

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

НАЗАРЕНКО СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ



УДК 614.84

**ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ  
НАПІРНИХ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ ПРИ НАЯВНОСТІ В НИХ  
ПРИХОВАНИХ ДЕФЕКТІВ**

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному Університеті цивільного захисту України, ДСНС України, м. Харків.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор **Ларін Олександр Миколайович**, Національний університет цивільного захисту України, професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Ковалишин Василь Васильович**, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, завідувач кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт;

кандидат технічних наук, доцент, **Пурдик Віктор Петрович**, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування.

Захист відбудеться «22» березня 2018 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.707.01 в Національному університеті цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

Автореферат розіслано «19» лютого 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



А.О. Михайлюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Серед важливих чинників, що забезпечують ефективність дій пожежно-рятувальних підрозділів, чільне місце займає не тільки їх кількісна і якісна оснащеність сучасними технічними засобами, але й надійність та безвідмовність штатних зразків пожежно-технічного обладнання і, в першу чергу, складових елементів систем подачі вогнегасних засобів до осередку пожежі, до яких безпосередньо відносяться й напірні пожежні рукави (НПР), від справного стану яких залежить успішне гасіння пожеж.

Теоретичними та експериментальними методами випробування пожежно-технічного оснащення присвячено багато робіт, серед яких слід відмітити роботи Гуліди Е.М., Безбородька М.Д., Ковалишина В.В., Ларіна О.М. Дослідженням гнучких трубопроводів і НПР, зокрема, присвячені роботи Бідермана В.Л., Степанова О.С., Пурдика В.П., Муляра Ю.І., Дусанюк Ж.П. та ін.

Розглянуті роботи мають фундаментальне значення для технологічного удосконалення НПР та засад їх експлуатації, але теоретичних і експериментальних робіт з дослідження напірних пожежних рукавів, визначення їх характеристик та особливостей використання до цього часу виконано небагато, що обумовлено складністю як структури НПР, так і процесів, що відбуваються під час їх експлуатації.

Аналізом стану рукавного господарства підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій України встановлено, що найбільш поширеними є рукави типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм, які були прийняті для досліджень.

Надійне і безпечне використання НПР обумовлюється дотриманням нормативних вимог до їх експлуатації і обслуговування, серед яких чільне місце займають гідравлічні випробування на герметичність за надлишковим тиском. Випробування пожежних рукавів проводяться під час планових перевірок не менше одного разу на рік, а також після ремонту. Дана методика випробувань визначає лише цілісність та герметичність напірних пожежних рукавів і не дає змоги визначити наявність прихованих дефектів, які під піч подальшої експлуатації можуть призвести до відмови.

Характер дефектів під час проведення штатних випробувань пожежних рукавів, поділяються на: явні (пориви та свищі), які порушують герметичність рукава; видимі порізи, потертості, пропали та хімічна корозія від забруднення паливно-мастильними матеріалами, які не порушують герметичності рукава; приховані (непомічені порізи, розриви ниток силового каркасу тощо), які не порушують герметичність рукава.

Дослідження відмов показало, що лише 75 % дефектів виявляються в ході гідравлічних випробувань, а решта відмов (25 %) трапляється на пожежах, що призводить до збільшення часу ліквідації пожеж та збитків від них.

Тому задача розробки способу і створення технічних засобів випробування та діагностування пожежних напірних рукавів, що забезпечують їх експлуатаційну надійність за рахунок пошуку прихованих дефектів, є актуальною і має практичну значущість.

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

Дисертаційні дослідження проводилися в рамках виконання Програми забезпечення пожежної безпеки (постанова Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 року № 870), а також Концепції Державної цільової програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 р. № 2348-р) та згідно з програмою науково-дослідної роботи за темою “Розробка методики діагностування та прогнозування залишкового ресурсу напірних пожежних рукавів” (№ ДР 0115 U002032), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

**Мета роботи** полягає в підвищенні достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів за рахунок визначення їх механічних властивостей за наявності прихованих дефектів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- провести аналіз особливостей експлуатації напірних пожежних рукавів, проаналізувати причини їх передчасного виходу з ладу та визначити найбільш характерні пошкодження, а також проаналізувати недоліки нормативного методу гідравлічного випробування;

- розробити розрахункову модель напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів та виконати чисельне моделювання щодо впливу наявності прихованих дефектів на особливості деформування рукавів;

- провести експериментальне визначення механічних властивостей матеріалу напірних пожежних рукавів та визначення навантажень, що діють на них під час експлуатації, а також виконати чисельний експеримент для встановлення характерних показників, таких, що вказують на наявність дефектів;

- на основі проведених досліджень визначити параметри діагностування пошкодження рукавів та оцінити вплив наявності дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів;

- розробити методику та обладнання для діагностування прихованих дефектів НПР, провести впровадження відповідного устаткування і методичних рекомендацій щодо їх використання;

- оцінити переваги запропонованого методу випробування напірних пожежних рукавів.

**Об'єкт дослідження:** вплив прихованих дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів.

**Предмет дослідження:** характеристики напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів при наявності прихованих дефектів.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети і розв'язання поставлених завдань були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень: чисельний аналіз деформованого стану напірних пожежних рукавів, який базувався на використанні методу скінченних елементів із застосуванням сучасних програмних комплексів; регресійний аналіз; експериментальні методи визначення механічних властивостей матеріалів НПР. Натурні дослідження деформацій напірних пожежних рукавів базувалися на повнофакторному експерименті із статистичним аналізом отриманих даних.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:**

- вперше досліджено рівень навантажень у напірних пожежних рукавах в умовах їх експлуатації на пожежі;
- вперше кількісно оцінено вплив наявності прихованих дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів;
- вперше запропоновано спосіб, який дозволяє визначати наявність та місцезнаходження прихованих дефектів в напірних пожежних рукавах та розроблено пристрій для його реалізації;
- підвищена достовірність результатів випробувань з виявлення дефектів у напірних пожежних рукавах.

**Практичне значення:** розроблено методику діагностування напірних пожежних рукавів для визначення наявності в них прихованих дефектів, створено відповідний пристрій, підібрано комплект належного обладнання та сформульовано рекомендації з використання установки для діагностування ННР.

Представлений спосіб випробування напірних пожежних рукавів та пристрій для його здійснення оформлено у вигляді патенту України на корисну модель (Пат. № 108407).

Моделі процесів, що відбуваються в напірних пожежних рукавах, методика та засоби діагностування технічного стану рукавів використовуються в навчальному процесі НУЦЗ України під час викладання дисциплін: «Основи проектування та конструювання пожежно-технічних і спеціальних засобів» та «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка» (акт впровадження від 12 грудня 2016 року), а запропонований метод випробування ННР для визначення наявності в них прихованих або непомічених дефектів впроваджено для практичного використання в УкрНДІЦЗ (акт впровадження від 16 лютого 2017 року).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є самостійною роботою автора. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному:

- в роботах [1, 11] опубліковано результати проведеного автором аналізу конструкцій рукавів, особливості їх використання, методів випробувань та можливих причин передчасного виходу з експлуатації;
- в роботах [5, 7, 19, 20] відображено результати проведеного здобувачем експериментального визначення механічних властивостей матеріалів ННР діаметром 51 мм під час розтягання в поздовжньому та поперечному напрямках [2, 15] і під час кручення [3, 18];
- в роботах [4, 10, 12-14, 17] опубліковано результати проведених автором експериментальних досліджень з визначення механічних властивостей матеріалів ННР діаметром 77 мм під час розтягання в поздовжньому та [8] поперечному напрямках;
- в роботах [21, 22] відображено створення здобувачем необхідного устаткування та запропоновано спосіб випробування ННР і рекомендації щодо застосування цього устаткування;
- результати проведених автором експериментальних досліджень деформації напірних пожежних рукавів з дефектом наведено в роботі [9].

