

## Встановлення залежності показника міцності композитного матеріалу напірних пожежних рукавів від характеру одиночних пошкоджень

С. Ю. Назаренко, Г. О. Кушнар'ова, Н. Я. Масліч, Л. В. Кнауб,  
Н. Ю. Науменко, Р. І. Коваленко, В. М. Конкін, О. І. Сухарькова,  
О. М. Колєнов

*Представлені експериментальні дослідження та встановлено залежність зміни міцності матеріалу напірного пожежного рукава типу «Г» з внутрішнім діаметром 77 мм у поздовжньому напрямку з урахуванням одиночних пошкоджень. Описано план проведення експерименту та було проведено низку натурних експериментів з метою визначення впливу довжини  $l_0$  та глибини  $K$  пошкодження на міцність  $F$  матеріалу рукава, тобто одержання залежності  $F=f(l_0, K)$ . Використано математичний метод планування експерименту та складено план повного багатofакторного експерименту типу  $2^k$  з допустимою точністю моделі 5 %. Межі варіювання факторів встановлюються з урахуванням апріорної інформації, експериментальних можливостей і на основі результатів попередніх пошукових експериментів. Отримано залежність в кодованих та натурних значеннях факторів. Достовірність залежності було перевірено за допомогою критерію Фішера розрахункове значення якого становило 5,98, що підтверджує адекватність описаного процесу з вірогідністю в 95 %.*

*Аналізуючи експериментальні дослідження залежності зміни міцності матеріалу рукава від довжини та глибини пошкодження можна сказати, що зміна міцність матеріалу рукава майже лінійно залежить від зазначених параметрів пошкодження. Встановлено, що при збільшенні пошкодження суттєво зменшується міцність матеріалу рукава. При варіюванні фактору довжини та найбільшій глибині пошкодження  $K=0.4$  мм відбувається зменшення міцності матеріалу рукава від 11.67 кН до 8.77 кН, а в процентному відношенні на 25 %.*

*Отримані результати можливо використовувати в практичних підрозділах аварійно-рятувальних формувань при діагностуванні прихованих пошкоджень у напірних пожежних рукавах з метою запобігання виходу їх з ладу на пожежах.*

*Ключові слова: напірний пожежний рукав, міцність матеріалу, експериментальні дослідження, план проведення експерименту, межі варіювання пошкодження.*

### 1. Вступ

Забезпечення безпеки населення є однією із основних функцій будь якої держави світу. Ця функція реалізується за рахунок створення різних формувань, зокрема, підрозділів цивільного захисту. Підрозділи цивільного захисту займаються проведенням профілактичних робіт відповідної направленості та проводять ліквідацію небезпечних подій і надзвичайних ситуацій, які виникають на певній території. Серед небезпечних подій та надзвичайних ситуацій

найбільшу частоту виникнення мають пожежі. Під час ліквідації пожеж важливе значення має такий чинник як час виконання певних етапів оперативної роботи, який залежить від рівня готовності сил та засобів. Рівень готовності сил та засобів до виконання дій за призначення є комплексним критерієм, який враховує різні ймовірнісні показники. До цих показників відносять: ймовірність готовності достатньої кількості техніки, час виконання певних видів оперативних робіт підрозділом, а також ймовірність безвідмовної роботи пожежно-технічного оснащення.

Видів пожежно-технічного оснащення, які перебувають на оснащенні підрозділів, достатньо багато і кожен з них має різну ймовірність безвідмовної роботи, зокрема, найменшу мають напірні пожежні рукава (НПР) [1]. Вихід з ладу НПР на пожежах трапляється доволі часто. Це безумовно створює певну небезпеку для особового складу підрозділу, який залучений до пожежогасіння та збільшує тривалість названого процесу, що пов'язано із витратою додаткового часу на заміну пошкоджених НПР. Надійність роботи НПР залежить від дотримання належних умов експлуатації та періодичних перевірок їх технічного стану. Переважно перевірка технічного стану НПР проводиться шляхом їх гідравлічних випробувань, але цей спосіб на практиці виявляється достатньо ненадійним. Застосування інших альтернативних способів, які б мали вищу надійність порівняно із гідравлічними випробуваннями найчастіше обмежується або виявляється зовсім неможливою через складну структуру матеріалу з якого виготовлений НПР. Переважно цей матеріал є багатокомпонентним, а тому достатньо складно спрогнозувати його поведінку під час впливу різних чинників. При цьому розробити та впровадити сучасні ефективні способи випробування НПР неможливо без попереднього дослідження поведінки матеріалу, з якого їх виготовляють, за умов дії різних впливів.

