

*О.М. Ларін, д.т.н., проф., НУЦЗУ,
Г.О. Чернобай, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
С.Ю. Назаренко, викладач, НУЦЗУ,
С.А. Виноградов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА

Встановлено, що механічні властивості, напірного пожежного рукава, визначають довготривалість його безпечної експлуатації. В роботі представлені експериментальні дослідження з визначення деяких механічних властивостей, а саме дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження у поперечному напрямку. Експеримент було проведено на дослідній установці ДМ-30М, яка дає можливість заміру сили та деформації.

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

Постановка проблеми. Напірні рукава є одним із основних видів пожежного оснащення 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. 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 до дій за призначенням, а також економічній ефективності їх функціонування.

У всьому світі використовуються напірні пожежні рукави (НПР) схожої конструкції з внутрішнім гідроізоляційним шаром та зовнішнім армуючим каркасом [1]. Схожими є і способи їх випробування. 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.

Проблемою на сьогоднішній день є те, що способи випробування НПР, що застосовуються в підрозділах ОРС ЦЗ [2-3], не дозволяють діагностувати технічний стан рукава на ранній стадії його пошкодження (до розриву). Тому актуальним є завдання розробки та удосконалення способів випробування НПР, що дозволяють визначити наявність прихованого дефекту до настання граничного стану (розриву), виявлення якого під час гасіння пожежі може призвести до значного збільшення часу її ліквідації.

Одним з необхідних етапів розробки такого способу випробування НПР є визначення дисипативних властивостей матеріалу рукава під дією навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням розробки та удосконаленню способів випробування НПР у вітчизняній та зарубіжній періодичній літературі присвячено недостатньо уваги.

Аналіз літературних джерел, присвячених методам розрахунків напірних пожежних рукавів, показав, що вони здебільшого зводяться до розрахунку втрат тиску в мережі [4–6].

У роботах [7, 8] отримано математичну модель для міцнісного розрахунку тканини несучої оболонки напірного пожежного рукава при гідравлічному впливі.

У роботах [2, 3, 9–11] запропоновано способи та апаратуру для випробування НПР під дією зовнішнього джерела тиску. Такі способи не дозволяють прогнозувати подальший ресурс НПР, а зводяться до випробування їх під тиском до настання граничного стану – розриву.

Авторами в роботах [12, 13] дослідним шляхом визначено повздовжню та поперечну жорсткість НПР типу «Т» (для пожежно-рятувальних автомобілів, мотопомп та зовнішніх кран-комплектів [3]) із внутрішнім діаметром 77 мм, а в роботі [14] – дисипативні властивості НПР із внутрішнім діаметром 77 мм при циклічному навантаженні в повздовжньому напрямку. Проте залишаються невизначеними дисипативні властивості НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм при поперечних деформаціях.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є проведення експериментальних досліджень з визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження у поперечному напрямку (відносно осі рукава).

Для проведення експериментальних досліджень було використано дослідну установку ДМ–30 М, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України, будову та принцип роботи якої докладно описано в [10].

Дослідний фрагмент матеріалу, який було відокремлено від пожежного рукава діаметром $d = 77$ мм, мав випробувальну довжину $\ell = 75$ мм, ширину $b = 100$ мм (рис. 1) та товщину $\delta = 2,7$ мм. Зразок було закріплено відповідними пристроями на дослідній машині і проведено цикл випробувань з його навантаження.

Навантаження та розвантаження проводилось з постійним кроком подовження зразка (0,5 мм), з фіксацією відповідного зусилля. Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом матеріалу пожежного рукава з випробувальною довжиною 75 мм. Максимальна величина деформації $\Delta l_1^{\max} = 6,0 \cdot 10^{-3}$ м відповідає навантаженню $F_1^{\max} = 4,296$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м. При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_2^{\max} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні

$F_2^{\max} = 4,104$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_2^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

