

*О.М. Ларін, д.т.н., професор, НУЦЗУ,
Г.О. Чернобай, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
В.Б. Коханенко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
С.Ю. Назаренко, ад'юнкт, НУЦЗУ*

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА

Розглядаються результати визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм при поздовжніх деформаціях.

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

Постановка проблеми. Відомо, що існують лише періодичні (один раз на рік, або після ремонту рукава) гідравлічні випробування пожежних напірних рукавів (НПР), котрі не забезпечують своєчасне визначення їхніх прихованих дефектів. Разом з тим встановлено, що 95 % відмов рукавів трапляються внаслідок зменшення міцності чохла, з яких 25 % відмов складають відмови на пожежах, а 5 % відмов – трапляються внаслідок механічних ушкоджень на пожежі [1].

Для визначення дійсного технічного стану НПР, розрахунку їх залишкового ресурсу та своєчасного виключення з експлуатації дефектних рукавів пропонується через 60 годин роботи рукава проводити їх діагностику. Запропонований в роботі [2] метод вібродіагностики дозволить своєчасно визначити приховані дефекти в НПР та виключити останні з експлуатації. Однак, для впровадження запропонованого методу діагностики НПР, а саме для пошуку робочого діапазону датчиків для вібродіагностування, необхідно визначити їх механічні властивості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Конструкція пожежних рукавів, їх типорозміри і характеристики, наведено в [3].

Аналіз причин виходу з ладу пожежних напірних рукавів показав, що з усіх відмов більше 60% є свищі, 30% і 10% розриви і зриви головок відповідно. Результати теоретичних і експериментальних досліджень міцності елементів напірних пожежних рукавів, а саме їх армуючого каркасу, який повністю сприймає зусилля, наведені в роботах [4-7]. Зазначені зусилля обумовлені наявністю гідравлічної дії внутрішнього тиску рідини усередині рукава. При визначенні залишкового ресурсу НПР виникла необхідність визначення їх пружних та дисипативних властивостей.

Постановка задачі та її вирішення. Метою роботи є визначен-

ня дисипативних властивостей НПР для подальшого застосування отриманих результатів під час розроблення нового науково-обґрунтованого методу випробувань.

При проведенні попередніх теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів виникла необхідність визначення їх механічних властивостей, зокрема дисипативних властивостей в умовах статичного навантаження.

Методика проведення відповідних випробувань [8] дозволяє визначити окрім поздовжньої жорсткості НПР типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм і його дисипативні властивості.

Відповідно до методики дослідний зразок пожежного рукава випробувальною довжиною $\ell_0 = 160$ мм (рис. 1), було закріплено на дослідній установці ДМ – 30 М, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України. На цій установці було проведено п'ять циклів випробувань з послідовним навантаження-розвантаженням дослідного зразка НПР.



Рис. 1. Випробувальний зразок пожежного рукава: 1 – фрагмент рукава, 2 – кріпильні пристрої, 3 – хомути

Цикли навантаження-розвантаження проводились з постійним кроком подовження (укорочення) зразка (1мм) із фіксацією відповідного зусилля F . Початковий цикл випробувань (цикл № 1) проводився з недеформованим фрагментом рукава випробувальної довжини 160 мм. Максимальна величина деформації становила $\Delta\ell_1^{\max} = 20 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_1^{\max} = 4,68$ кН, тобто максимальна відносна деформація склала

$$\varepsilon_1^{\max} = \frac{\Delta\ell_1^{\max}}{\ell_0} 100\% = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} 100\% = 12,5 \%. \quad (1)$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту рукава становила $\Delta\ell_1^{\text{зал}} = 12 \cdot 10^{-3}$ м.

Результати випробувань наведені в таблиці 1 та на графіках рис. 2-4.

