

УДК 614.843/083

О.М. Ларін, д-р. техн. наук, проф., Г.О. Чернобай, канд. техн. наук, доц., С.Ю. Назаренко, Л.Л. Запольський, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» ДІАМЕТРОМ 77 ММ

Розглядаються методика і результати визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм при поздовжніх деформаціях.

Ключові слова: напірний пожежний рукав, робочий тиск, випробування, жорсткість, гістерезис, дисипативні властивості.

A. Larin, Doc. of Sc. (Eng.), Prof., G. Chernobay, Cand. of Sc. (Eng.), Docent, S. Nazarenko, L. Zapolskiy, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc.

DISSIPATIVE PROPERTIES DETERMINATION OF PRESSURE FIRE HOSE TYPE "T" DIAMETER 77 MM

Methods and results of dissipative properties determination of pressure fire hose type «T» with internal diameter 77 mm in the longitudinal strains.

Keywords: Methods and results of dissipative properties determination of pressure fire hose type «T» with internal diameter 77 mm in the longitudinal strains.

Постановка проблеми. Напірні пожежні рукави є гнучкими трубопроводами, які використовуються для подання на відстань під тиском води і водних розчинів вогнегасних речовин, зокрема піноутворювачів.

Напірні рукави разом з іншим пожежним устаткуванням є одним із основних видів пожежного озброєння і від їх справного стану багато в чому залежить успішне гасіння пожеж.

Значна вартість пожежних рукавів визначає відповідні амортизаційні витрати на експлуатацію рукавного господарства, які в більшості випадків перевищують витрати на інші види пожежного устаткування.

Таким чином, заходи, що спрямовані на визначення залишкового ресурсу пожежних рукавів, можливості їх ремонту, надійності і безпечності подальшої експлуатації, значною мірою сприяють підвищенню дієвості пожежних частин, а також економічної ефективності їх функціонування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Конструкція пожежних рукавів, їх типорозміри і характеристики, галузі застосування, умови експлуатації та методи випробувань наведені у відповідних нормативних документах [1].

Аналіз літературних джерел, присвячених методам розрахунків напірних пожежних рукавів, показав, що вони здебільшого зводяться до розрахунку втрат тиску в мережі [2 – 4].

Результати теоретичних і експериментальних досліджень міцності силових елементів напірних пожежних рукавів, а саме армувального каркаса, який повністю сприймає зусилля, що обумовлені наявністю гідравлічної дії внутрішнього тиску рідини усередині рукава, котрі наведені в роботах [5 – 8], використовуються під час розрахунків нових перспективних типів пожежних рукавів і не враховують суттєвих змін в їх структурі та характеристиках, що, безумовно, відбуваються в процесі реальної експлуатації.

Отже, аналіз літературних джерел показав актуальність теоретичних розробок розрахункових методів та доцільність експериментальних досліджень, які спрямовані на визначення залишкового ресурсу пожежних рукавів та надійності їх подальшої експлуатації.

Постановка задачі та її розв'язання. Деякі особливості роботи пожежних рукавів в умовах реальної експлуатації, які суттєво впливають на їх надійність, особливо при тривалих термінах використання, визначили необхідність розроблення науково-обґрунтованого методу, який дозволяє установити остаточний ресурс пожежного рукава, можливість та доцільність його ремонту і подальшого застосування.

Під час проведення попередніх теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів виникла необхідність визначення їх пружних та дисипативних властивостей в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження.

Методика проведення відповідних випробувань [9, 10] дозволяє визначити окрім поздовжньої жорсткості напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм і його дисипативні властивості.

Дослідний зразок пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм і випробувальною довжиною $l_0 = 110$ мм (рис. 1) було закріплено на дослідній установці ДМ – 30 М, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України, і проведено п'ять циклів випробувань з його навантаження-розвантаження.



Рисунок 1 – Випробувальний зразок пожежного рукава з внутрішнім діаметром 77 мм.

Цикли навантаження-розвантаження проводились з постійним кроком подовження зразка (1 мм) із фіксацією динамометром відповідного навантаження (kH).

