

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

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» ІЗ ВНУТРІШНІМ ДІАМЕТРОМ 77 ММ ПРИ ПОЗДОВЖНІХ ДЕФОРМАЦІЯХ

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

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

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

Напірні рукава, 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 по експлуатації 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, в значній мірі сприяють підвищенню боєздатності пожежних частин, а також економічній 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 [2-5].

Результати теоретичних і експериментальних досліджень міцності силових елементів напірних пожежних рукавів, а саме армуючого каркасу, який повністю сприймає зусилля, що обумовлені наявністю гідравлічної дії внутрішнього тиску рідини усередині рукава, котрі наведені в роботах [6 – 9], використовуються при розрахунках нових перспектив-

них типів пожежних рукавів і не враховують суттєвих змін в їх структурі та характеристиках, що безумовно відбуваються в процесі реальної експлуатації.

Таким чином, 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 завдання та його вирішення. Деякі особливості роботи пожежних рукавів в умовах реальної експлуатації, які суттєво впливають на їх надійність, особливо при тривалих термінах використання, визначили необхідність розробки науково обґрунтованого методу, який дозволяє установити остаточний ресурс пожежного рукава, можливість та доцільність його ремонту і подальшого застосування.

При проведенні 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 [10, 11] дозволяє визначити окрім поздовжньої жорсткості напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм і його дисипативні властивості.

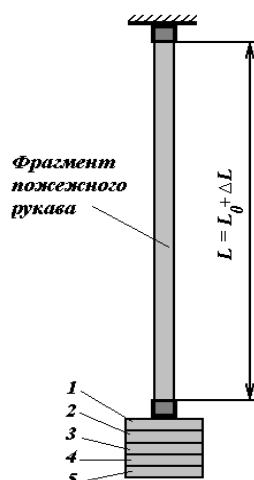


Рис. 1. Дослідна установка із встановленим фрагментом пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм

Для проведення відповідних робіт було використано дослідну установку, схема якої наведено на рисунку 1. Установка була змонтована в лабораторії кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України.

Дослідний фрагмент пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм і випробувальною довжиною $L_0 = 2,270$ м, було закріплено у вертикальному положенні відповідними пристроями і проведено цикл випробувань з його навантаження.

Навантаження проводилось згідно даних табл. 1.

Табл. 1. Зосереджені маси для навантаження рукава

№ з/п	Маса вантажу, кг	Вага, Н	Примітка
1	25,82	253,3	Початкова довжина фрагменту пожежного рукава $L_0 = 2,270$ м. Інтервал між навантаженнями склав дві хвилини.
2	24,26	238,0	
3	21,68	212,7	
4	22,76	223,2	
5	22,22	218,0	

Початковий (№1) цикл навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава довжиною $L_0 = 2,190$ м.

Максимальна величина деформації становила $\Delta \ell_1^{max} = 40 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F^{max} = 1145,2$ Н, тобто максимальна відносна деформація становила $\varepsilon_1^{max} = \Delta \ell_1^{max} / L_0 \cdot 100\% = 40 \cdot 10^{-3} / 2,19 \cdot 100\% = 1,83\%$.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta \ell_1^{зал} = 9,0 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (цикл № 2), яке було проведено через дві хвилини після першого залишкова деформація скоротилася на 0,002 м, відповідно фрагмент мав випробувальну довжину 2,197 м.

Максимальна величина деформації становила $\Delta \ell_2^{max} = 34,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F^{max} = 1145,2$ Н, тобто максимальна відносна деформація становила $\varepsilon_2^{max} = \Delta \ell_2^{max} / L_0 \cdot 100\% = 34 \cdot 10^{-3} / 2,19 \cdot 100\% = 1,55\%$.

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

При третьому циклі навантаженні (№ 3), який було проведено через дві хвилини після другого залишкова деформація скоротилася на 0,001 м, відповідно фрагмент мав випробувальну довжину 2,199 м.