Табл. 1. Залежність деформації рукава від характеру навантаження

Де- фор- мація, мм	Величина навантаження, кН									
	Цикл № 1		Цикл № 2		Цикл № 3		Цикл № 4		Цикл № 5	
	На- ван- таж.	Роз- ван- таж.	На- ван- таж.	Роз- ван- таж.	На- ван- таж.	Роз- ван- таж.	На- ван- таж.	Роз- ван- таж.	На- ван- таж.	Роз- ван- таж.
0	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	2,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2,28	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-
13	2,52	0,24	0,71	-	-	-	-	-	-	-
14	2,88	0,60	1,44	-	-	-	-	-	-	-
15	3,12	0,84	1,91	-	-	-	-	-	-	-
16	3,41	1,20	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	3,60	1,80	2,92	0,50	0,84	0,10	0,72	0,12	0,78	0,12
18	4,08	2,40	3,48	1,32	1,56	0,46	1,44	0,52	1,44	0,50
19	4,32	3,36	3,89	2,32	2,16	0,92	2,04	0,94	2,16	0,92
20	4,68	4,68	4,32	4,32	2,76	1,52	2,64	1,58	2,88	1,54
21	-	-	-	-	3,36	2,32	3,36	2,28	3,48	2,30
22	-	-	-	-	3,96	3,12	3,95	3,10	3,96	3,12
23	-	-	-	-	4,43	3,78	4,44	3,82	4,44	3,80
24	-	-	-	-	5,11	5,11	5,12	5,12	5,12	5,12

При повторному циклі навантаження-розвантаження (цикл № 2), який було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\ell_2^{\max} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при навантаженні $F_2^{\max} = 4,32 \text{ кН}$, тобто максимальна відносна деформація склала

$$\varepsilon_2^{\max} = \frac{\Delta\ell_2^{\max}}{\ell_0} 100\% = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} 100\% = 5 \%. \quad (2)$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту рукава становила $\Delta\ell_2^{\text{зал}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Числові параметри наступних циклів навантаження-розвантаження (цикли №№ 3 – 5), які було проведено з аналогічними двохвилинними ін-

тервалами, практично не відрізнялись один від одного, що дозволило усереднити їх числові параметри. При цьому максимальна величина деформації становила $\Delta\ell_{3-5}^{\max} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при навантаженні $F_{3-5}^{\max} = 5,12 \text{ кН}$, тобто максимальна відносна деформація складала

$$\varepsilon_{3-5}^{\max} = \frac{\Delta\ell_{3-5}^{\max}}{\ell_0} 100\% = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{160 \cdot 10^{-3}} 100\% = 5 \%. \quad (3)$$

Залишкова деформація фрагменту рукава після розвантаження була незначною (менше 1 мм) і протягом однієї хвилини зникала, тобто $\Delta\ell_{3-5}^{\text{зал}} = 0$.

Графіки на рис. 2 відповідають початковому циклу № 1 навантаження – розвантаження недеформованого фрагменту пожежного рукава.