Результати випробувань наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Де-фор-мація, мм	Величина навантаження, кН					
	Цикл № 1		Цикл № 2		Цикли № 3-5	
	Навантаження	Розвантаження	Навантаження	Розвантаження	Навантаження	Розвантаження
1	2	3	4	5	6	7
0	0	-	-	-	-	-
1	0,340	-	-	-	-	-
2	0,816	-	-	-	-	-
3	1,410	-	-	-	-	-

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
4	1,968	0	0	-	-	-
5	2,660	0,480	0,672	-	-	-
6	3,540	1,320	1,680	-	-	-
7	4,320	2,688	2,760	-	-	-
8	5,232	4,080	4,080	0	0	-
9	6,120	5,300	5,520	0,288	1,200	-
10	7,080	7,080	6,600	0,740	2,277	-
11	-	-	7,560	1,800	3,477	0
12	-	-	8,400	3,360	5,160	0,241
13	-	-	9,240	5,160	6,717	0,713
14	-	-	9,840	9,840	8,277	1,560
15	-	-	-	-	9,717	2,733
16	-	-	-	-	10,683	4,537
17	-	-	-	-	11,517	7,020
18	-	-	-	-	12,310	12,310

Початковий цикл випробувань проводився з недеформованим фрагментом рукава з випробувальною довжиною 110 мм.

Максимальна величина деформації становила $\Delta l_1^{\max} = 10 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_1^{\max} = 7,08$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагмента становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 4 \cdot 10^{-3}$ м. Максимальна відносна деформація першого циклу становила:

$$\varepsilon_1^{\max} = \frac{\Delta l_1^{\max}}{l_0} 100\% = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{110 \cdot 10^{-3}} 100\% = 9,1 \%$$

Графіки, які відповідають результатам першого циклу випробувань наведені на рисунку 2.

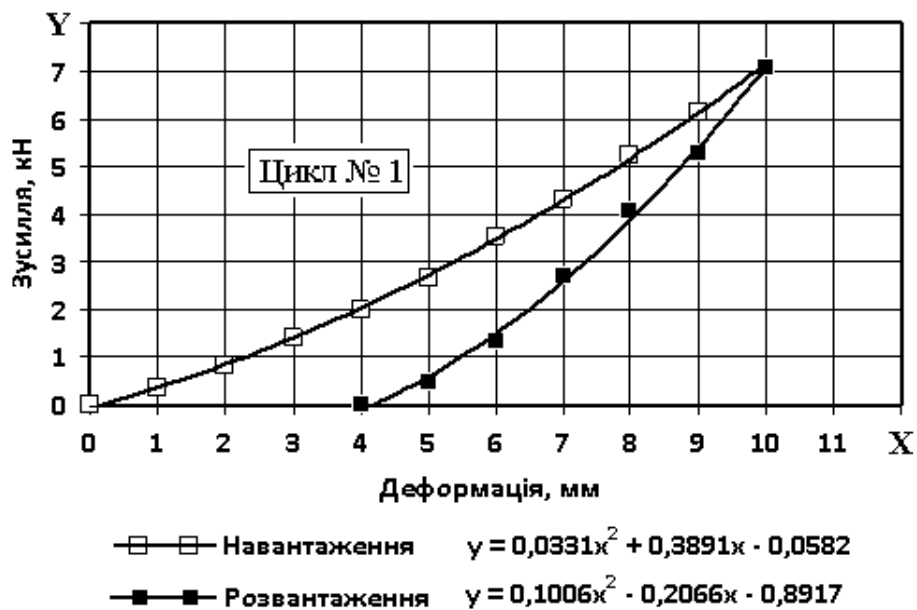


Рисунок 2– Графіки циклу навантаження – розвантаження № 1

Під час повторного циклу навантаження-розвантаження (цикл № 2), який було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\ell_2^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при навантаженні $F_2^{\max} = 9,84 \text{ кН}$, тобто максимальна відносна деформація, як і в першому циклі, становила 9,1 %. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\ell_2^{\text{зал}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Графіки, які відповідають результатам другого циклу випробувань, наведені на рисунку 3.

