

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ МАТЕРІАЛУ ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» ДІАМЕТРОМ 77 ММ З УРАХУВАННЯМ НЕОДНОРІДНОСТІ ЙОГО СТРУКТУРИ

Розглядається визначення деяких механічних властивостей, зокрема поперечної жорсткості пожежного напірного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм з урахуванням неоднорідності його структури.

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

Постановка проблеми. При аналізі подій виходу з ладу пожежно-технічного обладнання під час експлуатації в західному регіоні України встановлено, що 60% відмов від загального числа відмов (за місяць 20% виїздів з відмовами пожежно-технічного обладнання) припадає на напірні пожежні рукави (НПР) [1].

Під час експлуатації НПР піддаються абразивному зношенню зовнішньої поверхні рукава, що призводить до виникнення дефекту (отворів та розривів), в результаті чого знижується або припиняється подача вогнегасної речовини до місця пожежі.

Проблемою на сьогоднішній день є те, що способи випробування НПР, що застосовуються в підрозділах ОРС ЦЗ, не забезпечує своєчасного визначення прихованих дефектів в рукавах. Тому актуальним є розробка та удосконалення способів випробування, що дозволяють визначити наявність прихованого дефекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкція пожежних рукавів, їх типорозміри і характеристики, галузі застосування, умови експлуатації та методи випробувань наведені у відповідних нормативних документах [2].

Аналіз літературних джерел присвячених методам розрахунків напірних пожежних рукавів показав, що вони, здебільшого, зводяться до розрахунку втрат тиску в мережі [3–7].

Теоретичні та експериментальні дослідження міцності армуючого каркасу, який сприймає зусилля гідравлічної дії тиску рідини [8–12], використовуються при проектувальних розрахунках нових типів пожежних рукавів і не враховують неминучих змін в процесі експлуатації їх структури та якісних і кількісних характеристик, що робить актуальною розробку методів визначення залишкового ресурсу пожежних рукавів, які враховують ці зміни.

Постановка завдання та його вирішення. Задачею дослідження є розробка науково-обґрунтованого методу, який дозволяє визначити за-

лишковий ресурс пожежних рукавів, можливість та доцільність їх ремонту і подальшого застосування з урахуванням змін структури та характеристик в умовах тривалих термінів реальної експлуатації.

При проведенні попередніх теоретичних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів виникла необхідність експериментального визначення механічних властивостей рукавів, зокрема поздовжньої і поперечної жорсткості в умовах статичного навантаження з урахуванням неоднорідності їх структури.

Наслідком попередніх випробувань було визначення поздовжньої жорсткості НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм [13] та поздовжньої жорсткості його тканинного армуючого каркасу та внутрішнього гідроізолюючого гумового шару [14].

Експериментальним визначенням поперечної жорсткості матеріалу цього рукава [15] встановлено, що на перших трьох режимах випробувань модуль пружності у поперечному напрямку збільшувався і лише потім на 4-6 режимах він стабілізувався на рівні 311 МПа.

Для проведення досліджень поперечної жорсткості було використано установку ДМ-30 М.

Дослідні зразки (фрагменти) матеріалу (рис. 1), які було відокремлено від НПР типу «Т» діаметром $d = 77$ мм.

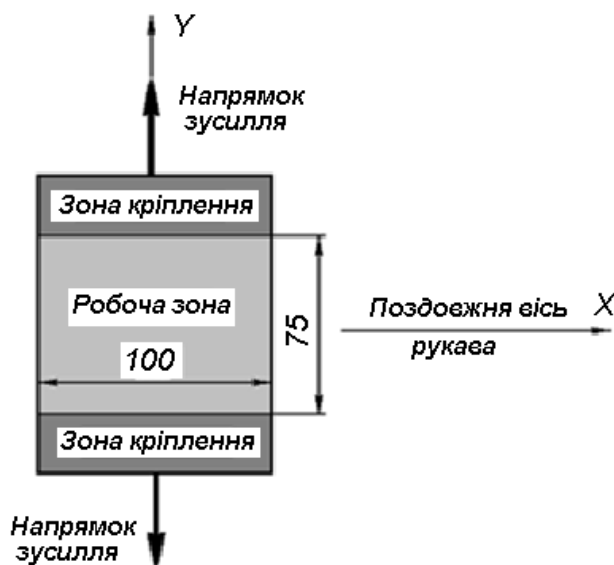


Рис. 1. Випробувальний зразок матеріалу пожежного рукава

Випробувальна довжина зразку $\ell = 75$ мм, ширину $b = 100$ мм та товщину зовнішнього армуючого тканинного каркасу та внутрішнього гідроізолюючого гумового шару відповідно $\delta_T = 1,2$ мм та $\delta_r = 1,5$ мм.