Таким чином, існує проблема, яка полягає у невисокій надійності напірних пожежних рукавів та їх раптових руйнуваннях під час гасіння пожеж, що супроводжується збільшенням збитків. Крім цього, це також створює додаткову небезпеку для особового складу підрозділів цивільного захисту, які залучаються до гасіння пожеж.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми.**

Конструктивно НПР переважно складаються із композитних матеріалів до яких можуть входити: метал, тканина, гума, полімери та інші. Враховуючи те, що кожен з вказаних матеріалів має свої індивідуальні механічні та фізико-хімічні властивості, дослідження зміни характеристик матеріалу, які впливають на його цілісність є надзвичайно складним процесом.

В роботі [2] було проведено дослідження пошкоджень, які виникають в гумокордних матеріалах в результаті втомних процесів. На основі отриманих результатів запропоновано математичну модель, котра описує цей процес, але недоліком її можна вважати те, що вона не дозволяє визначити ймовірне місце пошкодження.

Під час зберігання НПР переважно змотані в скатку або намотані на рукавні катушки. В процесі оперативних розгортань відбувається їх розмотування, а

по закінченню – змотування, тобто вони піддаються дії циклічних навантажень. Згідно [3], циклічні навантаження впливають на зміну дисипативних властивостей гумокордних композитів, які входять до складу НПП і спричиняють їх самонагрівання. В роботі [3] проведено дослідження, які пов'язані з розтягуванням дослідних зразків матеріалу для визначення змін їх характеристик та побудови на основі отриманих даних кривих деформацій. На жаль дослідження характеристик зразків матеріалів, які мали б певного характеру пошкодження в цій роботі не проводилися.

В роботі [4] досліджувалося явище циклічної деформації гідравлічного шланга, який використовується у гальмівній системі автомобіля. З метою прогнозування його поведінки використовувалися методи чисельного аналізу. Через складну структуру плетіння металевого армуючого шару шланга були прийняті деякі спрощення, що дали негативно вплинуло на кінцеві результати отримані з використанням запропонованої в цій роботі математичної моделі.

В роботі [5] досліджувалися характеристики деформації шланга в якого армуючий шар був виконаний з тканинного плетіння. Звичайно гнучкість таких шлангів є більшою порівняно з тими, у яких армуючий шар виконано з металу. Математична модель, яка була запропонована в цій роботі дозволяє оцінити значення деформації шланга залежно від структури плетіння його армуючого шару. Вказана модель дає можливість встановити значення тиску рідини в середині шланга за якого буде відбуватися його руйнування. Але в цій роботі не був врахований вплив таких чинників як старіння матеріалу та наявність зовнішніх механічних пошкоджень на поверхні шланга. Врахування названих чинників є важливою умовою під час перевірки технічного стану НПП.

В роботі [6] досліджувалася залежність характеристик гумового трубопроводу залежно від структури внутрішнього тканинного армуючого шару. За результатами досліджень отримані математичні моделі, які дозволяють оцінити характеристику деформації, а саме величину кута закручування та довжину розтягу і, крім цього, ймовірний розривний тиск. Недоліком цих математичних моделей є те, що вони не враховують характеристик гумового матеріалу, який входить до складу трубопроводу.

Згідно [7], встановити наявні дефекти в гнучких трубопроводах можна з використанням методу комп'ютерної промислової томографії. Враховуючи те, що матеріал з якого виготовлені НПП є композитним, застосування цього методу може бути обмеженим і попередньо потребує аналізу його внутрішньої структури.

В роботі [8] досліджувався вплив різних чинників, які впливають на цілісність гнучкого трубопроводу, який прокладений під водою. Як основний чинник впливу при цьому розглядався зовнішній тиск, який діє на гнучкий трубопровід. У випадку з можливими умовами застосування НПП подібні впливи на нього не здійснюються.

В роботі [9] досліджена пружність та міцність пластичного матеріалу, який був надрукований на 3D принтері. З цією метою досліджувалися зразки фіксувалися та розтягувалися з використанням випробувальної машини FP 100/1 до моменту настання їх повного руйнування. Звичайно можна зробити припущення, що характеристики пружності та міцності пластичного матеріалу за наявності в нього пош-

коджень різного характеру будуть відрізнятися від характеристик зразків, які не мають пошкоджень. У цій роботі вказане припущення не перевірялось.

В роботі [10] запропонована математична модель, яка дозволяє кількісно оцінити характер поведінки гумоподібного матеріалу під час одноосьового та двохосьового навантаження, а також вплив кристалізації на виникнення тріщин. Згідно [11], тріщини, які виникають у гумі, котра не кристалізується в результаті втоми матеріалу, суттєво не впливають на зміну її механічних властивостей. Відповідно виникають сумніви щодо адекватності запропонованої в роботі [10] математичної моделі. Крім цього, необхідно взяти до уваги ту особливість, що матеріал з якого виготовляються НПР переважно композитний і складається не лише з гуми, чого не враховує математична модель [10].

