

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ ЖОРСТКОСТІ ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» ДІАМЕТРОМ 77 ММ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОЖЕЖНОГО РУКАВА

О. М. ЛАРИН¹, Г. О. ЧЕРНОБАЙ², В. Б. КОХАНЕНКО¹, С. Ю. НАЗАРЕНКО^{1*}

¹ Кафедра інженерної та аварійно-рятувальної техніки, Національний університет цивільного захисту України, Харків, УКРАЇНА

² Кафедра прикладної механіки, Національний університет цивільного захисту України, Харків, УКРАЇНА
*email: itaart.nazarenko@gmail.com

АНОТАЦІЯ Встановлено, що механічні властивості, зокрема поздовжня жорсткість пожежного напірного рукава, визначають довготривалість його безпечної експлуатації. В роботі представлені результати експериментального дослідження поздовжньої жорсткості та пружних характеристик пожежного напірного рукава типу «Т» діаметром 77 мм з урахуванням структурних елементів пожежного рукава. Експеримент було проведено на дослідній машині ДМ-30 М. Так було проведено 5 циклів навантаження з двох хвилинним інтервалом часу, як для тканого армуючого каркасу так і для внутрішнього гідроізолюючого гумового шару.

Ключові слова: Рукав, напірний пожежний рукав, робочий тиск, поздовжня жорсткість, експериментальне визначення

АННОТАЦИЯ Установлено, что механические свойства, в частности продольная жесткость пожарного напорного рукава, определяют продолжительность его безопасной эксплуатации. В работе представлены результаты экспериментального исследования продольной жесткости и упругих характеристик пожарного напорного рукава типа «Т» диаметром 77 мм с учетом структурных элементов пожарного рукава. Эксперимент был проведен на опытной машине ДМ-30 М. Так было проведено 5 циклов нагрузки с двух минутным интервалом времени, как для тканого армирующего каркаса так и для внутреннего гидроизолирующего резинового слоя.

Ключевые слова: Рукав, напорный пожарный рукав, рабочее давление, продольная жесткость, экспериментальное определение

A STUDY OF LONGITUDINAL STIFFNESS OF T-TYPE FIRE HOSES WITH 77MM DIAMETER WITH STRUCTURAL ELEMENTS FIRE HOSE

O. LARIN¹, G. CHERNOBAY², V. KOHANENKO¹, S. NAZARENKO^{1*}

¹ Department of Engineering and rescue machinery, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, UKRAINE

² Department of Applied Mechanics, National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The paper presents an experimental study of elastic characteristics of the fire hoses and internal structural elements of fire hoses. The fire hoses that has an inhomogeneous structure have been also investigated. The work analyses a longitudinal stiffness of the T-type fire hoses with an inner diameter of 77 mm. The experiments have been carried out on universal testing machine DM-30m, which gives a possibility to record the measurements with an accuracy of 0.001 mm. An outer frame of reinforcing fabric sleeve and internal waterproofing rubber layer are separately analyzed as well as whole fire hose. Samples with the 124 mm length for different materials have been prepared and have been tested under the cyclic loading. Each test consist of 5 same cycles with two minutes time interval. The delays as well as cycling gives material a time for stabilization. The results show that only three cycles is needed for the material stabilization. The results of experiments is presented as load curves obtained for the samples of outer frame of reinforcing fabric sleeve and for the samples of internal waterproofing rubber layer. Almost linear relationship between the load and deformation has been found for the both types of materials. The linearity makes it easy to approximate experimental results. The approximated curves allow to calculate the constant stiffness of materials, which form a fire hose. The same experimental procedure has been carried out with the specimen prepared from the pieceless fire hose. As a result, a longitudinal stiffness of the fire hose is found. The obtained data will be used for future theoretical and experimental work deals with a development of the technique for the estimation of the residual life of the fire hoses.

Keywords: Sleeve, pressure fire hose, working pressure, longitudinal stiffness, experimental determination

Ведення

При аналізі подій виходу з ладу пожежно-технічного обладнання 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.

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.

Ціль роботи

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 – 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.

Виклад основного матеріалу

Задачею дослідження є розробка науково-обґрунтованого методу, який дозволяє визначити залишковий 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 жорсткості в умовах статичного навантаження. Наслідком відповідних випробувань [13] було визначення приведеної до одиниці довжини (I м) поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм, яка при початковому навантаженні становила 77,88 кН/м, при повторному – збільшилась і стабілізувалась на трьох

наступних навантаженнях, які визначили майже однакові жорсткості, усереднене значення яких становить 135,41 кН/м.

При аналізі результатів початкового етапу досліджень виникла необхідність визначення механічних властивостей рукавів, зокрема поздовжньої жорсткості в умовах статичного навантаження з урахуванням неоднорідності їх структури.

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

Роздільне навантаження структурних елементів рукава (зовнішнього армуючого тканинного каркасу та внутрішнього гідроізолюючого гумового шару проводилось з постійним кроком (I мм) подовження із фіксацією відповідного зусилля (кН).

Обговорення результатів

Початковий режим навантаження (цикл № 1) проводився з недеформованим фрагментом тканинного армуючого каркасу пожежного рукава з випробувальною довжиною $l_{т0} = 124 \cdot 10^{-3}$ м. Максимальна величина деформації становила $\Delta l_1^{\max} = 7 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_1^{\max} = 3960$ Н. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{ост}} = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (цикл № 2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_2^{\max} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_2^{\max} = 4800$ Н. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_2^{\text{ост}} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Числові параметри трьох наступних режимів навантаження (цикли № 3 – № 5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного. Максимальна величина їх деформації становила $\Delta l_{3-5}^{\max} = 5,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_{3-5}^{\max} = 4992 \div 5400$ Н. Залишкова деформація фрагменту після розвантаження становила $\Delta l_{3-5}^{\text{ост}} = 1$ мм.