Навантаження зовнішнього армуючого тканинного каркасу проводилось з постійним кроком (0,5 мм) подовження із фіксацією відповідного зусилля (кН).

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом армуючого тканинного каркасу. Максимальна величина деформації $\Delta l_{T1}^{\max} = 6,0 \cdot 10^{-3}$ м відповідала навантаженню $F_{T1}^{\max} = 4,164$ кН.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_{T1}^{\text{зал}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Табл. 1. Результати проведених випробувань

Деформація, мм	Навантаження, кН			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-6
0	0,000	–	–	–
0,5	0,456	–	–	–
1,0	0,876	–	–	–
1,5	1,224	0,000	–	–
2,0	1,440	0,204	0,000	–
2,5	1,848	0,744	0,168	0,000
3,0	2,136	1,332	0,684	0,408
3,5	2,400	2,040	1,104	0,864
4,0	2,760	2,388	1,752	1,344
4,5	3,192	3,120	2,400	2,040
5,0	3,420	3,360	3,120	2,880
5,5	3,698	3,600	3,456	3,240
6,0	4,164	3,864	3,720	3,600

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_{T2}^{\text{max}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при навантаженні $F_{T2}^{\text{max}} = 3,864 \text{ кН}$. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_{T2}^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_{T3}^{\text{max}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при навантаженні $F_{T3}^{\text{max}} = 3,720 \text{ кН}$. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_{T3}^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Параметри наступних трьох режимів навантаження (4-6), які було проведено з аналогічними часовими інтервалами, практично не відрізняються, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна усереднена величина деформації становила $\Delta l_{T(4-6)}^{\text{max}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при усередненому навантаженні $F_{T(4-6)}^{\text{max}} = 3,600 \text{ кН}$. Залишкова деформація фрагменту після розвантаження була практично відсутня, тобто $\Delta l_{T(4-6)}^{\text{зал}} \cong 0$.

Графіки, які відповідають результатам випробувань наведені на рис. 2.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагменту армуючого тканинного каркасу пожежного рукава дозволяє визначити його усереднену жорсткість в поперечному напрямку, яка становить:

$$\text{режим 1} \quad C_{T1} = F_{T1}^{\text{max}} / \Delta l_{T1}^{\text{max}} = 4,164 / 6,0 \cdot 10^{-3} = 694 \text{ кН/м};$$

$$\text{режим 2} \quad C_{T2} = F_{T2}^{\text{max}} / \Delta l_{T2}^{\text{max}} = 3,864 / 4,5 \cdot 10^{-3} = 859 \text{ кН/м};$$

$$\text{режим 3} \quad C_{T3} = F_{T3}^{\text{max}} / \Delta l_{T3}^{\text{max}} = 3,720 / 4,0 \cdot 10^{-3} = 930 \text{ кН/м};$$

$$\text{режими 4-6} \quad C_{T(4-6)} = F_{T(4-6)}^{\text{max}} / \Delta l_{T(4-6)}^{\text{max}} = 3,6 / 3,5 \cdot 10^{-3} = 1029 \text{ кН/м}.$$

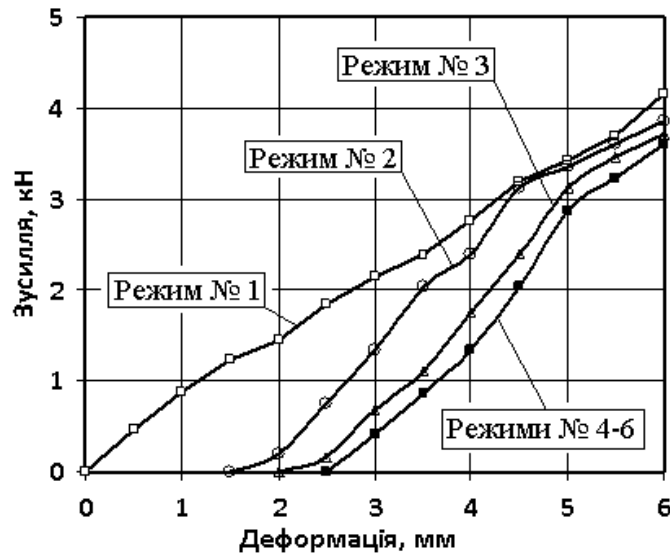


Рис. 2. Графіки навантажень фрагменту армуючого каркасу пожежного рукава із внутрішнім діаметром 77 мм