В роботі [12] були досліджені пружні та дисипативні властивості НПР діаметром 66 мм в умовах статичного навантаження. Дослідний зразок піддавався періодичним циклам навантаження-розвантаження, що дало змогу визначити модуль пружності при розтягуванні матеріалу рукава у поздовжньому напрямку. В роботі [13] були досліджені механічні властивості НПР діаметром 77 мм за умов статичного навантаження шляхом розтягування дослідних зразків в поперечному напрямку. На відміну від робіт [12, 13] в роботі [14] проводилися дослідження зміни механічних властивостей НПР діаметром 77 мм шляхом кручення дослідних зразків на певний кут. Під час проведення досліджень на кручення [14] у внутрішній порожнині дослідних зразків НПР підтримувалися певні нормовані значення гідравлічного тиску. На жаль, в роботах [12–14] не було досліджено вплив пошкоджень на можливу зміну механічних властивостей матеріалу з якого виготовлені НПР.

Таким чином, матеріал з якого виготовляють НПР є композитним, що значно ускладнює дослідження впливу характеру пошкоджень на зміну його механічних властивостей. Переважна більшість проаналізованих робіт [2–7, 9–11] присвячені саме дослідженню механічних властивостей різних матеріалів з яких конструктивно виконаний НПР. Оцінка зміни механічних властивостей дослідних зразків НПР в результаті дії на них зовнішніх впливів проводилася лише в роботах [12–14]. В роботах [12–14] залишився не дослідженим вплив пошкоджень на можливу зміну механічних властивостей матеріалу з якого виготовлені НПР, що могло б бути у подальшому використано для перевірки їх технічного стану.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є встановлення залежності зміни показника міцності матеріалу напірного пожежного рукава на розтяг у поздовжньому напрямку залежно від характеру одиночних пошкоджень шляхом проведення натурних експериментів. Це дасть можливість у подальшому виконувати діагностування прихованих пошкоджень у напірних пожежних рукавах з метою запобігання виходу їх з ладу на пожежах.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– розробити методику та план проведення експерименту з визначення міцності матеріалу напірного пожежного рукава залежно від характеру одиночних пошкоджень;

– провести експериментальні дослідження та встановити залежності зміни міцності матеріалу напірного пожежного рукава залежно від характеру одиночних пошкоджень.

#### 4. Матеріали та методи досліджень

З метою встановлення залежності зміни міцності матеріалу НПР типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм було проведено низку натурних експериментів з розриву у поздовжньому (вздовж основи) напрямку з урахуванням одиночних пошкоджень.

Для проведення випробувань було використано випробувальну машину FP 100/1 в якій зразок рукава фіксувався за допомогою спеціальних затискачів, які запобігають прослизанню матеріалу рукава. Швидкість рухомого затискача становила 30–40 мм/хв. Для вимірювання навантаження використовувався штатний механічний динамометр. Випробування проводили при температурі 20–22 °С.

Дослідні зразки (фрагменти) матеріалу, було відокремлено від різних ділянок у поздовжньому (вздовж основи) напрямку пожежного рукава та мали наступні розміри (рис. 1):

- випробувальна довжина  $l=100$  мм;
- ширина (робоча зона)  $b=50$  мм;
- товщина зовнішнього тканинного (силового) каркасу  $\delta_T=1,2$  мм;
- товщина внутрішнього гумового шару  $\delta_G=1,5$  мм.

Для досліджень було використано зразки геометрія яких відповідає вимогам стандарту, щодо випробувань тканинних каркасів для пожежних рукавів (ГОСТ 30135-94).

Враховуючи конструкцію напірного пожежного рукава [12] було вирішено наносити пошкодження на силовому каркасі, який сприймає зусилля від гідравлічного тиску.

Пошкодження наносилися штучно на силовому каркасі матеріалу пожежного рукава у вигляді одиночного порізу встановленої глибини та довжини. Такі пошкодження можуть виникати в процесі експлуатації пожежних рукавів, які в подальшому впливають на їх надійність при використанні за призначенням в органах і підрозділах цивільного захисту.

Пошкодження на рукаві наносився за допомогою леза для бритви шириною 0,1 мм. Лезо було встановлене у спеціальний інструмент, який дозволяв наносити пошкодження різної глибини на силовому каркасі рукава і варіювати їх глибину в межах від 0,2 до 1 мм. Довжину та глибину пошкодження визначали візуально за допомогою мікроскопу МБС–9, вказаний прилад дозволяє за допомогою вбудованої шкали визначати числове значення цих параметрів.

Пошкодження на матеріалі пожежного рукава наносили перпендикулярно по відношенню до плетіння ниток основи силового каркасу, тобто по ширині дослідного зразку пожежного рукава (рис. 2).