**Апробація роботи.** Результати дисертаційної роботи оприлюднено, висвітлено та обговорено на: науково-технічних семінарах НУЦЗ України (м. Харків, 2013–2016); міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (НУЦЗУ, м. Харків, 2–3 жовтня 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, м. Черкаси, 19–20 травня 2016 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (ЛДУ БЖД, м. Львів, 20–21 жовтня 2016 р.); 9-й та 10-й міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених, курсантів (студентів), слухачів магістратури та ад'юнктів «Забезпечення безпеки життєдіяльності: проблеми і перспективи» (КП МНС Республіки Білорусь, м. Мінськ, 2015–2016 рр.); міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації» (ГП МНС Республіки Білорусь, м. Гомель, 19–20 травня 2016 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (КТИ КНС МВС Республіки Казахстан, м. Кокшетау, 17 березня 2017 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 наукових праці, з яких 7 статей у наукових фахових виданнях України, 3 публікації у закордонних виданнях, 10 тез доповідей на конференціях, 2 патенти України на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 174 сторінки машинописного тексту і включає: основну частину обсягом 111 сторінок, у тому числі: 67 ілюстрацій, 25 таблиць та список використаних джерел зі 128 найменувань. Дисертаційна робота включає 7 додатків, розміщених на 19 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

*В першому розділі* дисертаційної роботи проведено аналіз конструкцій напірних пожежних рукавів (НПР), які призначені для подавання вогнегасних речовин до осередку пожежі. Конструкція НПР, здебільшого, складається із текстильного силового каркасу, внутрішнього пружного гідроізоляційного шару, а в деяких випадках, зовнішнього захисного покриття, яке може бути багат шаровим.

Загальні вимоги до виробництва, експлуатації та методів випробувань напірних пожежних рукавів встановлюється ДСТУ 3810-98.

Залежно від сфери застосування НПР поділяються на типи, зокрема найбільш вживані рукави типу «Т» застосовуються для оснащення пожежних автомобілів, мотопомп та зовнішніх пожежних кран-комплектів, рукави типу «К» - для внутрішніх пожежних кран-комплектів. Деякі нормативні параметри та розміри найбільш вживаних типів НПР вказані в таблиці 1.

Нормативні параметри та розміри напірних пожежних рукавів

Тип рукава	Т	К
	Номінальне значення	
1. Внутрішній діаметр, мм	51,0	51,0
	77,0	-
2. Довжина рукава, м	20	20
3. Робочий тиск, МПа	1,6	1,0
4. Випробувальний тиск, МПа	2,4	1,5
5. Розривний тиск, МПа	4,0	2,5

Аналізуючи види дефектів та їх дислокації в пожежних рукавах, а також розглядаючи відповідні першоджерела, встановлено, що виникнення дефектів в більшості випадків пов'язане як з порушеннями технологічної дисципліни у процесі виготовлення НПР, так і з впливом зовнішніх факторів, наприклад, тертя під час транспортування або недотримання нормативних вимог під час роботи на пожежі.

Практика експлуатації напірних рукавів свідчить, що їх руйнування практично завжди відбувається на технологічній складці, а причинами відмов є свищі 60 %, 30 % і 10 % розриви і зриви головок відповідно.

Дефекти певним чином розподіляються по довжині пожежного рукава. На рис. 1 представлена кількість дефектів на певних ділянках напірних пожежних рукавів, таких як перегин, потертість, свищ і розрив.

Найчастіше дефекти виникають біля з'єднувальних головок, а найрідше – в центрі рукава. Вид та значущість дефекту впливає як на прогноз подальшого використання рукава, так і на вибір (при можливості) способу ремонту.

Незважаючи на вимоги нормативних документів, під час гасіння пожеж в умовах суворих часових обмежень трапляються випадки порушень правил експлуатації напірних пожежних рукавів і, відповідно, їх пошкодження, які необхідно визначити і (за можливості) усунути під час технічного обслуговування.

Технічні засоби обслуговування пожежних рукавів, що знаходяться у пожежно-рятувальних підрозділах, не відповідають сучасному технічному рівню, а їх окремі види або зовсім відсутні, або морально та фізично застаріли.

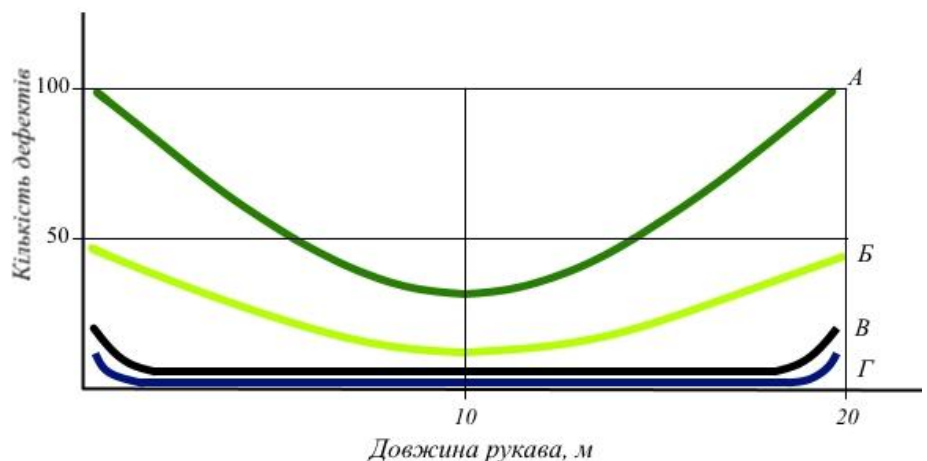


Рис. 1. Розподіл місць утворення перегинів (А), потертостей (Б), свищів (В) і розривів (Г) по довжині напірних пожежних рукавів

Це стосується і засобів випробувань НПР, які визначають лише цілісність та герметичність напірних пожежних рукавів і не дають змоги визначити наявність дефектів, які під час подальшої експлуатації можуть призвести до розриву.

Для теоретичних досліджень оцінки міцності напірних рукавів доцільно використовувати метод скінченних елементів, який надає можливість визначити особливості деформування НПР, параметрів їх напружено-деформованого стану (НДС) з урахуванням наявності дефекту.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок про необхідність розробки методики випробування НПР та відповідного технічного устаткування для визначення наявності дефектів. Сформульовано задачу наукових досліджень.

*Другий розділ* присвячено теоретичному обґрунтуванню вибору критерію діагностування наявності дефектів у напірних пожежних рукавах. Розроблено фізичну модель рукава, який розглядається як одношарова гнучка циліндрична оболонка, що має внутрішній діаметр  $d$  та товщину стінки  $\delta$ , і знаходиться під дією рівномірно розподіленого внутрішнього навантаження, яке спричинене гідравлічним тиском  $P$  рідини всередині рукава і котре є постійним, або змінюється за відповідним законом залежно від задач дослідження.

Згідно із фізичною моделлю для двох найбільш вживаних типорозмірів пожежних рукавів, які є об'єктом дослідження (типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм), прийняте наступне припущення – оскільки рукави типу «Т» мають внутрішній герметизуючий гумовий шар, який щільно з'єднаний із тканинним силовим каркасом з утворенням монолітного конгломерату, параметр  $\delta$  моделі дорівнює їх сумарній товщині.

Оскільки в роботі пропонується проводити технічне діагностування наявності прихованих дефектів у пожежних напірних рукавах шляхом їх механічних випробувань, то важливою частиною розробки системи діагностики такого типу є розрахункове визначення параметра діагностування та закономірностей зміни зазначених параметрів залежно від наявності дефекту і його характеристик, що дозволяє звузити спектр планування наступних експериментів, а також теоретично обґрунтувати доцільність та межі застосування обраного параметра діагностування.

В ролі параметра діагностування наявності дефектів в НПР розглядається зміна механічного відгуку навантаженого рукава із дефектами на додаткові додані йому деформації. Визначення закономірностей відповідної зміни є основною метою теоретичних досліджень.

Для оцінки НДС напірних рукавів використано метод скінченних елементів (МСЕ), що надав можливість розробити відповідну математичну модель пожежного рукава та визначити особливості його деформування за наявності дефекту.

У процесі комп'ютерного моделювання відповідно до розробленої фізичної моделі, побудовано геометричну модель частини рукава, задано фізичні властивості його матеріалу, побудовано сітку скінченних елементів, задано граничні умови, а також навантаження, які відповідають умовам випробувань у подальшому, і проведено розрахунки для знаходження параметрів напружено-деформованого стану рукава у процесі гідравлічних випробувань (тобто в умовах



навантаження внутрішнім тиском) (рис. 2) за наявності дефектів різного розміру та напрямку.

Відповідно до задачі дослідження на числовій моделі проведено розрахунки зміни кута закручування рукавів залежно від розміру і напрямку відповідного дефекту.

Дефекти моделювалися за довжині від 0 до 100 мм та глибиною 0,2 мм та 0,7 мм. Розрахунки проводилися в умовах статичного навантаження від дії заданого крутного моменту.