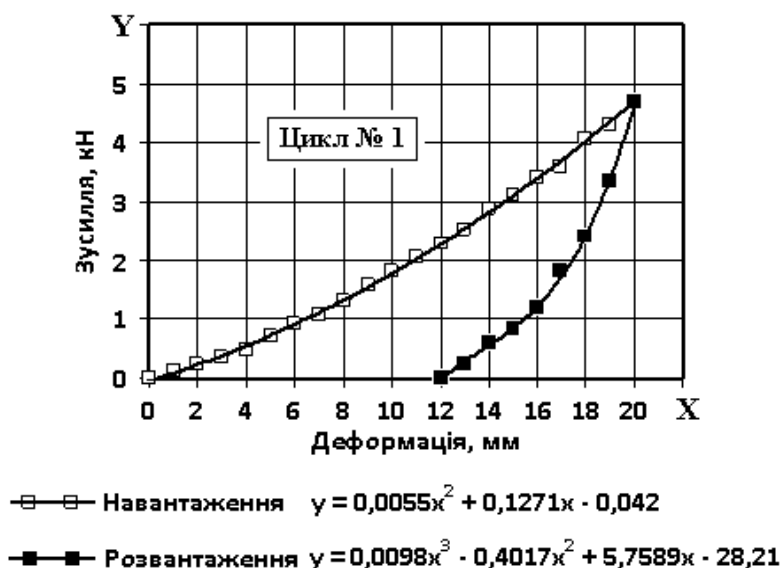


Рис. 2. Графіки циклу навантаження – розвантаження № 1

Графіки на рис. 3 відповідають циклу № 2, який проведено через дві хвилини після першого циклу. Графіки на рис. 4 відповідають наступним трьом режимам навантаження – розвантаження, які проведені з аналогічними часовими інтервалами і практично не відрізняються один від одного за числовими параметрами, що дозволило усереднити їх значення. Енергія (A_D), що накопичена в досліджуваному зразку і яка відповідає дисипативним властивостям матеріалу фрагменту пожежного рукава, визначається площею петлі гістерезису як різниця робіт, витрачених при навантаженні (A_H) і наступному розвантаженні (A_P) зразка

$$A_D = A_H - A_P = \int_{\Delta\ell_{HP}}^{\Delta\ell_{HK}} F_H(\Delta\ell) d(\Delta\ell) - \int_{\Delta\ell_{PK}}^{\Delta\ell_{PP}} F_P(\Delta\ell) d(\Delta\ell), \quad (4)$$

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; $\Delta\ell_{НП}$ – нижня межа інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження; $\Delta\ell_{НК}$ – верхня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці навантаження; $\Delta\ell_{РП}$ – нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження; $\Delta\ell_{РК}$ – верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

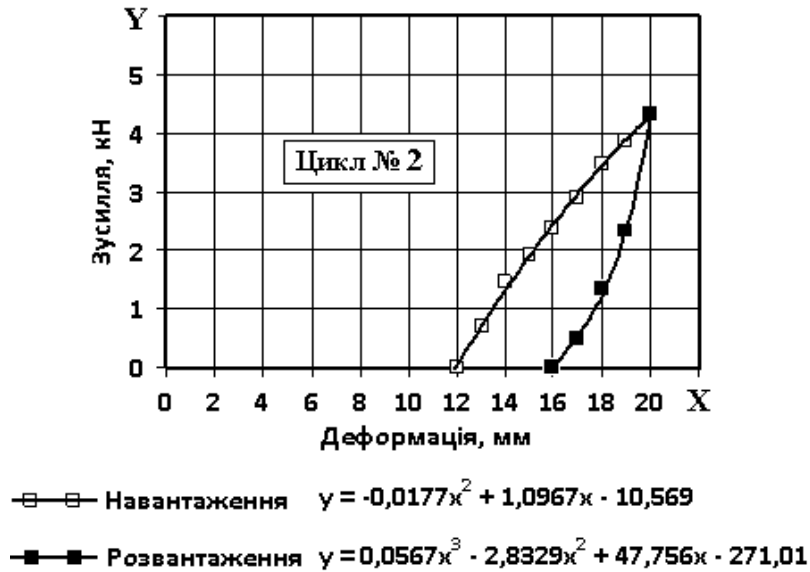


Рис. 3. Графіки циклу навантаження – розвантаження № 2

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

$$A_D = A_H - A_P = \int_{X_{НП}}^{X_{НК}} Y_H(X) dX - \int_{X_{РП}}^{X_{РК}} Y_P(X) dX, \quad (5)$$

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; $X_{НП}$ – нижня межа інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження; $X_{НК}$ – верхня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці навантаження; $X_{РП}$ – нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження; $X_{РК}$ – верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