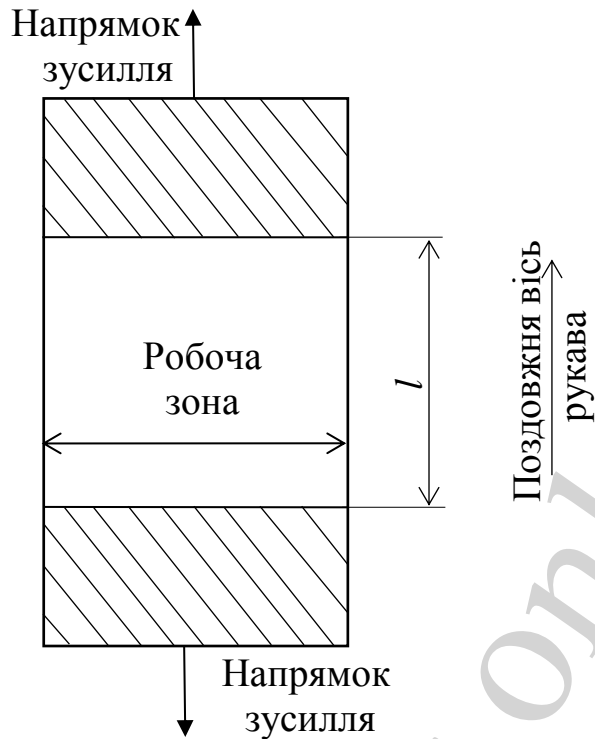


Рис. 1. Дослідний зразок пожежного рукава

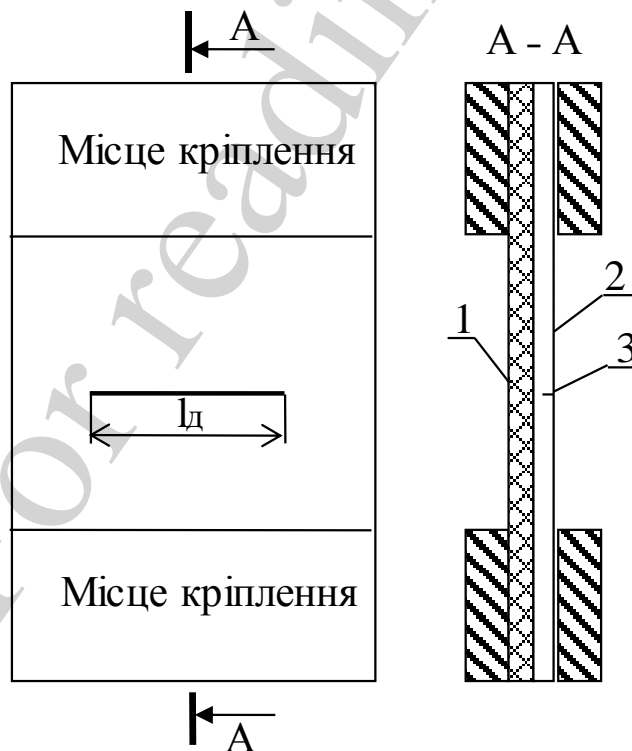


Рис. 2. Розміщення пошкодження на рукаві: 1 – гідроізолюючий шар; 2 – силовий каркас; 3 – місце пошкодження

За умови відхилення пошкодження від заданих параметрів планування експерименту, зразок до розгляду не приймався.

## 5. Результати проведення експериментальних досліджень та встановлення залежності зміни міцності матеріалу рукава

### 5.1. Методика та план проведення експерименту з визначення міцності матеріалу рукава

Дослідження проводилися наступним чином. Спочатку проводилися випробування напірних рукавів за надлишковим тиском. Для відповідних випробувань використовується насос, який заповнює порожнину рукава водою до повного випуску повітря, для чого на другому кінці рукава приєднується перекривний пожежний ствол. Після видалення повітря тиск в рукаві збільшується до випробувального (2,4 МПа згідно з ДСТУ 9069:2021). Під дією випробувального тиску рукав витримують протягом  $180 \pm 5$  с. По закінченню випробування рукав сушиться та розрізається на відповідні зразки, розміри яких наведенні вище (розділ 4). Після чого випробувальний зразок затискають в спеціальних затискачах та встановлюють у випробувальну машину та проводять випробування під час поступового статичного навантаження зразків до розриву. Результати фіксуються на діаграмному папері. Серія випробувань проводилась як на не пошкодженому рукаві, так і з пошкодженням різної глибини та довжини.

При плануванні експерименту було використано ортогональне планування другого порядку [15] при кількості факторів  $k=2$ .

Для проведення досліджень та реалізації мети був спланований повнофакторний експеримент (ПФЕ) типу  $2^k$ , який допускає випадкову похибку моделі на рівні не більше 5 %. У якості факторів були обрані довжина  $l_d$  ( $x_1$ ) та глибина пошкодження  $K$  ( $x_2$ ), а в якості відгуку – міцність рукава  $F$  ( $y$ ), тобто одержання залежності  $F=f(l_d, K)$

На основі апріорного аналізу інформації був зроблений вибір експериментальної області факторного простору. В якості нульового рівня фактору був обраний центр інтервалу, в якому планується проводити дослідження. Так само обрані інтервал варіювання, значення верхнього та нижнього рівнів факторів в натуральному і кодованому вираженні. Значення рівнів факторів та інтервали варіювання наведені в табл. 1.