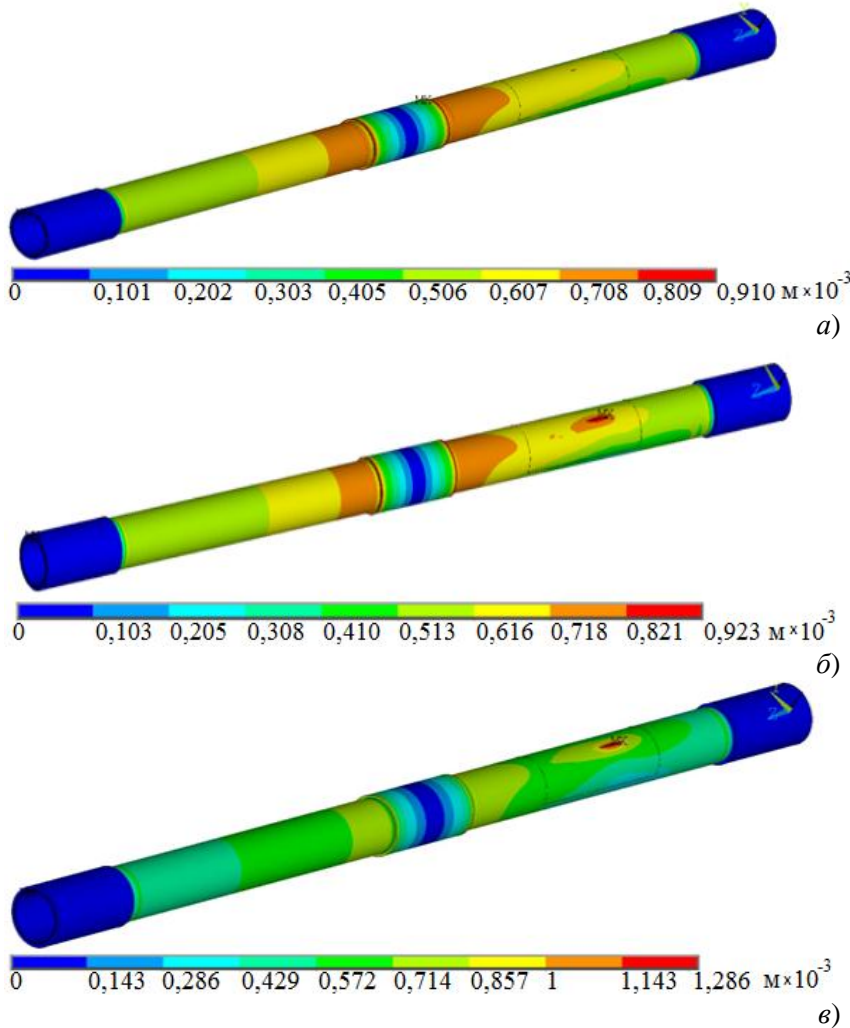


Рис. 2. Розподіл переміщень для НПР з дефектом довжиною 5 мм та глибиною 0,2 мм (а), а також довжиною 100 мм та глибиною: 0,2 мм (б) та 0,7 мм (в)

Результати розрахунків зміни кута закручування НПР залежно від розміру та напрямку дефекту наведено в таблиці 2 та на рис. 3–4.

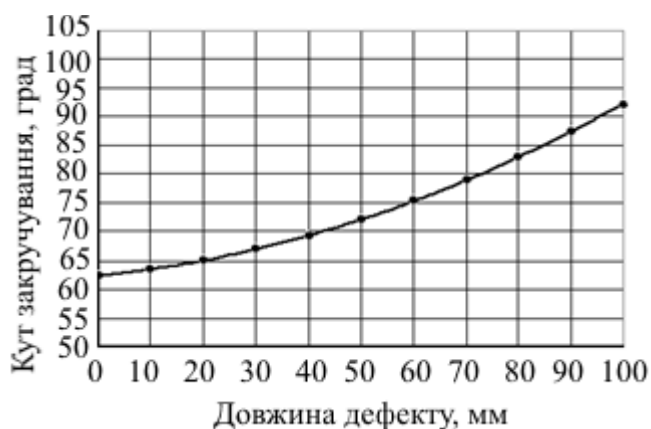
Аналіз результатів чисельного експерименту, тобто розрахунку зміни кута закручування НПР, під дією фіксованого моменту залежно від типу рукава, розміру та напрямку дефекту дозволив прийняти цей чинник – кут закручування пожежного рукава (величина якого залежить від наявності та розмірів дефекту рукава) в ролі відгуку, що може бути використаний для пошуку цього дефекту.

Виявлено, що вже за глибини розрізу 0,2 мм має місце вплив дефекту. В НПР з дефектом формується суттєва концентрація напружень в області самого дефекту. Так для дефекту з довжиною 5 мм та глибиною 0,2 мм та 0,7 мм максимальні напруження досягають 18,9 МПа та 24,9 МПа, відповідно (за відсутності дефекту 10,6 МПа). Для дефекту з великою довжиною (100 мм) концентрація напружень ще більша.

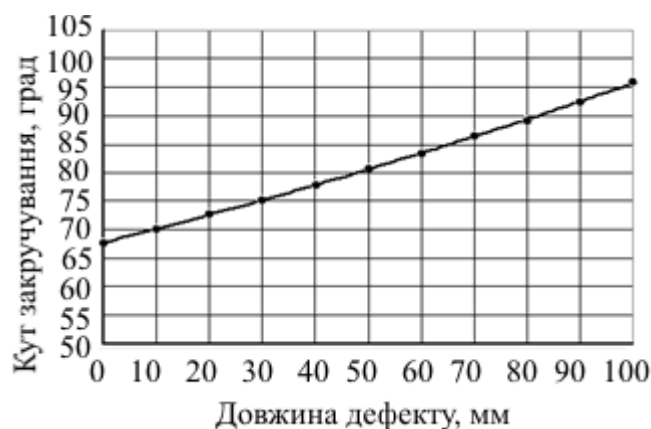
До моделі закладались експериментально визначені механічні властивості стабілізованого стану матеріалу НПР – значення поздовжнього та поперечного модулів пружності у разі розтягання, модулю пружності у разі кручення якщо значення тиску 0,6 МПа.

Зміна кута закручування НПР залежно від розміру та напрямку дефекту

№	Довжина дефекту, мм	Кут закручування, град			
		Рукав типу «Т», Ø 51 мм		Рукав типу «Т», Ø 77 мм	
		Дефект по основі	Дефект по утку	Дефект по основі	Дефект по утку
1.	0	62,4	65,84	26,71	26,95
2.	10	63,14	70,12	27,22	27,73
3.	20	65,10	72,61	28,05	28,25
4.	30	67,41	75,14	28,95	29,73
5.	40	69,18	77,72	30,06	30,31
6.	50	72,14	81,16	31,02	31,86
7.	60	75,11	83,25	32,12	33,34
8.	70	78,53	85,21	33,24	34,75
9.	80	83,21	89,05	34,45	36,25
10.	90	87,56	92,52	36,07	38,24
11.	100	92,38	95,14	37,38	40,12

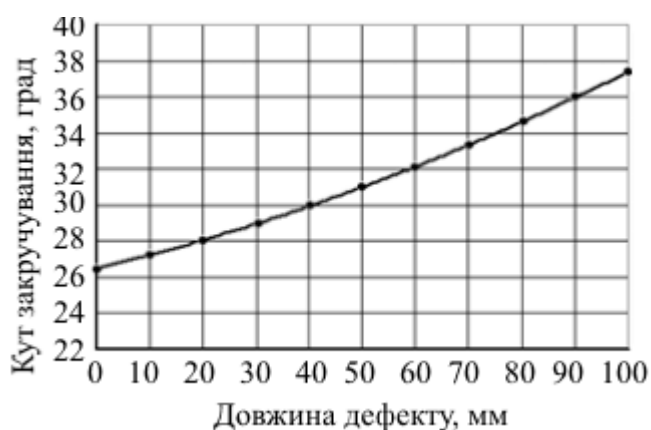


а)