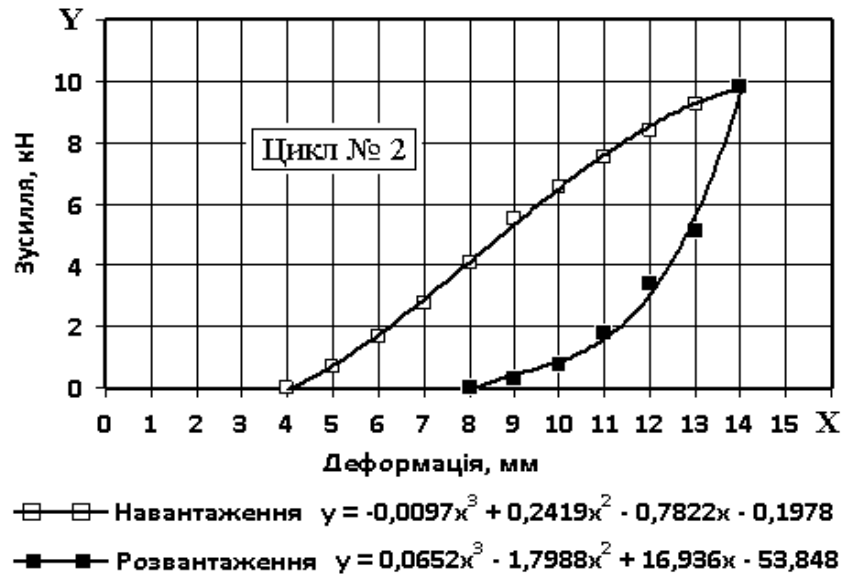


Рисунок 3 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 2

Числові параметри наступних трьох циклів навантаження-розвантаження (цикли № 3 – 5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізнялись один від одного, що дозволило усереднити їх числові параметри.

При цьому максимальна величина деформації становила $\Delta\ell_{3-5}^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при середньому максимальному навантаженні $F_{3-5}^{\max} = 12,31 \text{ кН}$, тобто максимальна відносна деформація, як і в першому та другому циклах випробувань, становила 9,1 %. Залишкова деформація фрагменту після розвантаження становила $\Delta\ell_{3-5}^{\text{зал}} = 3 \text{ мм}$.

Графіки, які відповідають усередненим результатам випробувань циклів № 3-5, наведені на рисунку 4.

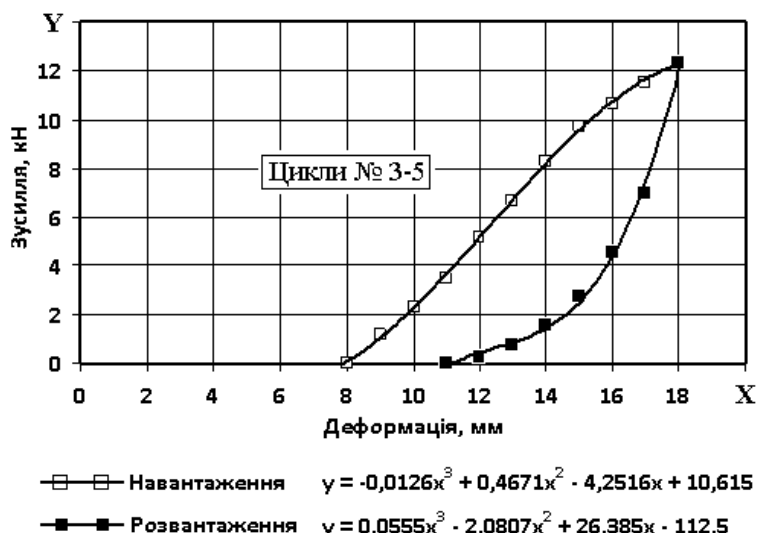


Рисунок 4– Графіки циклів навантаження – розвантаження № 3-5

Енергія (A_D), що накопичена в зразку і яка відповідає дисипативним властивостям матеріалу фрагмента пожежного рукава, визначається площею петлі гістерезису як різниця робіт, витрачених при навантаженні (A_H) і наступному розвантаженні (A_P) зразка:

$$A_D = A_H - A_P = \int_{\Delta\ell_{HP}}^{\Delta\ell_{HK}} F_H(\Delta\ell)d(\Delta\ell) - \int_{\Delta\ell_{PK}}^{\Delta\ell_{PP}} F_P(\Delta\ell)d(\Delta\ell), \quad (1)$$