Значення довжини пошкодження на рукаві варіювалося від 20 до 40 мм, де 20 мм – найменша довжина пошкодження, 40 мм – найбільша, тобто верхній рівень довжини пошкодження. Довжина пошкодження обмежувалась не тільки з урахуванням апріорної інформації, а і розмірами випробувального зразку пожежного рукава.

Нижній рівень глибини пошкодження становив 0 мм, що обумовлено необхідністю простежити зміну міцності матеріалу на не пошкодженому рукаві. Максимальна глибина пошкодження – 0,4 мм. Факторне обмеження глибини пошкодження обиралося за рахунок товщини зовнішнього тканинного (силового) каркасу.

На підставі плану ПФЕ була складена робоча матриця і проведений натурний експеримент по визначенню міцності матеріалу пожежного рукава. Спершу було розроблено ортогональний план першого порядку і з його використанням отримано результати. Ці результати неможливо було лінійно апроксимувати, а тому прийнято рішення обрати ПФЕ другого порядку. Робоча матриця плану-

вання і результати експерименту виконані в трикратній  $A$  повторюваності. Потреба виконання трикратної повторюваності кожного із дослідів є необхідною умовою для отримання результатів з допустимим рівнем достовірності, згідно встановленої методики планування експерименту [16]. Загальна кількість дослідів визначалась також з урахуванням вказаної раніше методики планування експерименту для ортогонального плану другого порядку і становить 9. План ПФЕ та отримані результати представлені в табл. 2.

Таблиця 1  
Рівні варіювання факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Довжина пошкодження	Глибина пошкодження
	$l_d$ , мм	К, мм
Нульовий рівень $x_i=0$	30	0,2
Інтервал варіювання	10	0,2
Нижній рівень $x_i=-1$	20	0
Верхній рівень $x_i=+1$	40	0,4
Кодове позначення	$x_1$	$x_2$

Таблиця 2  
Робоча матриця планування та результати досліджень

Дослід	$l_d$ , мм	К, мм	Результат			
	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}$
1	40	0,4	8,2376	8,6495	8,2376	8,37
2	40	0	12,2583	12,376	13,1899	12,608
3	20	0,4	10,7873	11,0815	11,0717	10,98
4	20	0	12,2583	12,376	13,1899	12,608
5	30	0,2	11,5718	11,768	11,9641	11,768
6	40	0,2	10,297	10,6696	10,7873	10,584
7	20	0,2	11,562	12,2093	12,0131	11,928
8	30	0,4	10,0028	10,0028	9,4144	9,81
9	30	0	12,2583	12,376	13,1899	12,608

В якості моделі об'єкта дослідження, був використаний поліном 2-го ступеня [16]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_1^2 x_1^2 + b_2^2 x_2^2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (1)$$

де  $b_1, b_2$  – коефіцієнти регресії.

Для визначення коефіцієнтів регресії при ортогональному плануванні використовується наступна формула:



$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2}, \quad (2)$$

де  $u=9$  – кількість дослідження в експерименті;  $i$  – номер стовпчика в матриці планування;  $y_u$  – середнє значення критерію в кожному дослідженні отримані під час проведення експерименту (табл. 2);  $x_{iu}$  – кодовані значення факторів.

Значення  $\sum_{u=1}^n x_{iu}^2$  при типі ядра  $2^2$ :  $x_0=9$ ,  $x_i=6$ ,  $x_{ij}=4$ ,  $x_i^{2-\phi} = 2$ .

Після підстановки значень коефіцієнтів та даних матриці планування виразу (2), коефіцієнти регресії будуть:

$$b_0=11.686; b_1=-0.659; b_2=-1.44;$$

$$b_1^2 = -0.285; b_2^2 = -0.318; b_{12}=-0.653.$$

Після підстановки числових значень коефіцієнтів в вираз (1) отримано:

$$y = 11.686 - 0.659x_1 - 1.44x_2 - 0.285x_1^2 - 0.318x_2^2 - 0.653x_1x_2, \quad (3)$$

Гіпотезу про адекватність рівняння регресії перевіримо за допомогою критерію Фішера [17]:

$$F_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad (4)$$

$$\text{де } S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_u)^2}{n \frac{(k+2)(k+1)}{2}} - \text{дисперсія адекватності; } S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_u)^2}{N(n-1)} -$$

дисперсія відтворюваності.

Враховуючи отримані раніше значення дисперсії адекватності та відтворюваності, значення критерію Фішера становить  $F_{\text{розр}}=5.98$ .

В залежності від розрахункових ступенів вільності більшої та меншої дисперсії визначено табличне значення критерію Фішера  $F_{(0.05; f_{\text{ад}}; f_y)} < F_{\text{таб}}$  при  $f_{\text{ад}}=7$ , а  $f_y=4$ .  $F_{\text{таб}}=6.09$ .