Максимальна величина деформації становила $\Delta \ell_3^{max} = 33,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F^{max} = 1145,2$ Н, тобто максимальна відносна деформація становила $\varepsilon_3^{max} = \Delta \ell_3^{max} / L_0 \cdot 100\% = 33 \cdot 10^{-3} / 2,19 \cdot 100\% = 1,51\%$.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta \ell_3^{зал} = 3,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Числові параметри наступних циклів навантаження (№ 4–6), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити експериментальні дані. Максимальна усереднена величина деформації становила $\Delta \ell_{4-6}^{max} = 33,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F^{max} = 1145,2$ Н, тобто максимальна відносна деформація становила $\varepsilon_{4-6}^{max} = \Delta \ell_{4-6}^{max} / L_0 \cdot 100\% = 33 \cdot 10^{-3} / 2,19 \cdot 100\% = 1,51\%$.

Після розвантаження усереднена залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\ell_{4-6}^{зал} = 0,67 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ і за одну – дві хвилини зникала.

Таким чином діапазон відносних деформацій при випробуваннях фрагменту пожежного рукава становив від 0 до 1,83%.

Результати випробувань наведені в табл. 2.

Табл. 2. Результати проведених випробувань

Навантаження, H	Деформація, мм							
	Цикл № 1		Цикл № 2		Цикл № 3		Цикли № 4-6	
	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.
0	0	9	0	3	0	1	0,00	0,67
253,3	14	25	10	20	10	19	10,67	18,00
491,3	24	32	21	26	19	24	19,00	25,33
704,0	29	35	25	29	23	29	22,67	27,00
927,2	36	39	30	33	30	31	29,33	31,00
1145,2	40	40	34	34	33	33	33,00	33,00

Графіки, які відповідають результатам випробувань наведені на рис. 2-5, де для зручності наступних розрахунків залишкові деформації не враховані.

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

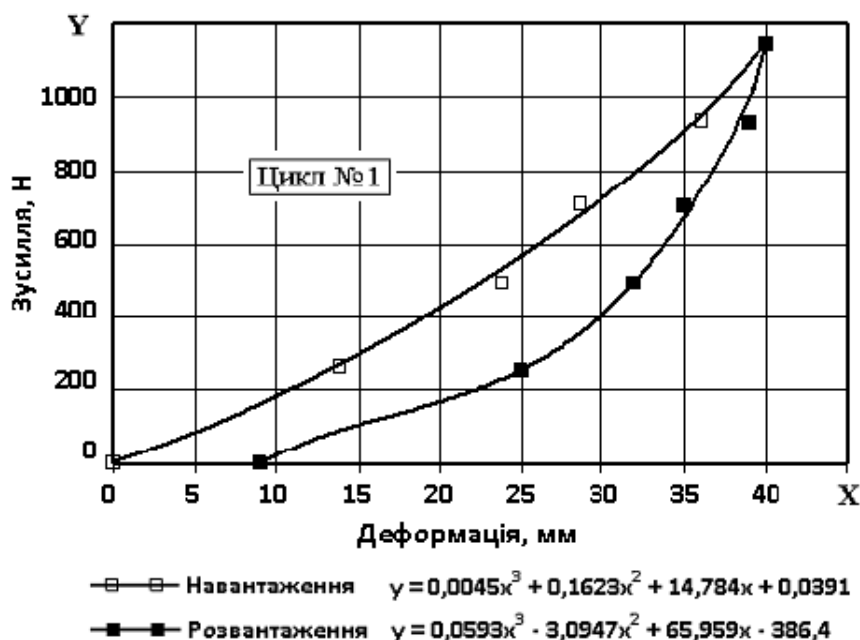


Рис. 2. Графіки циклу навантаження – розвантаження № 1

Графіки на рис. 3 відповідають циклу № 2, який проведено через дві хвилини після першого.