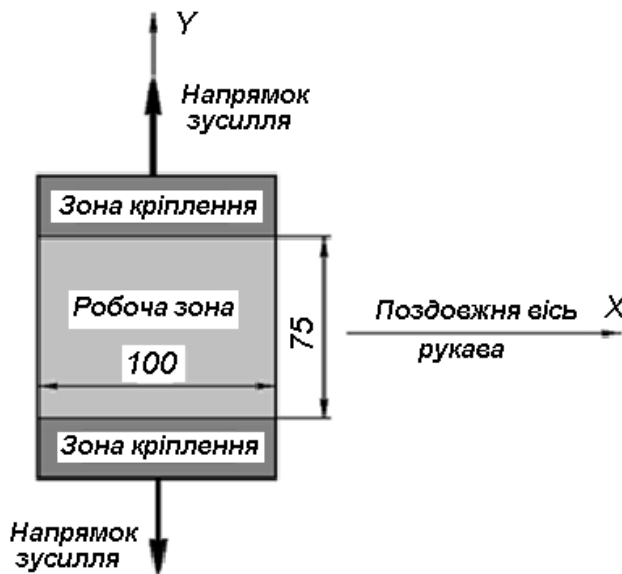


Рис. 1. Випробувальний зразок матеріалу пожежного рукава діаметром $d = 77$ мм

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_3^{\max} = 4,0 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_3^{\max} = 4,008$ 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 усереднена величина деформації становила $\Delta l_{4-6}^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при усередненому навантаженні $F_{4-6}^{\max} = 3,912$ кН. Залишкова деформація фрагменту після розвантаження була практично відсутня, тобто $\Delta l_{4-6}^{\text{зал}} \cong 0 \div 0,5$ мм.

Результати випробувань наведені в табл. 1.

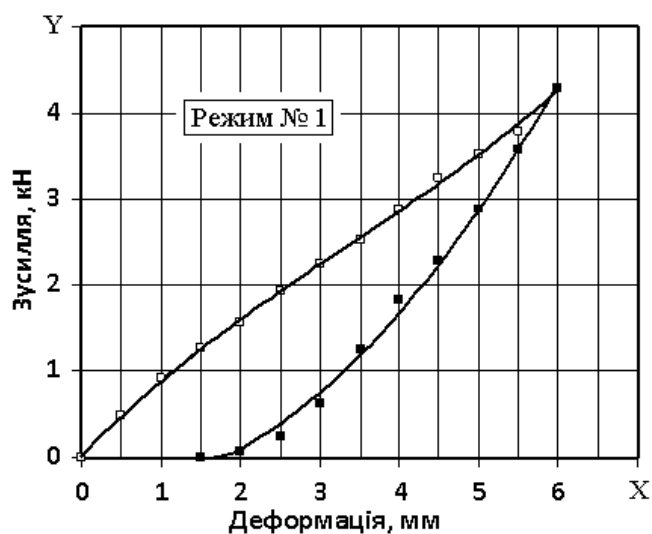
Табл. 1. Результати випробувань

Деформація, мм	Величина навантаження, кН								
	Режим 1		Режим 2		Режим 3		Режими 4-6		
	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0,000	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5	0,480	–	–	–	–	–	–	–	–
1,0	0,912	–	–	–	–	–	–	–	–
1,5	1,272	0,000	0,000	–	–	–	–	–	–
2,0	1,560	0,072	0,240	0,000	0,000	–	–	–	–
2,5	1,920	0,240	0,792	0,048	0,192	0,000	0,000	–	–
3,0	2,232	0,624	1,488	0,192	0,600	0,218	0,480	0,000	–

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,5	2,520	1,248	2,136	0,480	1,200	0,480	0,960	0,456
4,0	2,880	1,824	2,688	1,032	1,944	1,200	1,512	0,960
4,5	3,240	2,280	3,120	1,872	2,688	1,704	2,208	1,560
5,0	3,528	2,880	3,360	2,160	3,216	2,496	3,024	2,280
5,5	3,792	3,576	3,600	3,120	3,504	3,120	3,408	2,976
6,0	4,296	4,296	4,104	4,104	4,008	4,008	3,912	3,912