Для подальших досліджень доцільно визначити модуль пружності (k_T^Y) армуючого тканинного каркасу пожежного рукава у поперечному напрямку:

$$\text{режим 1} \quad k_{T1}^Y = \frac{C_{T1} \ell}{b \delta_T} = \frac{694 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} = 434 \cdot 10^6 \text{ Па} = 434 \text{ МПа};$$

$$\text{режим 2} \quad k_{T2}^Y = \frac{C_{T2} \ell}{b \delta_T} = \frac{859 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} = 515 \cdot 10^6 \text{ Па} = 515 \text{ МПа};$$

$$\text{режим 3} \quad k_{T3}^Y = \frac{C_{T3} \ell}{b \delta_T} = \frac{930 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} = 581 \cdot 10^6 \text{ Па} = 581 \text{ МПа};$$

$$\text{режими 4-6} \quad k_{T(4-6)}^Y = \frac{C_{T(4-6)} \ell}{b \delta_T} = \frac{1029 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} = 643 \cdot 10^6 \text{ Па} = 643 \text{ МПа}.$$

Навантаження внутрішнього гідроізолюючого гумового шару проводилось з постійним кроком (1,0 мм) подовження із фіксацією відповідного зусилля (кН).

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом внутрішнього гідроізолюючого гумового шару з випробувальною довжиною 75 мм.

Максимальна величина деформації $\Delta l_{\Gamma 1}^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3}$ м відповідала навантаженню $F_{\Gamma 1}^{\max} = 0,252$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_{\Gamma 1}^{\text{зал}} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (режим № 2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_{\Gamma 2}^{\max} = 8,0 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_{\Gamma 2}^{\max} = 0,24$ кН. Після розвантаження залишкова деформація становила $\Delta l_{\Gamma 2}^{\text{зал}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Табл. 2. Результати проведених випробувань

Деформація, мм	Навантаження, кН				
	Режим № 1	Режим № 2	Режим № 3	Режим № 4	Режими № 5 – № 7
0	0,000	–	–	–	–
1,0	0,024	–	–	–	–
2,0	0,048	0,000	–	–	–
3,0	0,096	0,036	0,000	–	–
4,0	0,108	0,048	0,024	0,000	–
5,0	0,120	0,096	0,060	0,036	0,000
6,0	0,132	0,120	0,108	0,072	0,024
7,0	0,168	0,180	0,132	0,084	0,036
8,0	0,192	0,204	0,192	0,132	0,060
9,0	0,204	0,216	0,216	0,168	0,084
10,0	0,252	0,240	0,228	0,204	0,144
11,0	–	–	0,264	0,228	0,192
12,0	–	–	–	0,240	0,216
13,0	–	–	–	0,272	0,252
14,0	–	–	–	–	0,288

При третьому навантаженні (режим № 3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_{\Gamma 3}^{\max} = 8,0 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_{\Gamma 3}^{\max} = 0,264$ кН. Після розвантаження залишкова деформація становила $\Delta l_{\Gamma 3}^{\text{зал}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м. При четвертому навантаженні (режим № 4), яке було проведено через дві хвилини після третього, максимальна величина деформації становила $\Delta l_{\Gamma 4}^{\max} = 9,0 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_{\Gamma 4}^{\max} = 0,272$ кН. Після розвантаження залишкова деформація становила $\Delta l_{\Gamma 4}^{\text{зал}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м. Параметри наступних трьох навантажень (режими № 5-7), які було проведено з аналогічними часовими інтервалами, практично не відрізняються, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна усереднена величина деформації становила $\Delta l_{\Gamma(5-7)}^{\max} = 9,0 \cdot 10^{-3}$ м при усередненому навантаженні $F_{\Gamma(5-7)}^{\max} = 0,288$ кН. Залишкова деформація після розвантаження була практично відсутня, тобто $\Delta l_{\Gamma(5-7)}^{\text{зал}} \cong 0$.