де: $F_H(\Delta\ell)$ - рівняння залежності діючої сили від деформації зразка при його навантаженні;

$F_P(\Delta\ell)$ - рівняння залежності діючої сили від деформації зразка при його розвантаженні;

$\Delta\ell_{HP}$ - нижня межа інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження;

$\Delta\ell_{HK}$ - верхня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці навантаження;

$\Delta\ell_{PK}$ - нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження;

$\Delta\ell_{PP}$ - верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

Якщо прийняти позначення графіків (рис. 2 - 4), де результати експериментальних досліджень (табл. 1) апроксимовані засобами Microsoft Word відповідними поліномами трендів, то рівняння (1) матиме вид:

$$A_D = A_H - A_P = \int_{X_{HP}}^{X_{HK}} Y_H(X)dX - \int_{X_{PK}}^{X_{PP}} Y_P(X)dX, \quad (2)$$

де: $Y_H(X)$ - рівняння (поліном) залежності діючої сили від деформації зразка при його навантаженні;

$Y_P(X)$ - рівняння (поліном) залежності діючої сили від деформації зразка при його розвантаженні;

X_{HP} - нижня межа інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження;

X_{HK} - верхня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці навантаження;

X_{PK} - нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження;

X_{PK} - верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

При цьому розмірності значень уздовж координати X виражено в мм, а уздовж координати Y - в кН, що визначає розмірність енергії в Дж.

Для подальших розрахунків дисипативні властивості пожежного рукава доцільно визначити безрозмірним співвідношенням:

$$\beta = \frac{A_D}{A_H} . \quad (3)$$

Під час першого циклу випробувань (рис. 2) експериментальні результати апроксимовані залежностями:

- при навантаженні $Y_H(X) = 0,0331X^2 + 0,3891X - 0,0582$;
- при розвантаженні $Y_P(X) = 0,1006X^2 - 0,2066X - 0,8917$.

Відповідно, енергія навантаження першого циклу становить:

$$A_{H1} = \int_0^{10} (0,0331X^2 + 0,3891X - 0,0582) dX = 29,91 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D1} = A_{H1} - A_{P1} = \int_0^{10} (0,0331X^2 + 0,3891X - 0,0582) dX - \int_4^{10} (0,1006X^2 - 0,2066X - 0,8917) dX = 12,55 \text{ Дж,}$$

звідки $\beta_1 = \frac{A_{D1}}{A_{H1}} = \frac{12,55}{29,91} = 0,42$.

Аналогічно під час другого циклу випробувань (рис. 3) експериментальні результати апроксимовані залежностями:

- при навантаженні $Y_H(X) = -0,0097X^3 + 0,2419X^2 - 0,7822X - 0,1978$;
- при розвантаженні $Y_P(X) = 0,0652X^3 - 1,7988X^2 + 16,936X - 53,848$.

Відповідно, енергія навантаження другого циклу становить:

$$A_{H2} = \int_4^{14} (-0,0097X^3 + 0,2419X^2 - 0,7822X - 0,1978) dX = 51,18 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д2} = A_{H2} - A_{P2} = \int_4^{14} (-0,0097X^3 + 0,2419X^2 - 0,7822X - 0,1978)dX - \int_8^{14} (0,0652X^3 - 1,7988X^2 + 16,936X - 53,848)dX = 35,44 \text{ Дж},$$

$$\text{звідки } \beta_2 = \frac{A_{Д2}}{A_{H2}} = \frac{35,44}{51,18} = 0,69.$$

Під час третього - п'ятого циклів випробувань (рис. 4) усереднені експериментальні результати апроксимовані залежностями:

– при навантаженні $Y_H(X) = -0,0126X^3 + 0,4671X^2 - 4,2516X + 10,615$;

– при розвантаженні $Y_P(X) = 0,0555X^3 - 2,0807X^2 + 26,385X - 112,5$.