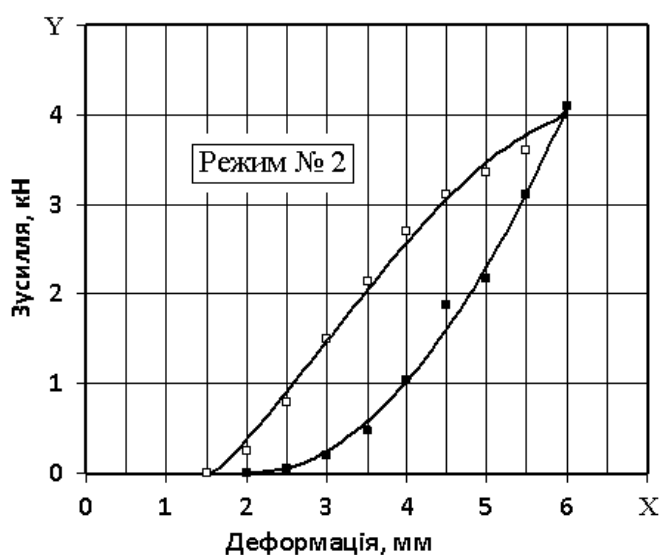
Графіки на рис. 2 відповідають початковому режиму (№ 1) навантаження – розвантаження недеформованого фрагменту рукава. Графіки на рис. 3 відповідають режиму № 2, який проведено через дві хвилини після першого.



—□—□— Навантаження $y = 0,0097x^3 - 0,0987x^2 + 0,9492x + 0,0191$

—■—■— Розвантаження $y = 0,1356x^2 - 0,0241x - 0,3927$

Рис. 2. Графіки режиму навантаження – розвантаження № 1



—□—□— Навантаження $y = -0,0338x^3 + 0,3053x^2 + 0,2158x - 1,0105$

—■—■— Розвантаження $y = 0,2496x^2 - 0,9645x + 0,8943$

Рис. 3. Графіки режиму навантаження – розвантаження № 2

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

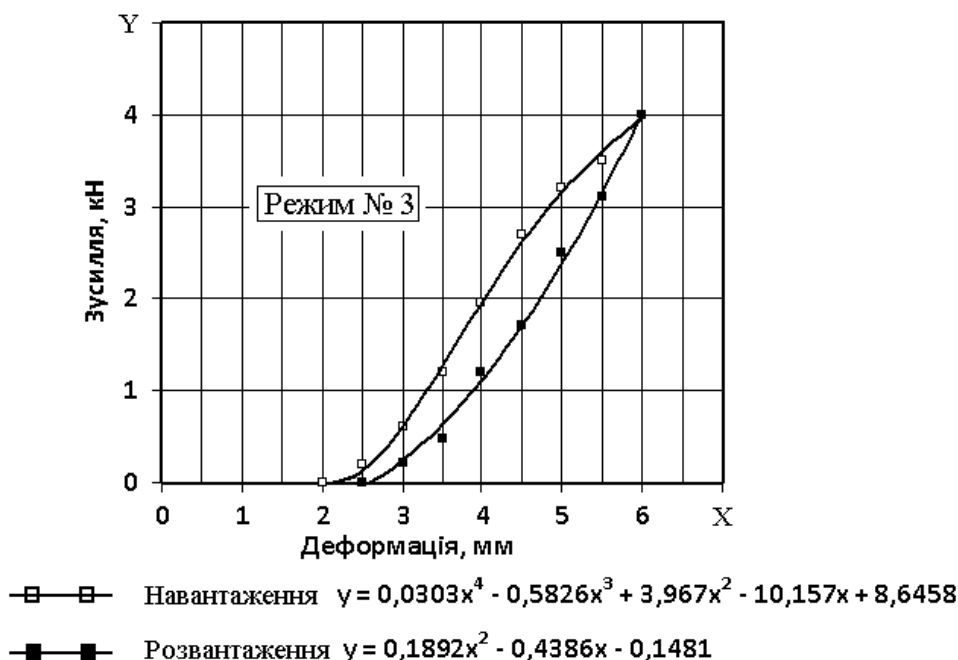


Рис. 4. Графіки режиму навантаження – розвантаження № 3

Графіки на рис. 5 відповідають наступним трьом усередненим режимам навантаження – розвантаження.