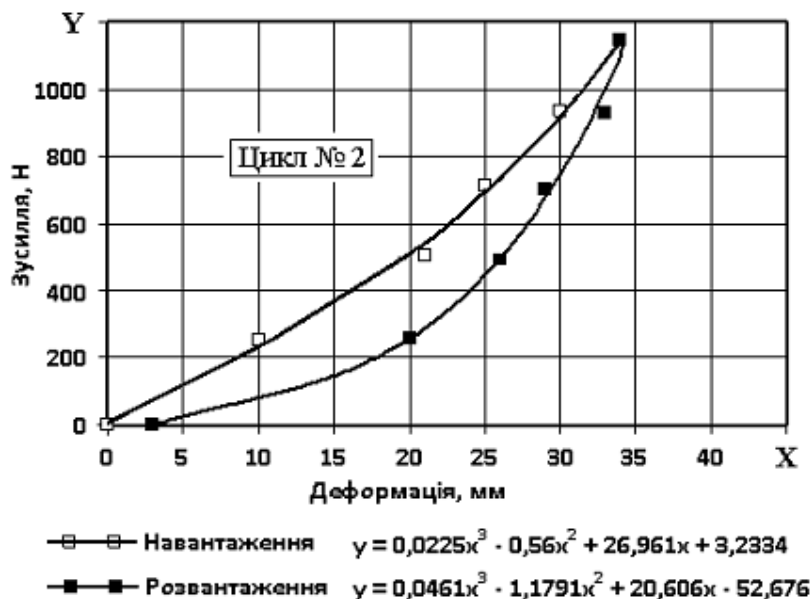


Рис. 3. Графіки циклу навантаження – розвантаження № 2

Графіки на рис. 4 відповідають циклу № 3, який проведено через дві хвилини після першого.

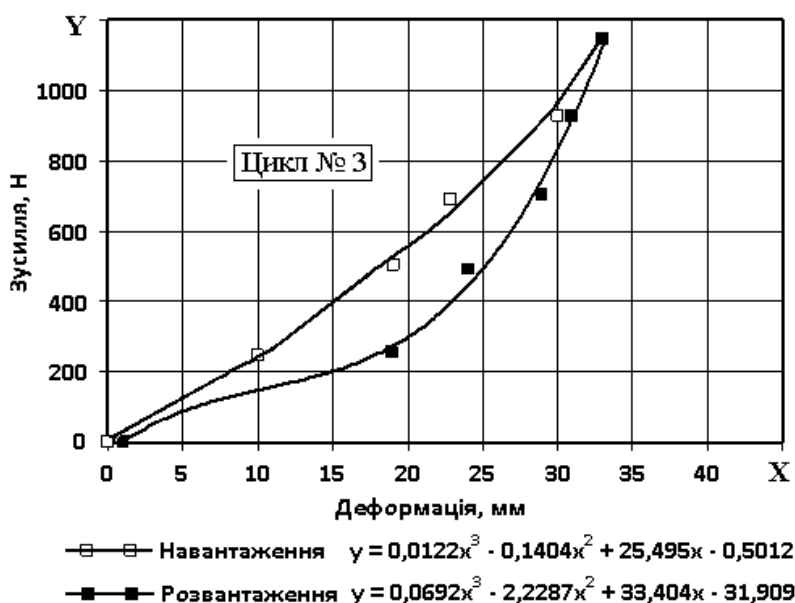


Рис. 4. Графіки циклу навантаження – розвантаження № 3

Графіки на рис. 5 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 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

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

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; $\Delta\ell_{PP}$ – нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження; $\Delta\ell_{PK}$ – верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