Оскільки  $F_{\text{розр}} < F_{\text{таб}}$ , з 95 % вірогідністю можна вважати рівняння регресії (3) адекватним процесу, який досліджується.

## 5. 2. Результати експериментальних досліджень та встановлення залежності зміни міцності матеріалу рукава

На практиці не зручно користуватися математичною залежністю в кодованих величинах. Для отримання адекватного рівняння регресії, його перетворено заміною кодованих величин на іменовані (фактичні). Для цього використано (5) та (6), що характеризують зв'язок величин, що розглядаються.

$$x_1 = \frac{l_d - x_1}{\Delta x_1}; \quad (5)$$

$$x_2 = \frac{K - x_2}{\Delta x_2}, \quad (6)$$

де  $x_1$  та  $x_2$  – значення відповідного фактору на нульовому рівні (табл. 1), а  $\Delta x_1$  та  $\Delta x_2$  – їхні інтервали варіювання за тією ж таблицею.

Перетворивши рівняння регресії (3) до іменного вигляду та після скорочення отримано вираз:

$$F = 10.254 + 0.17l_d + 5.885K - 0.0028l_d^2 - 8.295K^2 - 0.326l_d K. \quad (7)$$

Запропонована залежність (7) дозволяє визначити значення міцності композитного матеріалу з якого виготовлений НПР діаметром 77 мм при встановлених параметрах глибини та довжини пошкодження.

На рис. 3 представлено відповідну поверхню відгуку залежності зміни міцності рукава  $F$  матеріалу напірного пожежного рукава діаметром 77 мм від довжини пошкодження  $l_d$  та глибини пошкодження  $K$ .

За допомогою програмного пакету STATISTICA 10.0 побудовано поверхню відгуку зміни міцності  $F$  матеріалу рукава від довжини пошкодження  $l_d$  та глибини пошкодження  $K$ .

Аналізуючи поверхню відгуку на рис. 3, зрозуміло, що при збільшенні довжини пошкодження  $l_d$  та його глибини суттєво зменшується міцності матеріалу рукава  $F$ . Найменша міцність матеріалу рукава  $F=8.37$  спостерігається при довжині пошкодження  $l_d=40$  мм та глибині пошкодження  $K=0.4$  мм. Встановлено, що зміна міцності матеріалу рукава  $F$  майже лінійно залежить від довжина та глибина пошкодження. При цьому можна бачити, що вплив довжини пошкодження на міцність матеріалу рукава у запропонованому діапазоні не перевищує 4 кН.

Враховуючи це, рівняння (7) можна спростити шляхом перерахунку за сталого верхнього значення фактору глибини пошкодження  $K=0.4$  мм. Після цього рівняння буде мати наступний вигляд:

$$F = 11.666 + 0.0396l_d - 0.0028l_d^2. \quad (8)$$

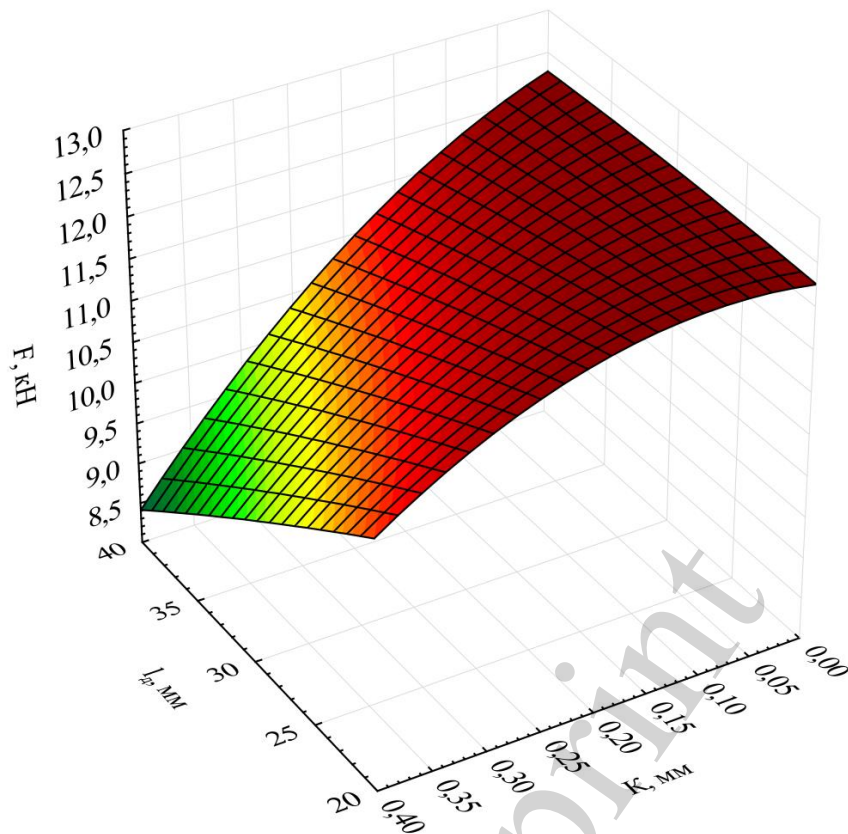


Рис. 3. Залежність зміни міцності матеріалу рукава від довжини пошкодження  $l_d$  та глибини пошкодження  $K$

На рис. 4 наведено залежність міцності матеріалу рукава  $F$  від довжини пошкодження  $l_d$  при найбільшій глибині пошкодження  $K=0.4$  мм.