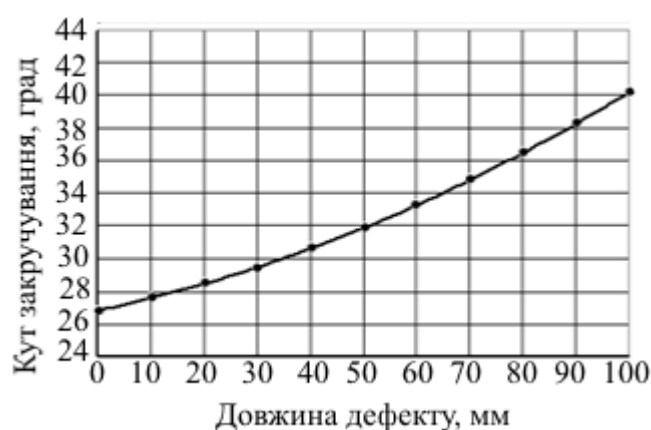


б)

Рис. 3. Розрахункова залежність кута закручування рукава Ø 51 мм від довжини дефект по основі (а) та по утку (б)



а)



б)

Рис. 4. Розрахункова залежність кута закручування рукава Ø 77 мм від довжини дефект по основі (а) та по утку (б)

**В третьому розділі**, який присвячено експериментальним дослідженням напірних пожежних рукавів, визначені навантаження, що діють на них у процесі експлуатації. Під час використання напірних рукавів на пожежі рідина подається під тиском, який є основним навантаженням силового каркасу НПР та змінюється

відповідно до оперативних задач. Для чисельних розрахунків НДС та особливостей роботи НПП проведено дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальних пожеж. Для дослідження використовувався штатний манометр автоцистерни, значення тиску якого фіксувались відеореєстратором. Виміри тиску в рукавній лінії проводились з проміжком 15 секунд.

Статистична обробка результатів дослідження дозволила прийняти в ролі силового навантаження у процесі числових розрахунків характеристик НДС пожежних рукавів як нових, так і з дефектами, наступні значення тиску – середнє експлуатаційне – 0,31 МПа, максимальнє експлуатаційне – 0,6 МПа, максимальнє випробувальнє – 2,4 МПа.

Для чисельних розрахунків напружено-деформованого стану та відповідних параметрів роботи НПП як цілих, так і з дефектами, проведено визначення механічних властивостей пожежних рукавів виробництва фірми «Набат», які експлуатувалися протягом одного року ( $\approx 85$  годин використання).

З урахуванням особливостей фізичної моделі визначено модулі пружності при розтяганні матеріалу НПП у поздовжньому (вздовж основи) та поперечному (вздовж утка) напрямках, а також модуль пружності під час випробувань при зсуві на кручення.

Аналіз результатів випробувань в умовах статичного навантаження свідчить, що фізико-механічні властивості НПП, що визначені математичною обробкою результатів серії відповідних експериментів, значно залежать від «історії» їх навантаження, тобто на перших двох-трьох режимах навантаження модулі пружності збільшувалися і лише потім, на наступних – стабілізувалися, у разі суттєвого зменшення залишкових деформацій, що наближає поведінку матеріалу пожежних рукавів до пружного. Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагментів пожежних рукавів дозволяє визначити модулі пружності їх матеріалу (табл. 3).

Таблиця 3

## Фізико-механічні властивості матеріалів НПП

Модуль пружності матеріалу НПП	Рукав типу «Т», з внутрішнім діаметром d	
	d = 51 мм	d = 77 мм
Поздовжній ( $k_x$ ), МПа	284	441
Поперечний ( $k_y$ ), МПа	397	643
При крученні ( $k_\phi$ ), МПа	17	9,35

Відповідно до задач дисертаційної роботи розроблено та захищено патентом України обладнання та методики проведення експериментальних досліджень НПП з метою визначення впливу довжини дефекту ( $L_d$ ) та його напрямку на кут закручування ( $\phi$ ) НПП залежно від значення тиску (P) води в рукаві під дією фіксованого крутного моменту, тобто одержання залежності  $\phi = f(L_d, P)$ .

У процесі проведення досліджень та обробки отриманих результатів використано метод планування експерименту. Оскільки в випробуваннях досліджувався вплив тільки двох факторів, то було поставлено експеримент типу  $2^2$ . Значення тиску в рукаві варіювалося від 0,2 МПа (найменший тиск) до 0,6 МПа (найбільший тиск). Нижній рівень довжини дефекту становив – 0 мм, що

обумовлено необхідністю визначити зміну кута закручування на неушкодженному пожежному рукаві. Максимальна довжина дефекту обиралась 100 мм.

За підсумками статистичної обробки результатів дослідження отримано рівняння (1), (2) для випадків дефектів по основі та по утку для рукава із внутрішнім діаметром 51 мм та рівняння (3), (4) для рукава з внутрішнім діаметром 77 мм:

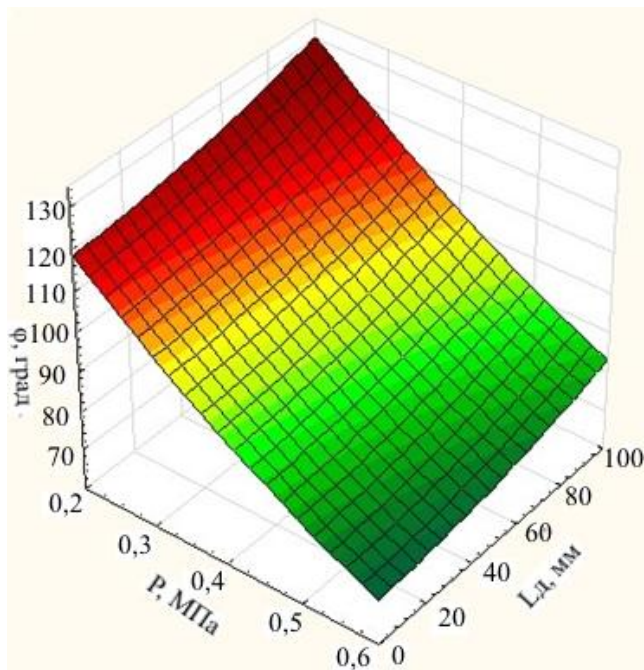
$$\varphi_{51}^o = 91,75P^2 + 0,000848L_d^2 - 191,3P + 0,0362L_d - 0,005P L_d + 153,17; \quad (1)$$

$$\varphi_{51}^y = 117,5P^2 - 0,00086L_d^2 - 209,6P + 0,282L_d - 0,075P L_d + 155,68; \quad (2)$$

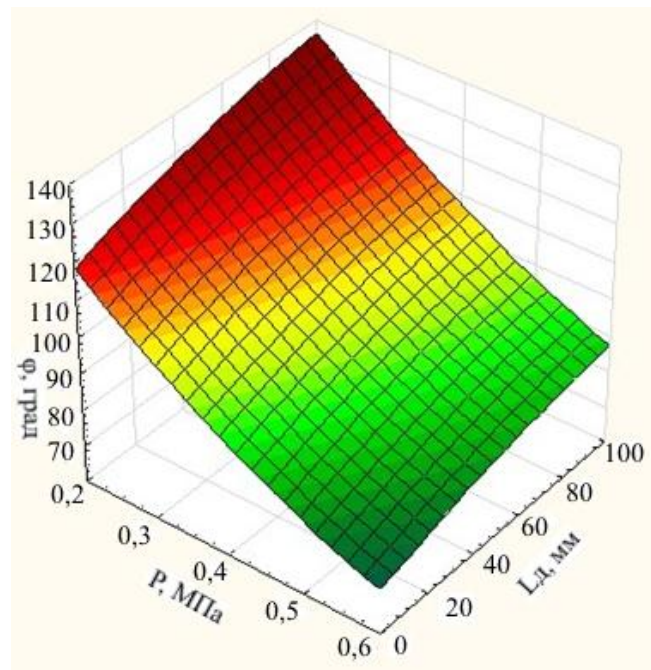
$$\varphi_{77}^o = 74,17P^2 + 0,00022L_d^2 - 114,92P + 0,033L_d - 0,005P L_d + 71,66; \quad (3)$$

$$\varphi_{77}^y = 68,33P^2 + 0,00025L_d^2 - 110,99P + 0,034L_d + 0,04P L_d + 71,18 \quad (4)$$

де  $\varphi$  – кут закручування, град;  $P$  – тиск в рукаві, МПа;  $L_d$  – довжина дефекту, мм, і побудовано поверхні відгуку залежності зміни кута закручування  $\varphi$  напірного пожежного рукава діаметром 51 мм (рис. 5) та 77 мм (рис. 6) від довжини дефекту  $L_d$  та тиску в рукаві  $P$  для випадків дефекту по основі (а) та по утку (б).