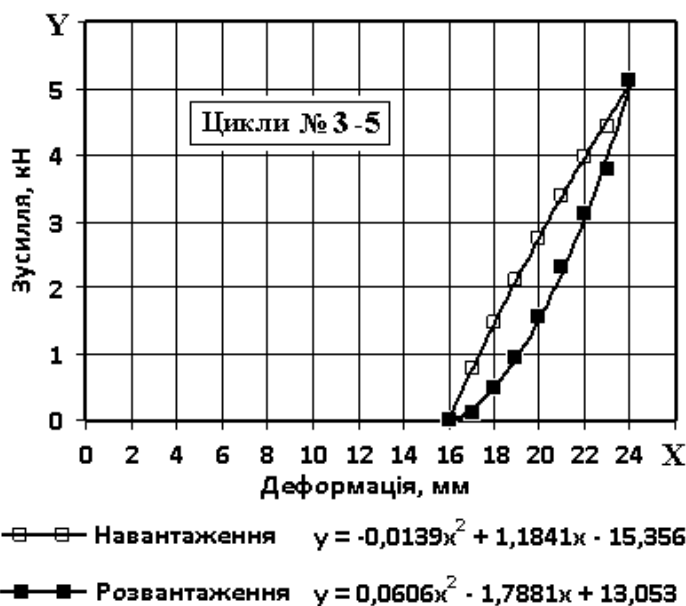


Рис. 4. Графіки циклів навантаження – розвантаження № 3-5

При цьому розмірності значень уздовж координати X 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, або коефіцієнтом дисипації

$$\beta = \frac{A_D}{A_H}. \quad (6)$$

При першому циклі випробувань (рис. 2) експериментальні результати апроксимовані залежностями матимуть наступні значення:

$$- \text{при навантаженні } Y_H(X) = 0,0055X^2 + 0,1271X - 0,042; \quad (7)$$

$$- \text{при розвантаженні } Y_P(X) = 0,0098X^3 - 0,4017X^2 + 5,7589X - 28,21. \quad (8)$$

Відповідно, енергія навантаження першого циклу становить

$$A_{H1} = \int_0^{20} (0,0055X^2 + 0,1271X - 0,042) dX = 39,25 \text{ Дж}. \quad (9)$$

Енергія гістерезису становить

$$A_{ДГ} = A_H - A_P = \int_0^{20} (0,0055X^2 + 0,1271X - 0,042) dX - \int_{12}^{20} (0,0098X^3 - 0,4017X^2 + 5,7589X - 28,21) dX = 26,37 \text{ Дж}, \quad (10)$$

$$\text{звідки} \quad \beta_1 = \frac{A_{Д1}}{A_{Н1}} = \frac{26,37}{39,25} = 0,67. \quad (11)$$

При другому циклі випробувань (рис. 3) експериментальні результати апроксимовані залежностями матимуть наступні значення:

$$- \text{ при навантаженні } Y_H(X) = -0,0177X^2 + 1,0967X - 10,569; \quad (12)$$

$$- \text{ при розвантаженні } Y_P(X) = 0,0567X^3 - 2,8329X^2 + 47,756X - 271,01. \quad (13)$$

Відповідно, енергія навантаження другого циклу становить

$$A_{H2} = \int_{12}^{20} (-0,0177X^2 + 1,0967X - 10,569) dX = 18,82 \text{ Дж}. \quad (14)$$

Енергія гістерезису становить

$$\begin{aligned} A_{Д2} = A_{H2} - A_{P2} = & \int_{12}^{20} (-0,0177X^2 + 1,0967X - 10,569) dX - \\ & - \int_{16}^{20} (0,0567X^3 - 2,8329X^2 + 47,756X - 271,01) dX = 11,95 \text{ Дж}, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{звідки} \quad \beta_2 = \frac{A_{Д2}}{A_{H2}} = \frac{11,95}{18,92} = 0,63. \quad (16)$$

При третьому – п'ятому циклах випробувань (рис. 4) усереднені експериментальні результати апроксимовані залежностями матимуть наступні значення:

$$- \text{ при навантаженні } Y_H(X) = -0,0139X^2 + 1,1841X - 15,356; \quad (17)$$

$$- \text{ при розвантаженні } Y_P(X) = 0,0606X^2 - 1,7881X + 13,053. \quad (18)$$

Відповідно, енергія навантаження при третьому – п'ятому циклах випробувань становить

$$A_{H3-5} = \int_{16}^{24} (-0,0139X^2 + 1,1841X - 15,356) dX = 21,54 \text{ Дж}. \quad (19)$$