З графіку, який зображений на рис. 4, бачимо, що при збільшенні довжини пошкодження  $l_d$  від 0 до 40, за найбільшої глибини пошкодження  $K=0.4$  мм спостерігається зменшення значення міцності матеріалу рукава. Встановлено, що за вказаних значень пошкоджень міцність матеріалу рукава змінювалась від 11.67 кН до 8.77 кН, тобто в 1.33 рази, а у відсотковому відношенні на 25 %.

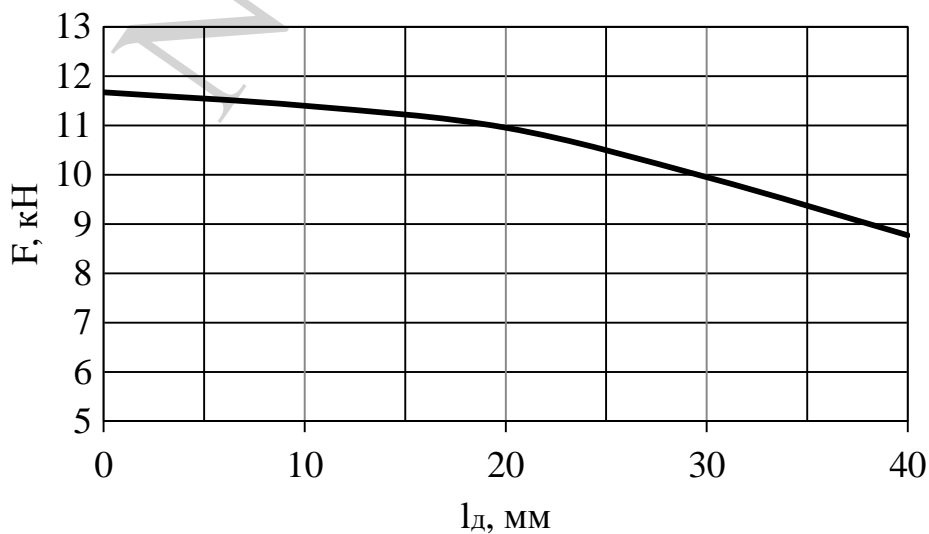


Рис. 4. Залежність (рівняння 8) зміни міцності матеріалу рукава від довжини пошкодження  $l_d$

## **6. Обговорення результатів досліджень міцності матеріалу рукава**

Проведено натурний експеримент з визначення міцності матеріалу НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм від характеру одиночних пошкоджень. Встановлено, що при збільшенні довжини та глибини пошкодження суттєво зменшується міцність матеріалу рукава (рис. 3).

При збільшенні довжини пошкодження від 0 до 40 мм та сталій глибині пошкодження в 0.4 мм спостерігається зменшення міцності матеріалу рукава від 11.67 кН до 8.77 кН (рис. 4). Це обумовлюється зменшенням перерізу ниток силового каркасу (ниток основи).

Отримані результати досліджень з визначення міцності матеріалу рукава при варіюванні пошкоджень, представляють інтерес провести додаткові дослідження та встановлення відповідних залежностей з урахуванням як декількох пошкоджень, так і їх направленість.

Проведені випробування були обмежені дослідженням тільки двох факторів, а саме глибини та довжини пошкодження, при цьому не враховувались ступінь зношеності матеріалу рукава, кількості та напрямку пошкоджень на випробувальній довжині.

Ці обмеження можуть бути усунені шляхом дослідження зміни властивостей матеріалу рукава з довільним терміном використання, та проведення додаткових досліджень з урахуванням декількох пошкоджень та їх направленість.

З метою надійного і безпечного використання НПР в практичних підрозділах аварійно-рятувальних формувань проводяться гідравлічні випробування на герметичність за надлишковим тиском. Але даний вид випробувань визначає лише спрощену оцінку надійності рукава.

Подальшим розвитком відповідних досліджень є експериментальний аналіз впливу різного розміру та напрямку пошкодження на рукаві, а також впливу декількох пошкоджень на випробувальній довжині НПР.

Вказані дослідження потребують розробки, як нового плану проведення експерименту та методики проведення експериментів, так і виготовлення відповідного обладнання.