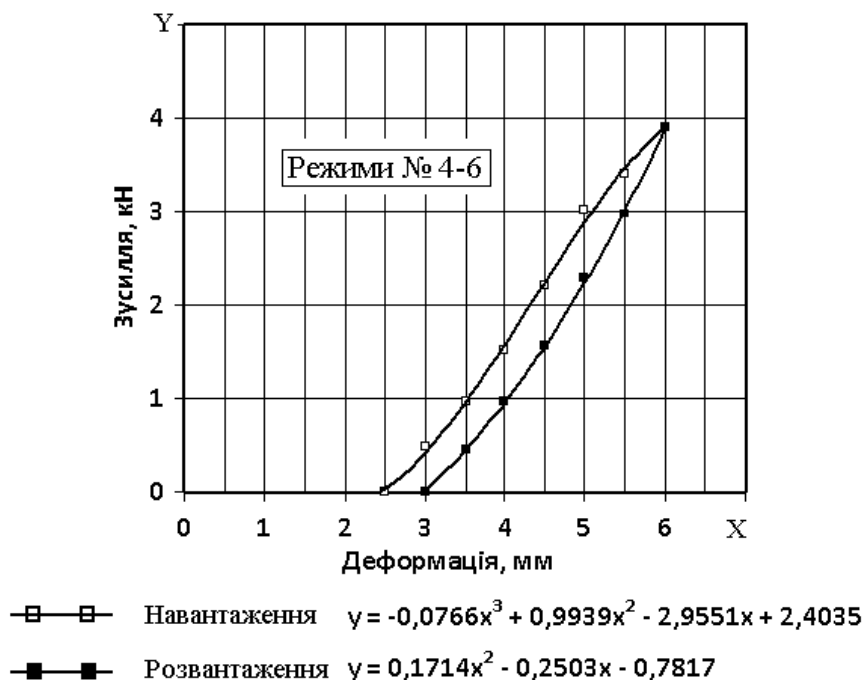


Рис. 5. Графіки режимів навантаження – розвантаження № 4 – 6

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

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

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.

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 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 $Y_H(X) = 0,0097X^3 - 0,0987X^2 + 0,9492X + 0,0191$; при розвантаженні $Y_P(X) = 0,1356X^2 - 0,0241X - 0,3927$.

Аналогічно на другому режимі випробувань (рис. 3): при навантаженні $Y_H(X) = -0,0338X^3 + 0,3053X^2 + 0,2158X - 1,0105$; при розвантаженні $Y_P(X) = 0,2496X^2 - 0,9645X + 0,8943$.

На третьому режимі випробувань (рис. 4) експериментальні ре-

зультати апроксимовані залежностями: при навантаженні $Y_H(X) = 0,0303X^4 - 0,5826X^3 + 3,967X^2 - 10,157X + 8,6458$; при розвантаженні $Y_p(X) = 0,1892X^2 - 0,4386X - 0,1481$.

На четвертому-шостому режимах випробувань (рис. 5) усереднені експериментальні результати апроксимовані залежностями: при навантаженні $Y_H(X) = -0,0766X^3 + 0,9939X^2 - 2,9551X + 2,4035$; при розвантаженні $Y_p(X) = 0,1714X^2 - 0,2503X - 0,7817$.

Використовуючи формули (2)-(3) та наведені апроксимовані залежності було розраховано енергію навантаження, енергію гістерезису та коефіцієнт дисипації для кожного режиму.

Результати досліджень та розрахунків наведено в табл. 2.

Табл. 2. Властивості зразку рукава

Характеристика	Позначення	Режим № 1	Режим № 2	Режим № 3	Режими № 4-6
Максимальне навантаження	F_{\max} , кН	4,296	4,104	4,008	3,912
Максимальна деформація	$\Delta\ell^{\max}$, мм	6,0	4,5	4,0	3,5
Максимальна відносна деформація	ε^{\max} , %	8,0	6,0	5,3	4,7
Залишкова деформація	$\Delta\ell^{\text{зал}}$, мм	1,5	0,5	0,5	≈ 0
Модуль «поперечної» пружності (згідно [13])	k^y , МПа	199	253	278	311
Коефіцієнт дисипації	β	0,44	0,44	0,26	0,25

Результати дослідження показали, що при майже однаковому діапазоні максимального навантаження ($3,912 \div 4,296$ кН), прикладеного до фрагменту пожежного рукава на першому та другому режимах випробувань його характеристики в поперечному напрямку значно змінювались і лише потім (4 – 6 режими) відбувалась їх стабілізація.

Модуль «поперечної» пружності матеріалу рукава [13] стабілізувався на рівні 311 МПа, коефіцієнт дисипації – 0,25, при відносній деформації 4,7 %.

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 діб і навіть тижнів.