Енергія гістерезису становить

$$\begin{aligned} A_{Д3-5} = A_{H3-5} - A_{P3-5} = & \int_{16}^{24} (-0,0139X^2 + 1,1841X - 15,356) dX - \\ & - \int_{16}^{24} (0,0606X^2 - 1,7881X + 13,053) dX = 6,79 \text{ Дж}, \end{aligned} \quad (20)$$

$$\beta_{3-5} = \frac{A_{Д3-5}}{A_{Н3-5}} = \frac{6,79}{21,54} = 0,32. \quad (21)$$

Висновки. Проведено визначення дисипативних властивостей НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження. Дослідження визначили суттєву залежність характеристик пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм від «історії» його навантаження (табл. 2).

Табл. 2. Вплив «історії» навантаження на механічні властивості рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм

Характеристика	Позначення	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикли № 3-5
Максимальне навантаження	$F_{\max}, кН$	4,68	4,32	5,12
Максимальна деформація	$\Delta\ell^{\max}, мм$	20	8	8
Максимальна відносна деформація	$\varepsilon^{\max}, \%$	12,5	5	5
Залишкова деформація	$\Delta\ell^{зал}, мм$	12	4	0
Приведена жорсткість (згідно [10])	$k, кН/м$	37,44	86,4	102,4
Коефіцієнт дисипації	β	0,67	0,63	0,32

При майже однаковому діапазоні навантаження ($4,32 \div 5,12 кН$), прикладеного до фрагменту пожежного рукава при першому та другому циклах випробувань, його характеристики значно змінювались. Лише потім, як видно з останніх 3-5 циклів, відбувалась їх стабілізація.

Значний початковий гістерезис фрагменту пожежного рукава (цикл № 1) при повторних випробуваннях (цикл № 2, цикли № 3-5) значно зменшується, що разом із зменшенням залишкових деформацій та стабілізацією пружних властивостей, наближає поведінку матеріалу до пружного. Зміна властивостей матеріалу пожежного рукава при послідовних циклах деформацій навантаження-розвантаження є зворотною, проміжки між циклами деформування призводять до часткового відновлення механічних характеристик, наближаючи їх до початкових значень. Час релаксації, що в значній мірі залежить від величини попередньої відносної деформації, становить від кількох годин до кількох діб і навіть тижнів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нгуен Ван Тху. Совершенствование эксплуатации пожарных напорных рукавов в СРВ. Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.26.01

Москва Техника безопасности и противопожарная техника, 1986. – 30 с.

2. Пат. 93170 Україна, МПК (2014) F15B19/00. Спосіб технічного діагностування пожежних рукавів / Ларін О.М., Коханенко В.Б., Виноградов С.А., Назаренко С.Ю., Яковлев О.М.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u2014 02477, заяв. 12.03.2014; опубл. 25.09.2014, бюл. № 18.

3. ДСТУ 3810-98. Пожежна техніка. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови.

4. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций / В.Л. Бидерман –М.: Машиностроение, 1977. – 488с.

5. Светлицкий В.А. Механика трубопроводов и шлангов В.А. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1982. – 280с.

6. 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.

7. 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.

8. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2014. – Вып. 35. – С. 133-139. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol35/larin.pdf>.

А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко

Определение диссипативных свойств напорных пожарных рукавов

Рассматриваются результаты определения диссипативных свойств напорного пожарного рукава типа «Т» с внутренним диаметром 51 мм при продольных деформациях.

Ключевые слова: напорный пожарный рукав (НПР), рабочее давление, испытания, жесткость, гистерезис, диссипативные свойства.

A.N. Larin, G.A. Chernobay, V.B. Kokhanenko, S.Yu. Nazarenko

Determination of dissipative properties of head pressure fire hoses

Results of determination of dissipative properties of a head pressure fire hose of the type "T" with internal diameter of 51 mm are considered at longitudinal deformations.

Keywords: head pressure fire hose, working pressure, tests, rigidity, hysteresis, dissipative properties.