

УДК 614.843/083

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» З ВНУТРІШНІМ ДІАМЕТРОМ 51 ММ В ПОПЕРЕЧНОМУ НАПРЯМКУ

*О.М. Ларін, д-р. техн. наук, проф., Г.О. Чернобай, канд. техн. наук, доц., С.Ю. Назаренко
Національний університет цивільного захисту, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

*Надійшла до редакції: 15.06.2016
Пройшла рецензування: 18.07.2016*

Ключові слова:

*рукав, напірний пожежний рукав,
робочий тиск, випробування,
жорсткість, гістерезис, дисипативні
властивості*

АНОТАЦІЯ

Розглядаються методика і результати визначення дисипативних властивостей матеріалу напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм при поперечних деформаціях

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 – 4].

Результати теоретичних і експериментальних досліджень міцності силових елементів напірних пожежних рукавів, а саме армуючого каркасу, який повністю сприймає зусилля, обумовлені наявністю гідравлічної дії

внутрішнього тиску рідини усередині рукава наведені в роботах [5 – 9].

Постановка задачі та її 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 поздовжніх пружно-дисипативних характеристик пожежних рукавів пружні [12] та дисипативні властивості їх матеріалу в поперечному (відносно осі рукава) напрямку.

Для проведення цих робіт було використано дослідну установку ДМ – 30 М, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України.

Дослідний фрагмент матеріалу, який було відокремлено від пожежного рукава типу «Т» діаметром $d = 51$ мм, мав випробувальну довжину $\ell = 65$ мм, ширину $b = 100$ мм (рис. 1) та товщину $\delta = 1,5$ мм. Зразок було закріплено відповідними пристроями на дослідній машині і проведено цикл випробувань з його навантаження.

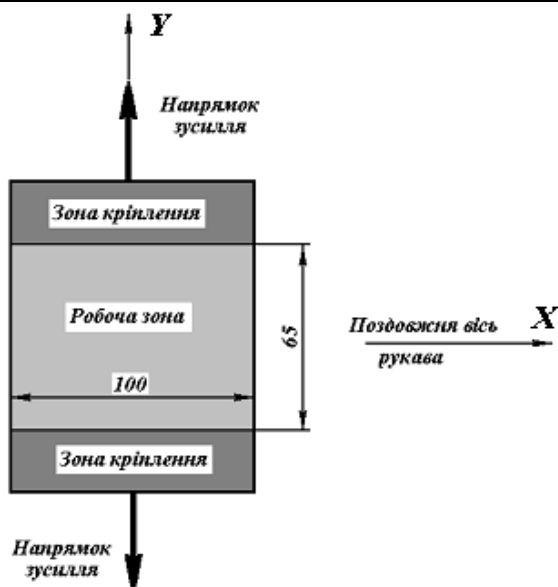


Рисунок 1 – Випробувальний зразок матеріалу пожежного рукава

Навантаження та розвантаження проводилось з постійним кроком подовження зразка (0,5 мм), з фіксацією відповідного зусилля. Максимальна величина деформації для всіх режимів навантаження була прийнята постійною і становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом матеріалу пожежного рукава з випробувальною довжиною 65 мм. Максимальна величина деформації $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м відповідала навантаженню $F_1^{\max} = 1,8$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_2^{\max} = 2,16$ кН. Після розвантаження

залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_2^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_3^{\max} = 2,21$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_3^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Параметри наступних трьох режимів навантаження (4 – 6), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_{4-6}^{\max} = 2,35$ кН. Залишкова деформація фрагменту була практично відсутня, тобто $\Delta l_{4-6}^{\text{зал}} \cong 0$.

Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Деформація, мм	Величина навантаження, кН							
	Режим 1		Режим 2		Режим 3		Режими 4-6	
	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.
0	0,000	–	–	–	–	–	–	–
0,5	0,240	–	–	–	–	–	–	–
1,0	0,528	0,000	0,000	–	–	–	–	–
1,5	0,888	0,048	0,360	0,000	0,000	–	–	–

Продовження таблиці 1

2,0	1,152	0,240	0,912	0,120	0,240	0,000	0,000	0,000
2,5	1,416	0,528	1,104	0,216	0,600	0,048	0,296	0,024
3,0	1,656	0,960	1,488	0,480	1,008	0,264	0,688	0,088
3,5	1,800	1,800	1,752	0,912	1,440	0,552	1,056	0,304
4,0	–	–	1,968	1,632	1,728	0,936	1,456	0,632
4,5	–	–	2,160	2,160	2,016	1,464	1,760	1,008
5,0	–	–	–	–	2,210	2,210	2,088	1,480
5,5	–	–	–	–	–	–	2,350	2,350

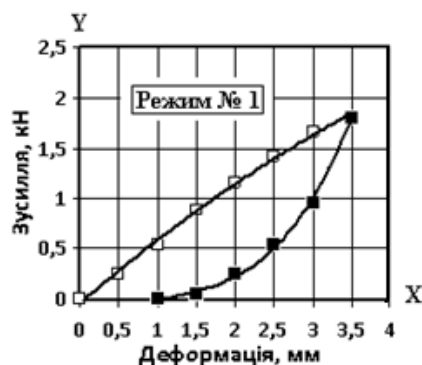
При всіх режимах навантаження-розвантаження максимальна величина деформації становила $\Delta\ell^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$,

тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon^{\max} = \frac{\Delta\ell^{\max}}{\ell} 100\% = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{65 \cdot 10^{-3}} 100\% = 5,4 \%$$

Графіки на рисунку 2 відповідають початковому режиму (№ 1) навантаження - розвантаження недеформованого фрагменту

матеріалу пожежного рукава. Графіки на рисунку 3 відповідають режиму № 2, який проведено через дві хвилини після першого.



—□—□— Навантаження $y = -0,0366x^2 + 0,6663x - 0,046$
 —■—■— Розвантаження $y = 0,1084x^3 - 0,3806x^2 + 0,6157x$

Рисунок 2 – Графіки режиму навантаження – розвантаження № 1

Графіки на рисунку 4 відповідають режиму № 3, який проведено через дві хвилини після другого.

Графіки на рисунку 5 відповідають наступним трьом режимам навантаження -



—□—□— Навантаження $y = -0,0834x^2 + 1,0794x - 1,01$
 —■—■— Розвантаження $y = 0,2617x^2 - 0,8417x + 0,6966$

Рисунок 3 – Графіки режиму навантаження – розвантаження № 2

розвантаження, які проведені з аналогічними часовими інтервалами і практично не відрізняються один від одного за числовими параметрами, що дозволило усереднити їх значення.

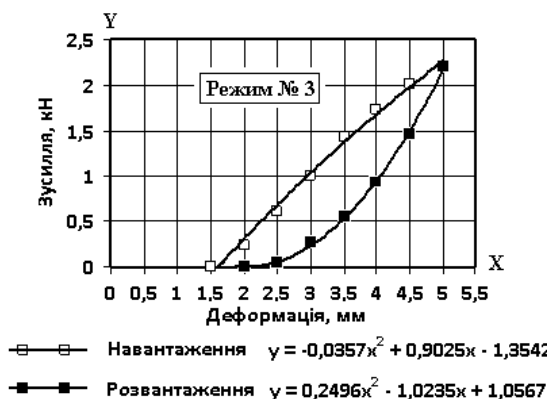


Рисунок 4 – Графіки режиму навантаження – розвантаження № 3

Енергія (A_d), що накопичена в зразку і яка відповідає дисипативним властивостям матеріалу фрагменту пожежного рукава в поперечному напрямку, 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;

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

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

Якщо прийняти позначення графіків (рис. 2 - 5), де результати експериментальних досліджень (табл. 1) апроксимовані засобами Microsoft Excel 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;

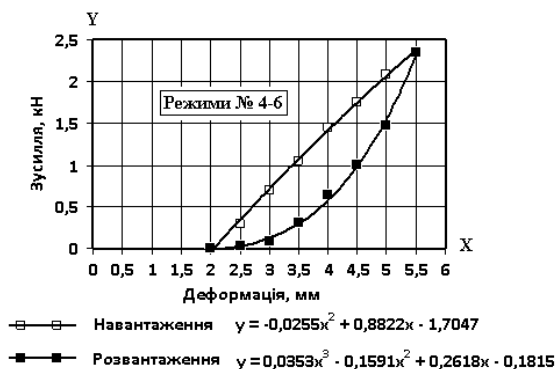


Рисунок 5 – Графіки режимів навантаження – розвантаження № 4-6

$Y_P(X)$ - 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 в мм, а уздовж координати Y в кН, що визначає розмірність енергії в Дж.