Висновки. З метою отримання результатів, що в подальшому можуть бути використано в наступних теоретичних та експериментальних

дослідженнях з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів, проведено експериментальні дослідження та визначено дисипативні властивості 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 77 мм від «історії» його навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алешков М.В. Обзор применяемых пожарных напорных рукавов в мире / Алешков М.В., Пушкин Д.С. – Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – М.: АГПС МЧС России, 2008. – № 1 (9). – С. 128-133.

2. 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).

3. Методичні рекомендації з експлуатації та ремонту пожежних рукавів. – Наказ ДСНС України від 01.04.2013 року № 107.

4. Безбородько, М.Д. Пожарная техника /М.Д. Безбородько, П.П. Алексеев, Б.А. Максимов, Г.И. Новиков – М.: ВИПТШ, 1979. – 435 с.

5. Иванов, Е.Н. Противопожарное водоснабжение / Е.Н. Иванов – М.: Стройиздат, 1986. – 315с.

6. Качалов, А.А. Противопожарное водоснабжение / А.А. Качалов, Ю.П. Воротынец, А.В. Власов – М.: Стройиздат, 1985. – 286 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. Patent US4599890A, IPC G01M3/26. Hydrostatic test apparatus / Joseph M. Girone, F. Wesley Dolezal; original assignee Process Engineering Inc. – Application 1984-09-05; published 1986-07-15.

10. Patent US9709456B1, IPC G01M3/02. Apparatus and methods for pressure testing of tools and conduits / Don K. Clover; original assignee Don K. Clover. – Application №12/057,342 2014-10-22; published 2017-07-18.

11. Patent US8554497B2, IPC G01M3/2846. Fire hose testing apparatus and method / David Hamilton, Dennis Zeiber; original assignee Fire Catt LLC. – Application №14/521, 197 2008-03-27; published 2013-10-08.

12. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблемы пожарной безопасности: сборник научных трудов. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – Вып. 35. – С. 133-138. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/639>.

13. Ларін О.М. Визначення поперечної жорсткості пожежного ру-

кава діаметром 77 мм // [Ларін О.М., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю., Липовий В.О.] // Проблемы пожарной безопасности: сборник научных трудов. – Харьков: НУЦЗУ, 2016. – Вып. 40. – С. 129-133. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/501>.

14. Ларін О.М. Визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» діаметром 77 мм / [Ларін О.М., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю., Запольський Л.Л.] // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ, 2015. – №2 (32) – С. 18-25.

Отримано редколегією 10.03.2018

А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко, С.А. Виноградов

Определение диссипативных свойств напорных пожарных рукавов

Установлено, что механические свойства, напорного пожарного рукава, определяют продолжительность его безопасной эксплуатации. В работе представлены экспериментальные исследования по определению некоторых механических свойств, а именно диссипативных свойств напорного пожарного рукава типа «Т» с внутренним диаметром 77 мм в условиях статических циклов погрузки-разгрузки в поперечном направлении. Эксперимент был проведен на опытной установке ДМ-30М, которая дает возможность замера силы и деформации.

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

A. Larin, G. Chernobay, S. Nazarenko, S. Vinogradov

Determination of the dissipative properties of pressure fire hoses

It is established that mechanical properties, a pressure head fire hose, define duration of its safe operation. In work are presented pilot studies by determination of some mechanical properties, namely dissipative properties of a pressure head fire hose of the type "T" with internal diameter of 77 mm in the conditions of static cycles of loading-unloading in the cross-section direction. Experiment has been carried out on the skilled DM-30 M installation which gives the chance force and deformation measurement. For carrying out the corresponding researches it has been separated a part of a fire hose with length of a working zone of 75 mm. Fragment of a sleeve have been fixed on experimental installation and the cycle of tests from its loading-unloading with a constant step lengthening of a sample of 0,5 mm with fixing of the corresponding effort is carried out. Tests consisted of 6 cycles of loading-unloading with a two-minute interval. Results of the carried-out researches has shown that at the first three cycles the material has unstable character is considerably changes and only then (4-6 modes) there was their stabilisation. So in work has been carried out determination of dissipative properties of a material of a pressure head fire hose in cross-section (concerning a sleeve axis) the directions, in the conditions of static cycles of loading-unloading. The obtained data will be used for the following theoretical and experimental works at the rate of calculate the residual resource of fire hoses.

Keywords: pressure fire hose, working pressure, testing, stiffness, hysteresis, dissipative properties, modulus of elasticity.