а)



б)

Рис. 5. Залежність кута закручування від тиску в рукаві та довжини дефекту по основі (а) та по утку (б) для НПР Ø51 мм

Аналізуючи отримані зображення поверхонь відгуку залежності зміни кута закручування НПР діаметром 51 мм та 77 мм від тиску в рукаві, можна зробити висновок, що вона має практично лінійний характер. Це дає змогу зробити висновок, що величина тиску не впливає на характер зміни кута закручування  $\varphi$  рукава від довжини дефекту  $L_d$  як по основі, так і по утку, тому для практичного застосування доцільно використовувати тиск  $P=0,6$  МПа.



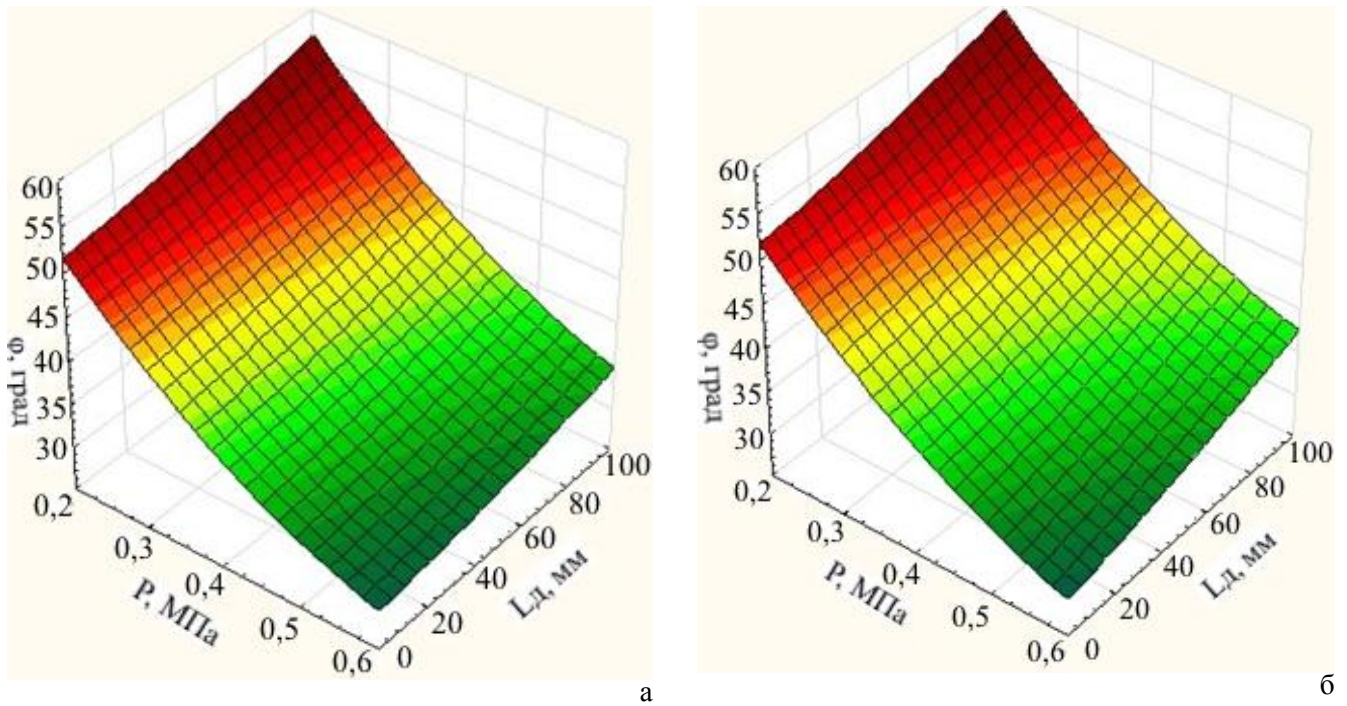


Рис. 6. Залежність кута закручування від тиску в рукаві та довжини дефекту по основі (а) та по утку (б) для НІР Ø77 мм

Враховуючи тиск  $P=0,6$  МПа можна записати наступні рівняння для НІР діаметром 51 мм (5), (6) та 77 мм (7), (8):

$$\varphi_{51}^{\circ} = 71,42 + 0,000848L_{д}^2 + 0,0332L_{д}; \quad (5) \quad \varphi_{51}^y = 72,22 - 0,00086L_{д}^2 + 0,237L_{д} \quad (6)$$

$$\varphi_{77}^{\circ} = 29,41 + 0,00022L_{д}^2 + 0,03L_{д}; \quad (7) \quad \varphi_{77}^y = 29,18 + 0,00025L_{д}^2 + 0,058L_{д}. \quad (8)$$

Залежність кута закручування від довжини дефекту при постійному тиску  $P=0,6$  МПа, яка визначена рівняннями 5–8, наведена на рис. 7 та рис. 8.

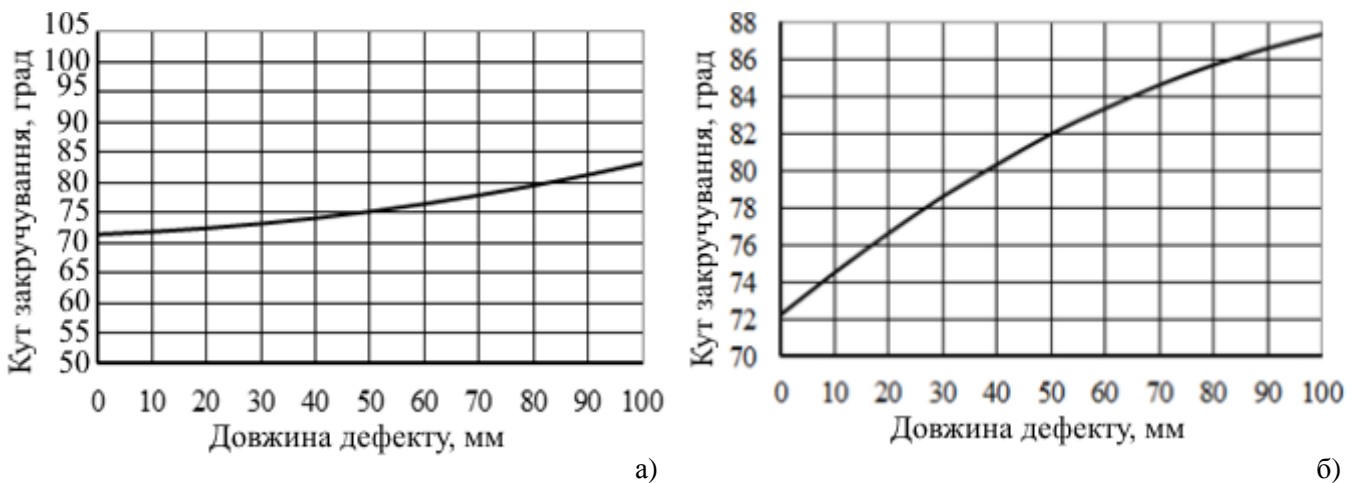


Рис. 7. Експериментальна залежність (рівняння 5, 6) кута закручування рукава Ø 51 мм від довжини дефект по основі (а) та дефект по утку (б)

Адекватність математичної моделі визначається порівнянням результатів теоретичних розрахунків з даними натурних випробувань. Експериментально визначені залежності кутів закручування ділянок рукавів типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм від довжини дефектів при постійному тиску  $P=0,6$  МПа під дією фіксованого моменту (рис. 7, 8) відповідно для основи і утка та результати

аналогічних залежностей, отримані розрахунками на математичній моделі (рис. 3, 4), співпадають за характером, тобто збільшуються у разі зростання величини дефекту, а кількісно відрізняються на 6,2–14,2 % (таблиця 4).