Для подальших розрахунків дисипативні властивості матеріалу пожежного рукава в поперечному напрямку доцільно визначити безрозмірним співвідношенням, або коефіцієнтом дисипації

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

На першому режимі випробувань (рис. 2) експериментальні результати апроксимовані залежностями:

при навантаженні

$$Y_H(X) = -0,0366X^2 + 0,6663X - 0,046;$$

при розвантаженні

$$Y_P(X) = 0,1084X^3 - 0,3806X^2 + 0,6157X - 0,3543.$$

Відповідно, енергія навантаження першого режиму становить:

$$A_{HI} = \int_0^{3,5} (-0,0366X^2 + 0,6663X - 0,046) dX = 3,4 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{DI} = A_{HI} - A_{PI} = \int_0^{3,5} (-0,0366X^2 + 0,6663X - 0,046) dX - \int_1^{3,5} (0,1084X^3 - 0,3806X^2 + 0,6157X - 0,3543) dX = 2,1 \text{ Дж,}$$

$$\text{звідки} \quad \beta_1 = \frac{A_{DI}}{A_{HI}} = \frac{2,1}{3,4} = 0,62.$$

Аналогічно на другому режимі випробувань (рис. 3):

$$\text{при навантаженні} \\ Y_H(X) = -0,0834X^2 + 1,0794X - 1,01;$$

$$\text{при розвантаженні} \\ Y_P(X) = 0,2617X^2 - 0,8417X + 0,6966.$$

Відповідно, енергія навантаження другого режиму становить:

$$A_{H2} = \int_1^{4,5} (-0,0834X^2 + 1,0794X - 1,01) dX = 4,35 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D2} = A_{H2} - A_{P2} = \int_1^{4,5} (-0,0834X^2 + 1,0794X - 1,01) dX - \int_{1,5}^{2,0} (0,2617X^2 - 0,8417X + 0,6966) dX = 2,18 \text{ Дж,}$$

$$\text{звідки} \quad \beta_2 = \frac{A_{D2}}{A_{H2}} = \frac{2,18}{4,35} = 0,5.$$

На третьому режимі випробувань (рис. 4) експериментальні результати апроксимовані залежностями:

$$\text{при навантаженні} \\ Y_H(X) = -0,0357X^2 + 0,9025X - 1,3542;$$

$$\text{при розвантаженні} \\ Y_P(X) = 0,2496X^2 - 1,0235X + 1,0567.$$

Відповідно, енергія навантаження при третьому режимі випробувань становить:

$$A_{H3} = \int_{1,5}^5 (-0,0357X^2 + 0,9025X - 1,3542) dX = 4,08 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D3} = A_{H3} - A_{P3} = \int_{1,5}^5 (-0,0357X^2 + 0,9025X - 1,3542) dX - \int_2^5 (0,2496X^2 - 1,0235X + 1,0567) dX = 1,91 \text{ Дж,}$$

$$\text{звідки} \quad \beta_3 = \frac{A_{D3}}{A_{H3}} = \frac{1,91}{4,08} = 0,47.$$

На четвертому-шостому режимах випробувань (рис. 5) усереднені експериментальні результати апроксимовані залежностями:

$$\text{при навантаженні} \\ Y_H(X) = -0,0255X^2 + 0,8822X - 1,7047;$$

$$\text{при розвантаженні} \\ Y_P(X) = 0,0353X^3 - 0,1591X^2 + 0,2618X - 0,1815.$$

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

$$A_{H4-6} = \int_2^{5,5} (-0,0255X^2 + 0,8822X - 1,7047) dX = 4,26 \text{ Дж.}$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D4-6} = A_{H4-6} - A_{P4-6} = \int_2^{5,5} (-0,0255X^2 + 0,8822X - 1,7047) dX - \int_2^{5,5} (0,0353X^3 - 0,1591X^2 + 0,2618X - 0,1815) dX = 1,93 \text{ Дж,}$$

$$\text{звідки} \quad \beta_{4-6} = \frac{A_{D4-6}}{A_{H4-6}} = \frac{1,93}{4,26} = 0,45.$$

Висновки. Для наступних теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів проведено визначення дисипативних властивостей їх матеріалу в поперечному (відносно осі рукава) напрямку, в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження.