Діаграми, які відповідають результатам випробувань наведені на рис. 3.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава дозволяє визначити його усереднену жорсткість в поперечному напрямку, яка становить:

$$\text{режим №1} \quad C_{\Gamma 1} = F_{\Gamma 1}^{\max} / \Delta l_{\Gamma 1}^{\max} = 0,257 / 10,0 \cdot 10^{-3} = 25,7 \text{ кН/м};$$

$$\text{режим №2} \quad C_{\Gamma 2} = F_{\Gamma 2}^{\max} / \Delta l_{\Gamma 2}^{\max} = 0,24 / 8,0 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ кН/м};$$

$$\text{режим №3} \quad C_{\Gamma 3} = F_{\Gamma 3}^{\max} / \Delta l_{\Gamma 3}^{\max} = 0,264 / 8,0 \cdot 10^{-3} = 33 \text{ кН/м};$$

$$\text{режим №4} \quad C_{\Gamma 4} = F_{\Gamma 4}^{\max} / \Delta l_{\Gamma 4}^{\max} = 0,272 / 9,0 \cdot 10^{-3} = 30,2 \text{ кН/м};$$

режими №5-7 $C_{\Gamma(5-7)} = F_{\Gamma(5-7)}^{\max} / \Delta l_{\Gamma(5-7)}^{\max} = 0,288 / 9,0 \cdot 10^{-3} = 32 \text{ кН/м}$.

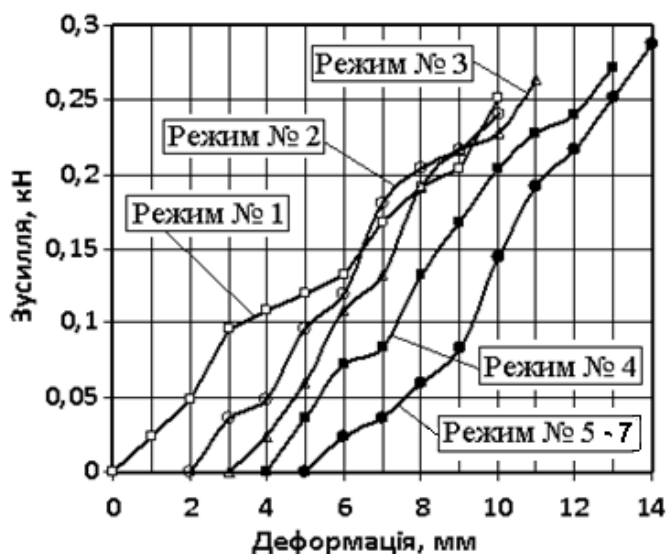


Рис. 3. Діаграми навантажень внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава із внутрішнім діаметром 77 мм

Для подальших досліджень доцільно визначити модуль пружності (k_{Γ}^Y) внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава у поперечному напрямку:

режим №1 $k_{\Gamma 1}^Y = \frac{C_{\Gamma 1} \ell}{b \delta_{\Gamma}} = \frac{25,7 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 12,85 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,85 \text{ МПа};$

режим №2 $k_{\Gamma 2}^Y = \frac{C_{\Gamma 2} \ell}{b \delta_{\Gamma}} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 15 \cdot 10^6 \text{ Па} = 15 \text{ МПа};$

режим №3 $k_{\Gamma 3}^Y = \frac{C_{\Gamma 3} \ell}{b \delta_{\Gamma}} = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 16,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 16,5 \text{ МПа};$

режим №4 $k_{\Gamma 4}^Y = \frac{C_{\Gamma 4} \ell}{b \delta_{\Gamma}} = \frac{30,2 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 15,1 \cdot 10^6 \text{ Па} = 15,1 \text{ МПа};$

режими №5-7 $k_{\Gamma(5-7)}^Y = \frac{C_{\Gamma(5-7)} \ell}{b \delta_{\Gamma}} = \frac{32 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 16 \cdot 10^6 \text{ Па} = 16 \text{ МПа}.$

Зважаючи на вищезазначене загальна початкова жорсткість фрагменту матеріалу пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм у поперечному напрямку становить на режимі № 1

$$C_{\Pi\Sigma} = C_{\Gamma 1} + C_{\Gamma 1} = 694 + 25,7 = 719,7 \text{ кН/м}.$$