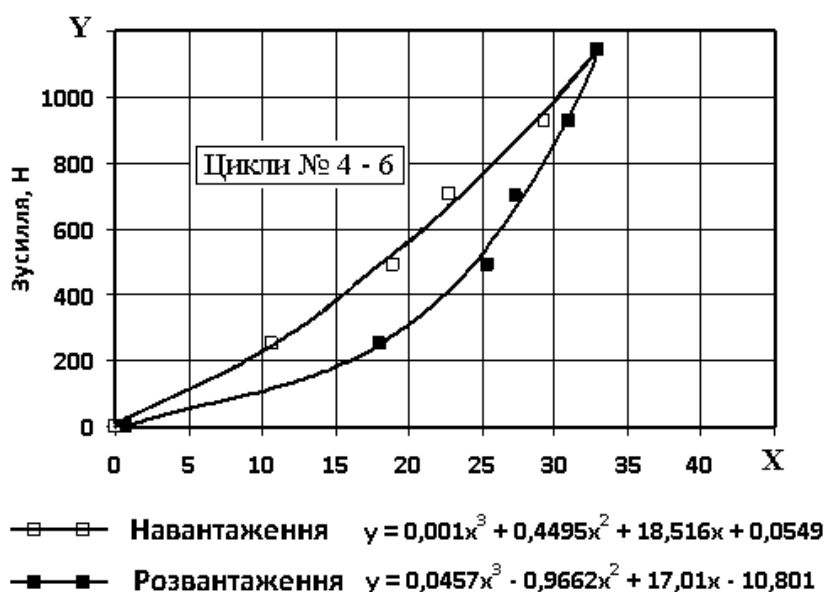


Рис. 5. Графіки циклів навантаження - розвантаження № 4-6

Якщо прийняти позначення графіків (рис. 2-5), де результати експериментальних досліджень (табл. 1) апроксимовані засобами Microsoft Word відповідними поліномами трендів, то рівняння (1) матиме вид

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

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_{PP} – 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 визначаються в мм, а уздовж координати Y в Н, що визначає розмірність енергії в Нмм.

Для подальших розрахунків дисипативні властивості пожежного рукава доцільно визначити безрозмірним співвідношенням

$$\beta = A_D / A_H . \quad (3)$$

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

– при навантаженні

$$Y_{H1}(X) = 0,0045X^3 + 0,1623X^2 + 14,784X + 0,0391;$$

– при розвантаженні

$$Y_{P1}(X) = 0,0593X^3 - 3,0947X^2 + 65,959X - 386,4.$$

Відповідно, енергія навантаження першого циклу становить:

$$A_{H1} = \int_0^{40} (0,0045X^3 + 0,1623X^2 + 14,784X + 0,0391) dX \cong 18,17 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D1} = A_{H1} - A_{P1} = \int_0^{40} (0,0045X^3 + 0,1623X^2 + 14,784X + 0,0391) dX - \\ - \int_9^{40} (0,0593X^3 - 3,0947X^2 + 65,959X - 386,4) dX = 7467,23 \text{ Нмм} \cong 7,47 \text{ Дж,}$$

звідки $\beta_1 = A_{D1} / A_{H1} = 7,47 / 18,17 = 0,41$.

Аналогічно при другому циклі випробувань (рис. 3):

– при навантаженні

$$Y_{H2}(X) = 0,0225X^3 - 0,56X^2 + 26,961X + 3,2334;$$

– при розвантаженні

$$Y_{P2}(X) = 0,0461X^3 - 1,1791X^2 + 20,606X - 52,676.$$

Відповідно, енергія навантаження другого циклу становить:

$$A_{H2} = \int_0^{34} (0,0225X^3 - 0,56X^2 + 26,961X + 3,2334) dX \cong 15,87 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D2} = A_{H2} - A_{P2} = \int_0^{34} (0,0225X^3 - 0,56X^2 + 26,961X + 3,2334) dX - \\ - \int_3^{34} (0,0461X^3 - 1,1791X^2 + 20,606X - 52,676) dX = 5725,7 \text{ Нмм} \cong 5,73 \text{ Дж,}$$

звідки $\beta_2 = A_{D2} / A_{H2} = 5,73 / 15,87 = 0,36$.

Аналогічно при третьому циклі випробувань (рис. 4):

– при навантаженні

$$Y_{H3}(X) = 0,0122X^3 - 0,1404X^2 + 25,495X - 0,5012;$$

– при розвантаженні

$$Y_{P3}(X) = 0,0692X^3 - 2,2287X^2 + 33,404X - 31,909.$$

Відповідно, енергія навантаження третього циклу становить:

$$A_{H3} = \int_0^{33} (0,0122X^3 - 0,1404X^2 + 25,495X - 0,5012) dX \cong 15,8 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д3} = A_{H3} - A_{P3} = \int_0^{33} (0,0122X^3 - 0,1404X^2 + 25,495X - 0,5012) dX - \\ - \int_1^{33} (0,0692X^3 - 2,2287X^2 + 33,404X - 31,909) dX = 4830,5 \text{ Нмм} \cong 4,83 \text{ Дж},$$

$$\text{звідки } \beta_3 = A_{Д3} / A_{H3} = 4,83 / 15,8 = 0,31.$$

При четвертому-шостому циклах випробувань (рис. 5) усереднені експериментальні результати апроксимовані залежностями:

– при навантаженні

$$Y_{H4-6}(X) = -0,001X^3 + 0,4495X^2 + 18,516X + 0,0549;$$

– при розвантаженні

$$Y_{P4-6}(X) = 0,0457X^3 - 0,9662X^2 + 17,01X - 10,801.$$

Відповідно, енергія навантаження на четвертому - шостому циклах випробувань становить:

$$A_{H4-6} = \int_0^{33} (0,001X^3 + 0,4495X^2 + 18,516X + 0,0549) dX \cong 15,8 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д4-6} = A_{H4-6} - A_{P4-6} = \int_0^{33} (0,001X^3 + 0,4495X^2 + 18,516X + 0,0549) dX - \\ - \int_{0,67}^{33} (0,0457X^3 - 0,9662X^2 + 17,01X - 10,801) dX = 4880,99 \text{ Нмм} \cong 4,88 \text{ Дж},$$

$$\text{звідки } \beta_{4-6} = A_{Д4-6} / A_{H4-6} = 4,88 / 15,8 = 0,31.$$

Висновки. Для наступних теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів 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. 3).

Табл. 3. Залежність характеристик пожежного рукава типу «Г» із внутрішнім діаметром 77 мм від «історії» його навантаження

Характеристика	Позначення	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикл № 3	Цикли № 4-6
Максимальне навантаження	F^{\max} , Н	1145,2	1145,2	1145,2	1145,2
Максимальна деформація	$\Delta\ell^{\max}$, мм	40	34	33	33
Максимальна відносна деформація	ε^{\max} , %	1,83	1,55	1,51	1,51
Залишкова деформація	$\Delta\ell^{\text{зал}}$, мм	9	3	3	0,67
Коефіцієнт дисипації	β	0,41	0,36	0,31	0,31

При однаковому навантаженні (1145,2 Н), прикладеному до фрагменту пожежного рукава на першому та другому циклах випробувань його характеристики значно змінювались і лише потім (3-6 цикли) відбувалась їх стабілізація.

Приведена поздовжня жорсткість рукава стабілізувалась [11] на рівні $k \approx 76$ кН/м, коефіцієнт дисипації $\beta = 0,31$, при відносній деформації $\varepsilon^{\max} = 1,51$ %.

Значний початковий гістерезис фрагменту пожежного рукава (цикл № 1) при наступних випробуваннях (цикли № 2–6) зменшується, що разом із зменшенням залишкових деформацій та стабілізацією поздовжньої жорсткості, 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. 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.]. – М.: ВИПТШ, 1979. – 435 с.
3. Иванов Е.Н. Противопожарное водоснабжение / Е.Н. Иванов. – М.: Стройиздат, 1986. – 315с.
4. Качалов А.А. Противопожарное водоснабжение / Качалов А.А., Воротынцев Ю.П., Власов А.В. – : Стройиздат, 1985. – 286с.
5. Щербина Я.Я. Основы противопожарной техники / Я.Я. Щербина – Киев, Вища школа, 1977. – 234 с.

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

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

8. 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.

9. Моторин Л.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии / Моторин Л.В., Степанов О.С., Братолобова Е.В. // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2011. – №.1 – С. 126-133.

10. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Т» діаметром 51 мм / Ларін О.М., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю. // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – № 37. – С. 135-141

11. Назаренко С.Ю. Визначення механічних властивостей пожежного рукава типу «Т» діаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2014. – № 36. – С. 174-179

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

Определение диссипативных свойств напорных пожарных рукавов типа «Т» с внутренним диаметром 77 мм при продольных деформациях

Рассматриваются методика и результаты определения диссипативных свойств напорного пожарного рукава типа «Т» с внутренним диаметром 77 мм при продольных деформациях.

Ключевые слова: Рукав, напорный пожарный рукав, рабочее давление, испытания, жесткость, гистерезис, диссипативные свойства.

A.N. Larin, G.A. Chernobay, S.Y. Nazarenko, V.B. Kohanenko

Determination of dissipative properties of pressure fire hoses "T" type with an inner diameter of 77 mm at the longitudinal strain

The technique and results of determining the dissipative properties of pressure fire hose "T" type with an inner diameter of 77 mm at the longitudinal strain.

Keywords: hose, fire hose discharge, pressure, testing, hardness, hysteresis, dissipative properties.