Дослідження визначили суттєву залежність характеристик матеріалу пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм від «історії» його навантаження (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика	Позначення	Режим № 1	Режим № 2	Режим № 3	Режими № 4-6
Максимальне навантаження	$F_{\max}, кН$	1,8	2,16	2,21	2,35
Максимальна деформація	$\Delta \ell^{\max}, мм$	3,5	3,5	3,5	3,5
Максимальна відносна деформація	$\varepsilon^{\max}, \%$	5,4	5,4	5,4	5,4
Залишкова деформація	$\Delta \ell^{зал}, мм$	1	0,5	0,5	≈ 0
Модуль «поперечної» пружності (згідно [12])	$k^y, МПа$	223	268	274	291
Коефіцієнт дисипації	β	0,62	0,5	0,47	0,45

При майже однаковому діапазоні навантаження (1,8 ÷ 2,35 кН), прикладеного до фрагменту пожежного рукава на першому та другому режимах випробувань його характеристики в поперечному напрямку значно змінювались і лише потім (3 – 6 режими) відбувалась їх стабілізація.

Модуль «поперечної» пружності матеріалу рукава [12] стабілізувався на рівні 291 МПа, коефіцієнт дисипації - 0,45, при відносній деформації 5,4 %.

Значний початковий гістерезис фрагменту пожежного рукава при наступних випробуваннях 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 днів і навіть тижнів.

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. Пономарев, С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. Том II / Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К., Макушин В.М., Малинин Н.Н., Феодосьев В.И. – М.: Машгиз, 1958. – 974с.
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 /Л.В. Моторин, О.С. Степанов, Е.В. Братолобова // Изв. вузов. Технология текст. пром–сти. –2011. –№.1 – С. 126 – 133.
10. 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.
11. Ларін О.М. Визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава / Ларін О.М., Чернобай Г.О., Коханенко Г.О., Назаренко С.Ю. // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2014. - № 36. – С. 141-149
12. Ларин А.Н. Определение поперечной жёсткости пожарных рукавов диаметром 51 мм / Ларин А.Н., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю., Коханенко В.Б. // Чрезвычайные ситуации: Образование и наука: междунар. науч.-практ. журнал. – Гомель, ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2016, ТОМ 11, № 1. – С. 22-26.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА НАПОРНОГО ПОЖАРНОГО РУКАВА ТИПА «Т» С ВНУТРЕННИМ ДИАМЕТРОМ 51 ММ В ПОПЕРЕЧНОМ НАПРАВЛЕНИИ

*А.М. Ларин, д-р техн. наук, проф., Г.О. Чернобай, канд. техн. наук, доц., С.Ю. Назаренко
Национальный университет гражданской защиты, Украина*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рукав, напорный пожарный рукав, рабочее давление, испытания, жесткость, гистерезис, диссипативные свойства.

АННОТАЦИЯ

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

DETERMINATION DISSIPATIVE MATERIAL PROPERTIES TYPE PRESSURE FIRE HOSES "T" WITH AN INNER DIAMETER OF 51 MM IN THE TRANSVERSE DIRECTION

*A. Larin, Doc. of Sc. (Eng.), Prof., G. Chernobay, Cand. of Sc (Eng.), Docent, S. Nazarenko
National university of civil protection, Ukraine*

KEYWORDS

hose, fire hose pressure, working pressure, test, hardness, hysteresis, dissipative properties.

ANNOTATION

We consider the methodology and the results determine the dissipative properties of the material type pressure fire hose "T" with an inner diameter of 51 mm with a transverse strains.