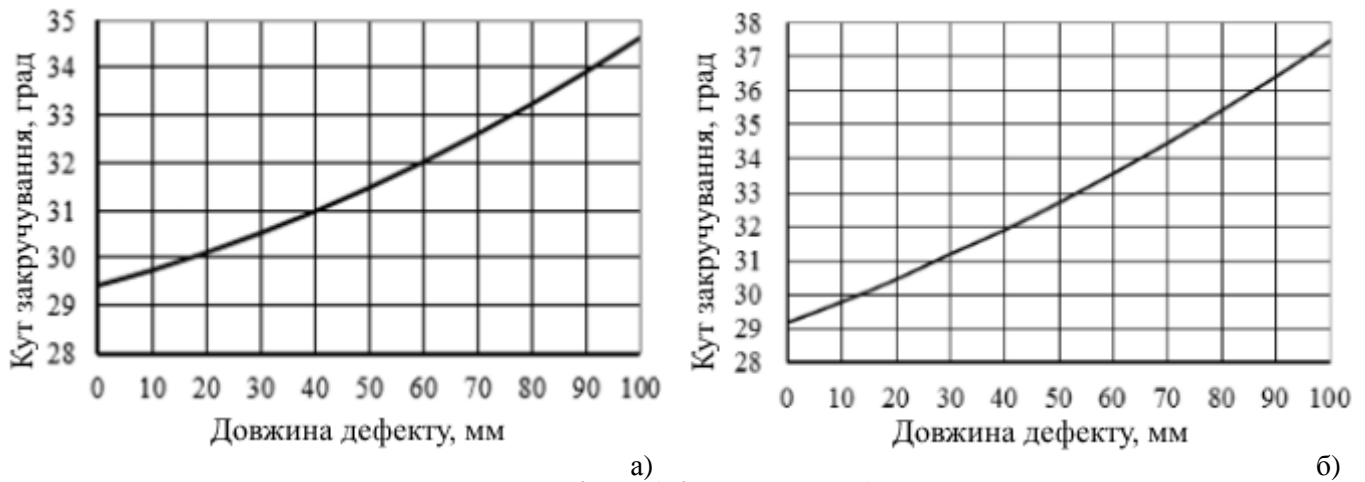


Рис. 8. Експериментальна залежність (рівняння 7, 8) кута закручування рукава Ø 77 мм від довжини дефект по основі (а) та дефект по утку (б)

Аналіз даних таблиці 4 демонструє що наявність дефекту призводить до збільшення кута закручування на 16–28 %.

Таблиця 4

Кількісна оцінка відмінностей результатів теоретичних та експериментальних досліджень

Рукав	Дефект Довжина, мм	По основі			По утку		
		Розрахунок	Експеримент	Відмінність %	Розрахунок	Експеримент	Відмінність %
Тип «Т» Ø 51 мм	0	62,5	71,4	14,2	67,7	72,2	6,2
	100	92,4	83,2	9,9	95,1	87,3	8,2
Тип «Т» Ø 77 мм	0	26,7	29,4	10,1	26,9	29,2	8,3
	100	37,4	34,6	7,4	40,1	37,5	6,6

Вказане доводить адекватність математичної моделі та допустимість припущень, які були зроблені при її створенні.

**В четвертому розділі** розроблено методику випробувань пожежних рукавів і пошуку місця розташування дефекту із застосуванням запропонованої установки.

Проведено теоретичні дослідження та розрахунки на математичній моделі напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів як цілих, так і при наявності дефектів; встановили характерний показник – кут їх закручування, який дає можливість експериментального визначення наявності та місця розташування прихованих дефектів НПР.

Експериментальні дослідження, проведені за відповідно розробленою методикою на спеціально сконструйованому пристрої (рис. 9) підтвердили результати теоретичних досліджень, тобто довели можливість практичного визначення наявності прихованих дефектів в рукавах.

Прототип випробувального пристрою, який захищено патентом України, дозволяє методом послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР

під дією фіксованого крутного моменту, визначити ділянки, де кут закручування суттєво збільшується, що свідчить про наявність на них дефектів. Обмеженість відповідної ділянки, яка визначається розмірами випробувального пристрою, значно полегшує знаходження дефектів у подальшому.

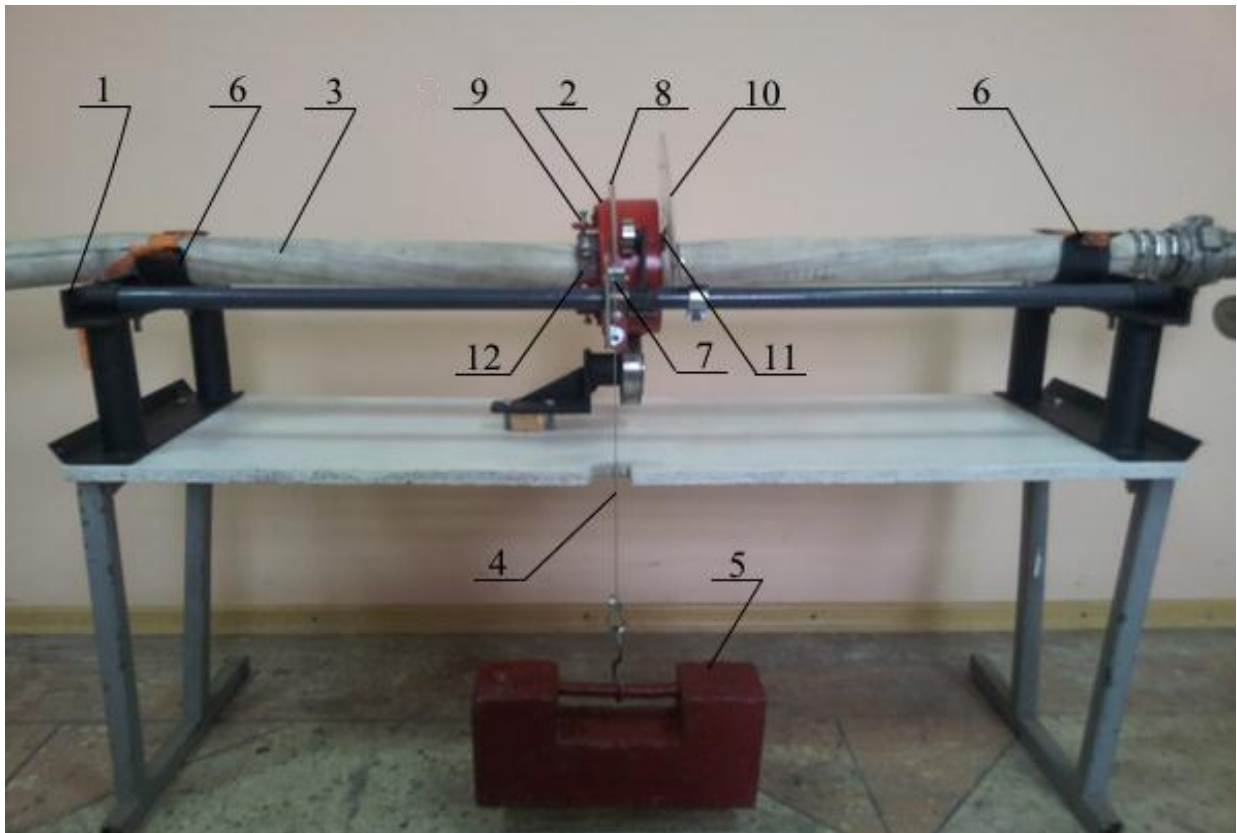


Рис. 9. Прототип установки для визначення кута закручування пожежних напірних рукавів: 1 – рама установки; 2 – головний активний корпус; 3 – зразок напірного пожежного рукава; 4 – трос; 5 – вантаж; 6 – циліндричні затискачі; 7 – опора кочення; 8 – направляюча тросу; 9 – фіксатори; 10 – вимірювач деформації; 11 – стрілка-показчик; 12 – затискач

Доведена вище можливість використання запропонованого методу випробувань НПР для пошуку прихованих дефектів потребує визначення його доцільності та ефективності. Відповідні дослідження були проведені шляхом спостереження за двома групами НПР, що знаходились в оперативному розрахунку. За основними характеристиками, термінами експлуатації та фірмами-виробниками рукави були однакові. Обидві групи НПР (в кожній групі 30 рукавів) після використання проходили штатне обслуговування. Після штатного обслуговування НПР першої групи (експериментальної) проходили додаткову перевірку з використанням запропонованої методики пошуку прихованих дефектів.

З рукавами другої групи, яка була визначена як контрольна, додаткова перевірка з використанням запропонованої методики випробувань не проводилась, і вони ставились в оперативний розрахунок. За підсумками випробувань виявлені дефекти мали наступний розподіл (рис. 10).