На заключних режимах, коли загальна жорсткість фрагменту у поперечному напрямку стабілізувалась вона становить

$$C_{\text{КС}} = C_{\Gamma(4-6)} + C_{\Gamma(5-7)} = 1029 + 32 = 1061 \text{ кН/м}.$$

Знайдене відповідає значенням попередніх випробувань [15], в яких загальна поперечна жорсткість дослідного зразка (фрагменту) матеріалу пожежного рукава типу «Т» діаметром $d = 77$ мм, який мав випробувальну довжину $\ell = 75$ мм, ширину $b = 100$ мм та загальну товщину $\delta = 2,7$ мм, становила на початковому режимі 716 кН/м, а на заключних режимах при стабілізації характеристик – 1118 кН/м. Відхилення становлять:

$$- \text{ на початковому режимі } \delta_{\text{п}} = \frac{|716 - 719,7|}{716} 100\% = 0,52 \%;$$

$$- \text{ при стабілізації } \delta_{\text{к}} = \frac{1118 - 1061}{1118} 100\% = 5,1 \%.$$

Висновки. Для наступних теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів проведено визначення поперечної жорсткості пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм в умовах статичного навантаження з урахуванням неоднорідності його структури. Модуль пружності тканинного армуючого каркасу при початковому навантаженні становить 434 МПа, а на наступних навантаженнях збільшувався і стабілізувався на рівні 643 МПа. Модуль пружності внутрішнього гідроізолюючого гумового шару при початковому навантаженні становить 12,85 МПа, а на наступних навантаженнях збільшувався і стабілізувався на рівні 16 МПа. Відхилення від значень попередніх випробувань [15] становлять від 0,52% на початковому циклі навантаження до 5,1% на наступних, коли жорсткість елементів пожежного рукава стабілізувалась. Зменшення залишкових деформацій та стабілізація пружних властивостей наближають поведінку матеріалу пожежного рукава у поперечному напрямку до пружного.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мовчан І.О. Забезпечення ліквідації пожежі на промислових підприємствах з урахуванням надійності пожежної техніки та устаткування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 “Пожежна безпека” / І.О. Мовчан. – Львів, 2007. – 22 с.

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. Безбородько М.Д. Пожарная техника [Електронний ресурс]: Учебник / Под. ред. М.Д. Безбородько. – 2-е изд. перераб. и дополн. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – 336 с. : ил. – 95 к. – Режим доступа до учеб.: http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/book_158/index.html.

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

5. Качалов А.А. Противопожарное водоснабжение / А.А. Качалов, Ю.П. Воротынцев, А.В. Власов – М., 1985. – 286 с.

6. Добровольский А.А. Пожарная техника / А.А. Добровольский, Ф.Ф. Переслыцких – Киев, 1981. – 239 с.

7. Щербина Я.Я. Основы противопожарной техники / Я.Я. Щербина – Киев, 1977. – 234 с.

8. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. Том 2 / Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К., Макушин В.М., Малинин Н.Н., Феодосьев В.И. – М.: Машгиз, 1958. – 974с.

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

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

11. 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.

12. 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.

13. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 35. – С. 133-138. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2014_35_23.

14. Ларін О.М. Дослідження поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Т» діаметром 77 мм з урахуванням структурних елементів пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Вісник НТУ ХПІ «Новітні рішення в сучасних технологіях». – Х., 2015. – № 39 (1148). – С. 41-46.

15. Ларін О.М. Визначення поперечної жорсткості пожежного рукава діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.О. Липовий // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – Вып. 40. – С. 129-133. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/larin.pdf>.

Отримано редколегією 11.10.2017

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

Исследование поперечной жесткости материала пожарных рукавов типа «Т» диаметром 77 мм с учетом неоднородности его структуры

Рассматривается определение некоторых механических свойств, в частности поперечной жесткости пожарного напорного рукава типа «Т» с внутренним диаметром 77 мм с учетом неоднородности его структуры.

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

A. Larin, G. Chernobay, S. Nazarenko

Investigation of the transverse rigidity of material of fire hoses of the "T" type with a diameter of 77 mm, taking into account the heterogeneity of its structure

The definition of certain mechanical properties, in particular, the transverse stiffness of a fire-fighting pressure hose of the "T" type with an internal diameter of 77 mm, taking into account the heterogeneity of its structure.

Keywords: hose, fire hose pressure, working pressure, test, stiffness.