Відповідна енергія навантаження на третьому - п'ятому циклах становить:

$$A_{H3-5} = \int_8^{18} (-0,0126X^3 + 0,4671X^2 - 4,2516X - 10,615)dX = 63,99 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д3-5} = A_{H3-5} - A_{P3-5} = \int_8^{18} (-0,0126X^3 + 0,4671X^2 - 4,2516X - 10,615)dX - \int_{11}^{18} (0,0555X^3 - 2,0807X^2 + 26,385X - 112,5)dX = 41,06 \text{ Дж},$$

$$\text{звідки } \beta_{3-5} = \frac{A_{Д3-5}}{A_{H3-5}} = \frac{41,06}{63,99} = 0,64.$$

Висновки. Для теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів (табл. 2) проведено визначення їх дисипативних властивостей, в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження.

Дослідження визначили суттєву залежність характеристик пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм від «історії» його навантаження (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика	Позначення	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикли № 3-5
Максимальне навантаження	$F_{\max}, \text{кН}$	7,68	9,84	12,31
Максимальна деформація	$\Delta \ell^{\max}, \text{мм}$	10	10	10
Максимальна відносна деформація	$\varepsilon^{\max}, \%$	9,1	9,1	9,1
Залишкова деформація	$\Delta \ell^{\text{зал}}, \text{мм}$	4	4	3

Продовження таблиці 2

Приведена жорсткість (згідно з [10])	$k, \text{кН/м}$	77,88	108,24	135,41
Коефіцієнт дисипації	β	0,42	0,69	0,64

За однакової максимальної деформації фрагмента пожежного рукава під час першого та другого циклів випробувань його характеристики значно змінювались і лише потім (3 – 5 цикли) відбувалась їх стабілізація.

Наведена поздовжня жорсткість рукава [10] під час першого та другого циклів випробувань спочатку збільшувалась, а потім стабілізувалась на рівні 135,41 кН/м , коефіцієнт дисипації також спочатку збільшувався і стабілізувався на рівні – 0,64, за постійної в усіх циклах відносної деформації – 9,1 %.

Деяке зменшення залишкових деформацій та стабілізація пружних і дисипативних властивостей наближають поведінку матеріалу пожежного рукава до пружного

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожежна техніка. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови. ДСТУ 3810–98. [Чинний від 2005-05-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 1998. — XII, 32 с. — (Національний стандарт України).
2. Пожарная техника / [Безбородько М.Д., Алексеев П.П., Максимов Б.А., Новиков Г.И.] – Академия ГПС МЧС России, 1979. – 435 с.
3. Иванов, Е.Н. Противопожарное водоснабжение / Е.Н. Иванов –М.: Стройиздат, 1986. – 315с.
4. Качалов, А.А. Противопожарное водоснабжение /А.А. Качалов, Ю.П. Воротынцев, А.В. Власов – М.: Стройиздат, 1985. – 286 с.
5. Бидерман, В.Л. Механика тонкостенных конструкций /В.Л. Бидерман –М.: Машиностроение, 1977. –488с.
6. Светлицкий, В.А. Механика трубопроводов и шлангов В.А.Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
7. Моторин, Л.В. Математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии /Л.В. Моторин, О.С. Степанов, Е.В. Братолобова // Изв. вузов. Технология текст. пром–сти. 2010. – №8 – С. 103 – 109.
8. Моторин, Л.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии /Л.В. Моторин, О.С. Степанов, Е.В. Братолобова // Изв. вузов. Технология текст. пром–сти. –2011. – №.1 – С. 126 – 133.
9. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості рукавів з внутрішнім діаметром 51 мм, якими оснащуються пожежні автомобілі / Ларін О.М., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю. // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ, 2012. - №2 (28) - с. 89 - 94.
10. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / Ларіно О.М., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю. // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – С. 133-138