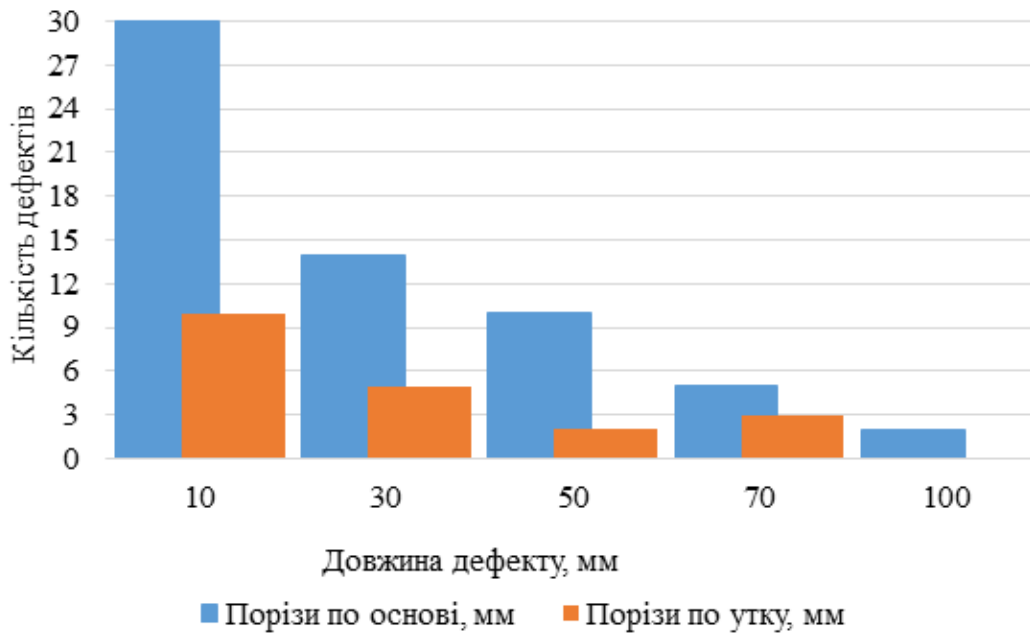


Рис. 10. Гістограма розподілення дефектів за розміром та напрямом

Аналіз використання рукавів у подальшому (таблиця 5) встановив, що НІР експериментальної групи мали на 12% менше виходів із ладу на пожежах, ніж рукави контрольної групи (зриви головок не враховувались), що доводить доцільність та ефективність використання запропонованого методу випробувань НІР для пошуку прихованих дефектів.

Таблиця 5

#### Аналіз використання рукавів

Кількість використань рукавів контрольної та експериментальної груп за рік	
657	
Контрольна група (30 рукавів)	Експериментальна група (30 рукавів)
Кількість використань рукавів	
648	654
Кількість дефектів, знайдених в ході штатного обслуговування рукавів після використання	
59	67
Кількість дефектів, знайдених в ході додаткового обстеження за запропонованою методикою в експериментальній групі	
–	34
Кількість відмов рукавів у процесі використань	
117	103

Таким чином доведено доцільність застосування запропонованого методу, оскільки при цьому підвищується достовірність результатів випробувань.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі підвищення



достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів за наявності в них прихованих дефектів. При цьому одержано такі основні результати.

1. Виявлено, що існуючий метод гідравлічних випробувань НПР не забезпечує достатній рівень достовірності результатів. Аналіз даних з експлуатації напірних рукавів показав, що в ході випробувань виявляться лише 75% пошкоджених рукавів, а решта відмов трапляється під час експлуатації. Гідравлічні випробування визначають лише цілісність та герметичність рукавів в цілому і не дають змогу встановити наявність та місцезнаходження дефектів.

2. Розроблено розрахункову модель напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів та виконано чисельне моделювання щодо впливу наявності прихованих дефектів на деформування рукавів.

Характерні дефекти змодельовано у вигляді розрізів у повздовжньому та поперечному напрямках для двох значень глибини. Виявлено, що вже за глибини розрізу 0,2 мм має місце вплив дефекту на кут закручування НПР. В НПР з дефектом формується суттєва концентрація напружень в області самого дефекту. Так для дефекту з довжиною 5 мм і глибиною 0,2 мм та 0,7 мм максимальні напруження досягають 18,9 МПа та 24,9 МПа відповідно (порівняно з 10,6 МПа якщо немає дефекту). Для дефекту з великою довжиною (100 мм) концентрація напружень ще більша – 21,9 МПа та 92 МПа для малої та великої глибини, відповідно.

3. Статистична обробка результатів дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальних пожеж, установила його відповідні значення – середнє експлуатаційне – 0,31 МПа та максимальне експлуатаційне – 0,6 МПа, які визначили параметри силового навантаження напірних пожежних рукавів.

Експериментально встановлено, що фізико-механічні властивості НПР, зокрема, модулі пружності їх матеріалу, залежать від «історії» їх навантаження – на перших двох-трьох режимах випробувань модулі пружності збільшувалися і лише потім, на наступних, стабілізувалися. У разі суттєвого зменшення залишкових деформацій, що наближає поведінку матеріалу пожежних рукавів до пружної.

4. Чисельні розрахунки з урахуванням експериментально визначених фізико-механічних властивостей НПР дозволили визначити відповідний чинник – кут закручування пожежного рукава під дією фіксованого моменту, величина якого значною мірою залежить від наявності та розмірів дефекту рукава, що може бути використано для пошуку цього дефекту.

Визначено, що відмінність між розрахунковими та експериментальними результатами визначення зміни кута закручування рукава від довжини дефекту як по основі, так і по утку становить від 6,2 % до 14,2 %, тобто доведено адекватність математичної моделі.

5. Розроблений випробувальний пристрій дозволяє методом послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР під дією фіксованого крутного моменту визначити ділянки, де кут закручування суттєво збільшується. Наявність дефекту призводить до збільшення кута закручування на 16 – 28 %.

6. Використання запропонованого методу дозволило підвищити достовірність результатів випробувань напірних пожежних рукавів на 12 %

порівняно з нормативними гідравлічними випробуваннями, що доводить доцільність та ефективність цього методу.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у міжнародних фахових виданнях*

1. Коханенко В.Б. К вопросу надежности пожарных рукавов / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко, А.Н. Ларин, В.В. Ефименко // Вестник Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан № 4 (12) – Кокшетау: КТИ МЧС РК, 2013. – С. 42-46.

2. Ларин А.Н. Определение поперечной жёсткости пожарных рукавов диаметром 51 мм / А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Чрезвычайные ситуации: Образование и наука: междунар. науч.-практ. журнал. – Гомель, ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2016, ТОМ 11, № 1. – С. 22-26.

3. Larin A.N. Definition of elastic properties of fire hoses of type "T" with a diameter of 51 mm under torsion / A.N. Larin, G.A. Chernobay, S.Y. Nazarenko, V.A. Lipovoy // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. – Warszawa, Polska, №8 2016 część 7. – P. 90-94.

### *Статті у наукових фахових виданнях*

4. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2014. – Вып. 35. – С. 133-138.

5. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості рукавів з внутрішнім діаметром 51 мм, якими оснащуються пожежні потяги / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2014. – № 37. – С. 151-156.

6. Назаренко С.Ю. Визначення механічних властивостей пожежного рукава типу "Т" діаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2014. – Вып. 36. – С. 174-179.

7. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу "Т" з внутрішнім діаметром 51 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2015. – Вып. 37. – С. 135-141.

8. Ларін О.М. Визначення поперечної жорсткості пожежного рукава діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.О. Липовий // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2016. – Вып. 40. – С. 129-133.

9. Назаренко С.Ю. Експериментальне визначення кута закручування напірного пожежного рукава, що має дефект / С.Ю. Назаренко, О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.А. Виноградов // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2017. – Вып. 41. – С. 117-123.

10. Ларін О.М. Дослідження поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Т» діаметром 77 мм з урахуванням структурних елементів пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Вісник НТУ ХПІ «Новітні рішення в сучасних технологіях». – Х., 2015. – № 39 (1148). – С. 41-46.

### *Матеріали науково-технічних конференцій*

11. Коханенко В.Б. К вопросу эксплуатации пожарных напорных рукавов / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко // Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції. Частина 1, – Х.: НУЦЗУ 2014. – С. 149-150.

12. Ларін О.М. Планування проведення експерименту на визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – С. 127-129.

13. Ларин А.Н. Определение продольной жесткости пожарного рукава диаметром 77 мм / А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Материалы V Международной науч.-практ. конф. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2014. – С. 368-372.