## **7. Висновки**

1. Розроблена методика та план проведення експерименту з визначення міцності матеріалу напірного пожежного рукава на розтяг у поздовжньому напрямку з урахуванням одиночних пошкоджень. Завдяки застосуванню метода планування багатофакторного експерименту отримано квадратичне рівняння регресії. Встановлені рівні варіювання факторів і робоча матриця планування та результати досліджень, де в якості факторів були обрані довжина та глибина пошкодження, а в якості відгуку – міцність рукава. Отримано рівняння регресії з кодovаними значеннями факторів, які адекватно описати залежність такої цільової функції, як міцність матеріалу рукава від впливу довжини та глибини пошкодження. Достовірність рівняння регресії було перевірено за допомогою критерію Фішера, розрахункове значення якого становило 5,98, що менше табличного значення і підтверджує з вірогідністю в 95 % адекватність описаного процесу.

2. Експериментальні дослідження показали, що при збільшенні  $i$  довжини  $l_d$  та глибини  $K$  пошкодження суттєво зменшується міцність матеріалу рукава  $F$ . Найменша міцність матеріалу рукава  $F=8.37$  спостерігається при довжині пошкодження  $l_d=40$  мм та глибині пошкодження  $K=0.4$  мм. За вказаних числових значень довжини та глибини пошкодження міцність матеріалу рукава в порівнянні з непошкодженим зменшується на 34 %. За результатами досліджень отримано рівняння (7), яке можна використати у подальших дослідженнях для наступних розрахунків надійності пожежних рукавів.

### Література

1. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. Scientific Bulletin of National Mining University, 1, 99–105. doi: <http://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
2. Larin, O. O. (2015). Probabilistic Model of Fatigue Damage Accumulation in Rubberlike Materials. Strength of Materials, 47 (6), 849–858. doi: <http://doi.org/10.1007/s11223-015-9722-3>
3. Larin, A. A., Vyazovichenko, Y. A., Barkanov, E., Itskov, M. (2018). Experimental Investigation of Viscoelastic Characteristics of Rubber-Cord Composites Considering the Process of Their Self-Heating. Strength of Materials, 50 (6), 841–851. doi: <http://doi.org/10.1007/s11223-019-00030-7>
4. Cho, J. ., Yoon, Y. H., Seo, C. W., Kim, Y. G. (2015). Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion. Finite Elements in Analysis and Design, 100, 65–76. doi: <http://doi.org/10.1016/j.finel.2015.03.002>
5. Cho, J.-R., Yoon, Y.-H. (2016). Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods. Journal of Mechanical Science and Technology, 30 (2), 789–795. doi: <http://doi.org/10.1007/s12206-016-0134-5>
6. Traxl, R., Mungenast, D., Schennach, O., Lackner, R. (2019). Mechanical performance of textile-reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model. International Journal of Engineering Science, 141, 47–66. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.05.006>
7. Fedorko, G., Molnar, V., Dovica, M., Toth, T., Fabianova, J. (2015). Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. Engineering Failure Analysis, 58, 31–43. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.042>
8. Yoo, D.-H., Jang, B.-S., Yim, K.-H. (2017). Nonlinear finite element analysis of failure modes and ultimate strength of flexible pipes. Marine Structures, 54, 50–72. doi: <http://doi.org/10.1016/j.marstruc.2017.03.007>
9. Potopalska, K., Tyshkovets, O., Kalinovskiy, A., Vasyliiev, S. (2021). An Experimental Study on Elastic and Strength Properties of Additively-Manufactured Plastic Materials. Materials Science Forum, 1038, 162–167. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.162>

10. Arunachala, P. K., Rastak, R., Linder, C. (2021). Energy based fracture initiation criterion for strain-crystallizing rubber-like materials with pre-existing cracks. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 157. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jmps.2021.104617>
11. Schieppati, J., Schrittester, B., Wondracek, A., Robin, S., Holzner, A., Pinter, G. (2021). Effect of mechanical loading history on fatigue crack growth of non-crystallizing rubber. *Engineering Fracture Mechanics*, 257. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2021.108010>
12. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R. et. al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>
13. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Gavryliuk, A., Vinogradov, S., Kryvoshei, B., Pavlenko, S. et. al. (2021). Determining the dissipative properties of a flexible pipeline's material at stretching in the transverse direction taking its structural elements into consideration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (110)), 12–20. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227039>
14. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Asotskyi, V., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Tsebriuk, I. et. al. (2020). Determining mechanical properties at the shear of the material of “T” type pressure fire hose based on torsion tests. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 45–55. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212269>
15. Рогов, В. А., Позняк, Г. Г. (2005). *Методика и практика технических экспериментов*. Москва: ИЦ Академия, 288.
16. Vox, G. E. P., Wilson, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 13 (1), 1–38. doi: <http://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1951.tb00067.x>
17. Edition, C. F., Jeff, Wu, Michael, S. Hamada J., Wiley S. (2011). *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*. Wiley, 760.