капиллярного вискозиметров. Такие исследования дали возможность установить степень аномалии вязкости для сред с пенообразующими добавками. Результаты гидродинамических исследований проводились на экспериментальных стендах с распределительными коллекторами как прямолинейного, так и криволинейного (спиралеобразного) типа. На основании экспериментов были получены данные о распределении давления в каналах рассматриваемого типа. Показано каким образом изменяются средняя скорость и число Рейнольдса по длине трубопровода, что дает возможность получить рекомендации по расчёту коэффициента гидравлического трения на участках между насадками. Показано, что закон изменения давления и расхода по длине может быть достаточно точно описан полиномом третьей степени. При планировании экспериментов разработаны критерии оптимизации. Используя критерии Кохрена, проверена гипотеза однородности дисперсии, адекватность полученных данных проверялась с помощью критерия Фишера. Обработка экспериментальных данных позволила получить основные зависимости для гидравлических расчетов. Впервые проведен анализ и исследования влияния криволинейности трубопровода на характеристики движущегося с переменной массой по длине потока жидкости. Полученные данные дали возможность предложить более совершенную методику расчета

стационарных систем водяного орошения, которые работают как при турбулентном, так и ламинарном режимах.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований прошли апробацию в научно-производственной компании ТИТАЛ по производству пожарной техники, производственном предприятии ООО «ПК "Инвестспецкомплекс"» и были внедрены в учебный процесс Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, о чем свидетельствуют соответствующие акты.

Ключевые слова: давление, скорость, трубопровод, расход, коэффициент трения, насадка, спринклер, вязкость, пенообразователь, число Рейнольдса.

ANNOTATION

Kolesnikov D.V. Improvement of stationary automatic systems of water fire extinguishing. – Manuscript.

This thesis is for a Candidate of Technical Sciences degree, specialty 21.06.02 – Fire Safety. – Academy of Fire Safety named Heroes of Chernobyl, State Emergency Service of Ukraine. – Cherkasy, 2014.

This research is devoted to the study of regularities of movement of liquid in hydraulic systems used in different kinds of equipment, including fire equipment under the conditions of changing flow mass in length. Rheological features of liquids with surface active additives used in fire fighting are considered, as well as piping systems with straight and curved pipelines, with discrete (through sprinklers) drainage. It is experimentally substantiated that flows of such type are not stabilized. It is necessary to take into account both viscous forces and inertial forces of convective acceleration when determining energy losses in length.

Key words: pressure, velocity, pipeline, liquid flow, friction coefficient nozzle, sprinkler, viscosity, surfactant, foaming agent, Reynolds number.