14. Коханенко В.Б. Дослідження механічних властивостей армуючого каркасу пожежного рукава діаметром 77 мм / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 81-83.

15. Назаренко С.Ю. Планирование проведения эксперимента на определение поперечной жесткости пожарного рукава типа «Т» диаметром 51 мм. / С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) "Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы" – Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2015. – С. 122-123.

16. Назаренко С.Ю. Планирование эксперимента на определение упругих свойств пожарного рукава типа «Т» диаметром 51 мм при кручении / С.Ю. Назаренко // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 19–20 мая 2016 г. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – С. 243-244.

17. Назаренко С.Ю. Исследование продольной жесткости внутреннего резинового шара пожарных рукавов диаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко, Г.А. Чернобай // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) "Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы" – Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2016. – С. 150-152.

18. Чернобай Г.О. Визначення модулю пружності при крученні пожежного рукава типу «Т» діаметром 51 мм з внутрішньому тиску 0,2 МПа / Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // VII Міжнар. наук-практ. конф. «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»: матеріали конференції. – Черкаси: ЧПБ, 2016. – С. 186-189.

19. Чернобай Г.О. Визначення жорсткості в повздовжньому напрямку пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм // Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Міжнар. наук-практ. конф. «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації.» – Львів, ЛДУ БЖД, 2016. – С. 462-464.

20. Chernobay G. Planning of carrying out experiment on determination of longitudinal rigidity of a fire hose of the type "t" in diameter of 51 mm / G. Chernobay, S. Nazarenko // Матеріали Междунар. науч.-практ. конф. Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы. – Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан», 2017. – С. 215-217.

### *Патенти*

21. Пат. 102364 Україна, МПК (2015.01) F15B 19/00. Спосіб випробування напірних пожежних рукавів / О.М. Ларін, С.А. Виноградов, В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко, Г.О. Чернобай, заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201504252, заяв. 30.04.2015; опубл. 26.10.2015, бюл. № 20.

22. Пат. 108407 Україна, МПК (2016.01) F15B 19/00. Спосіб випробування пожежних напірних рукавів / С.А. Виноградов, С.В. Васильєв, С.Ю. Назаренко, О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, А.Я. Калиновський, О.О. Ларін, заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201601226, заяв. 12.02.2016; опубл. 11.07.2016, бюл. № 3.

### АНОТАЦІЯ

Назаренко С.Ю. Підвищення достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів при наявності в них прихованих дефектів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека, Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2018 р.

У дисертаційній роботі проведено аналіз конструкцій напірних пожежних рукавів (НПР), особливостей їх експлуатації та методи випробувань, які визначають лише цілісність та герметичність рукавів.

Проведено експериментальні дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальних пожеж встановлено максимальне експлуатаційне значення, що визначає силове навантаження НПР.

Експериментально визначено фізико-механічні властивості НПР, зокрема, модулів пружності у разі розтягання у поздовжньому та поперечному напрямках, а також при зсуві на кручення для конкретизації чисельних розрахунків на розробленій методом скінчених елементів моделі, адекватність якої доведена експериментально.

На основі проведених розрахунків отримано регресійні моделі залежності зміни кута закручування рукава від довжини дефекту, аналіз яких дозволив прийняти цей чинник визначальним для пошуку дефектів НПР і розробити прототип випробувального пристрою.

Ключові слова: напірні пожежні рукави, випробування, дефекти, модуль пружності, кут закручування, пожежно-технічне обладнання, пожежно-рятувальні підрозділи.

## АНОТАЦІЯ

Назаренко С.Ю. Повышение достоверности результатов испытаний напорных пожарных рукавов при наличии в них скрытых дефектов. – На правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, 2018 г.

В диссертационной работе проведен анализ конструкций напорных пожарных рукавов (НПР), особенностей их эксплуатации и методы испытаний, которые определяют только целостность и герметичность рукавов.

Проведены экспериментальные исследования изменения давления в рукавной линии при тушении реальных пожаров, установлено максимальное эксплуатационное значение, определяющее силовую нагрузку НПР.

Экспериментально определены физико-механические свойства НПР, в частности, модулей упругости при растяжении в продольном и поперечном направлениях, а также при сдвиге на кручение для конкретизации численных расчетов на разработанной методом конечных элементов модели, адекватность которой доказана экспериментально.

На основе проведенных расчетов получены регрессионные модели зависимости изменения угла закручивания рукава от длины дефекта, анализ которых позволил принять этот фактор определяющим для поиска дефектов НПР и разработать прототип испытательного устройства.

Ключевые слова: напорный пожарный рукав, испытания, дефект, модуль упругости, угол закручивания, пожарно-техническое оборудование, пожарно-спасательные подразделения.

## ABSTRACT

Nazarenko S.Yu. Increase of the reliability of the results of tests of pressure fire hoses in the presence of hidden defects in them. - Qualifying research paper as manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences with a specialization 21.06.02 "Fire safety". - National University of Civil Defense of Ukraine, The State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The paper includes the analysis of the construction of pressure fire hoses (PFH) and the peculiarities of their operation. It has been determined that, for the equipment of fire vehicles hoses of type "T" are mostly used with internal diameters of 51 mm and 77 mm, among which the most common are the hoses of the group of companies "Nabat" (Ukraine), "Proteks" (P.R .China) and BEZALIN (Poland), they were, accordingly, accepted as basic for further research.

The conducted analysis of Ukrainian State Emergency Service departments activities showed that periodic hydraulic tests conducted once a year (or after repair), do not provide timely detection of hoses hidden defects.

The analysis of types of defects and their dislocation in fire hoses, as well as consideration of the relevant primary sources, found that the occurrence of defects in most cases is associated both with violations of technological discipline in manufacturing process of PFH, and with the influence of external factors, such as friction during transportation, or failure to comply with regulatory requirements when working with fire. In the most cases, the damage is located on the textile reinforcing frame of the hoses, 95% of failures occur due to its reduced strength, and the remaining 5% of sudden failures due to mechanical damage during the fire. Practice of the operation of pressure hoses shows that their destruction almost always occurs on the technological fold, and the reasons for failures are holes in the hoses (60%), tears and breakages of heads (30% and 10% respectively). Defects in a certain way are distributed over the length of the hoses - most often defects occur near the connecting heads and most rarely - in the middle of the hose. The type of defect affects both the forecast of future hose use, and the choice (if possible) of the repair method.

The statistical processing of the results of the study of pressure changes in the hose line during the extinguishing of the actual fires was carried out and its corresponding values were set: the average operational value - 0,31 MPa and the maximum exploitation value - 0,6 MPa, which together with the maximum tested value - 2,4 MPa determined in the study the parameters of the strength of the PFH.

An experimental determination of the physical and mechanical properties of PFH, in particular their stiffness, under static load conditions, was carried out for numerous calculations of the stress-strain state and the corresponding parameters of the PFH. Taking into account the features of the physical model, modulus of elasticity during the stretching of the PFH material in the longitudinal and transverse directions, as well as the modulus of elasticity when shifting from torsional tests the values of which are necessary for the specification of numerous calculations on model developed by the method of the finite element. The difference between the calculated and experimental results of determining the dependence of the change in the angle of twisting of the hose on the length of the defect, both on a basis and on the corner, is from 6.2% to 14.2%. It means that the adequacy of the mathematical model is proved.

On the ground of the performed calculations, we obtained regression models of the dependence of the change of twisted angle of the hose on the length of the defect, the analysis of which allowed this factor to be decisive for the search for defects of pressure fire hoses.

A prototype of the installation for experimental determination of the presence and location of hidden defects of the PFH and the test procedure, the efficiency of which has been proved experimentally, has been developed.

The use of the proposed method has increased the reliability of the test results of pressure fire hoses by 12% compared to the standard hydraulic tests, proving the feasibility and effectiveness of this method.

Key words: pressure fire hoses, tests, defects, elasticity module, twist angle, fire-engineering equipment, rescue fire squads.

Підписано до друку 10.02.18 . Формат 60x84/16.  
Папір 80 г/м<sup>2</sup>. Друк ризограф. Ум.друк. арк. 0,3.  
Тираж 100 прим. Вид. № 134/14.  
Сектор редакційно-видавничої діяльності  
Національного університету цивільного захисту України  
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94

[www.nuczu.edu.ua](http://www.nuczu.edu.ua)