Таблиця 1 – Результати досліджень фрагменту тканинного армуючого каркасу

Деформація, мм	Навантаження, Н				
	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикл № 3	Цикл № 4	Цикл № 5
1	2	3	4	5	6
0	0	-	-	-	-
1	240	-	-	-	-
2	504	0	-	-	-
3	1176	720	0	-	-

4	1896	1440	1080	0	-
5	2208	3840	1968	1080	0
6	2592	4440	3000	2160	1120
7	3960	4800	4200	3480	1944
8	-	-	4932	4560	3360
9	-	-	-	5400	4440
10	-	-	-	-	5376

Діаграми, які відповідають результатам випробувань наведені на рисунку 1.

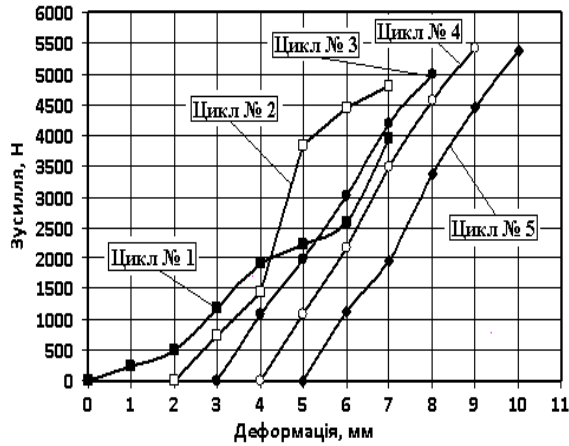


Рис. 1 – Діаграми навантажень фрагменту армуючого каркасу пожежного рукава.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагменту армуючого каркасу напірного пожежного рукава дозволяє апроксимувати засобами Microsoft Word результати експериментальних досліджень відповідними лінійними трендами із визначенням їх рівнянь (рис. 2).

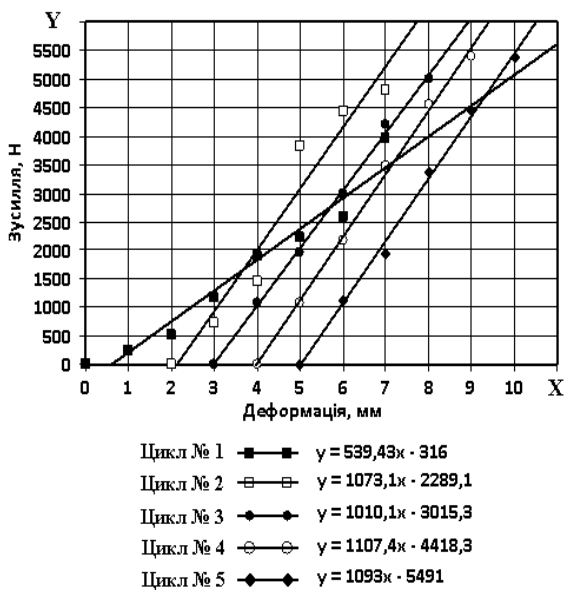


Рис. 2 – Діаграми і рівняння трендів навантажень фрагменту армуючого каркасу пожежного рукава.

Аналіз рівнянь трендів визначив значне (майже у два рази) збільшення жорсткості фрагменту армуючого каркасу пожежного рукава в циклах навантаження № 2 ÷ № 5, усереднена жорсткість яких становить:

$$C_{T(2-5)} = \frac{1073,1 + 1010,1 + 1107,4 + 1093,0}{4} = 1070,9 \frac{H}{мм} = 1070,9 \frac{кН}{м},$$

в порівнянні із циклом № 1, для якого:

$$C_{T1} = 539,43 \frac{H}{мм} = 539,43 \frac{кН}{м}.$$

Для подальших досліджень доцільно визначити жорсткість (k_T) армуючого каркасу пожежного рукава приведену до одиниці його довжини ($L=1000$ мм):

– цикл № 1

$$k_{T1} = \frac{C_{T1} \cdot \ell_{T0}}{L} = \frac{539,43 \cdot 124}{1000} = 66,89 \frac{кН}{м};$$

– цикли № 2 – № 5

$$k_{T(2-5)} = \frac{C_{T(2-5)} \cdot \ell_{T0}}{L} = \frac{1070,9 \cdot 124}{1000} = 132,79 \frac{кН}{м}.$$

Початковий режим навантаження (цикл № 1) проводився з недеформованим фрагментом внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава випробувальною довжиною $\ell_{T0} = 154 \cdot 10^{-3}$ м. Максимальна величина деформації становила $\Delta l_1^{\max} = 10 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_1^{\max} = 288$ Н.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\max} = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (цикл № 2) фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава, яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_2^{\max} = 8,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_2^{\max} = 312$ Н.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_2^{\max} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

При наступному навантаженні (цикл № 3) фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава, яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_3^{\max} = 12,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_3^{\max} = 384$ Н.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_3^{\max} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Числові параметри двох наступних режимів навантаження (цикли № 4 – № 5) фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава, які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного. Їх максимальна величина деформації становила $\Delta l_{4-5}^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при середньому навантаженні $F_{4-5}^{\max} = 384 \text{ Н}$.

Залишкова деформація фрагменту після розвантаження становила $\Delta l_{4-5}^{\text{ост}} = 1 \text{ мм}$.

Результати досліджень фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава типу «Т» наведені в табл. 2, а діаграми, які відповідають результатам випробувань наведені на рисунку 3.

Таблиця 2 – Результати досліджень фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару

Деформація, мм	Навантаження, Н				
	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикл № 3	Цикл № 4	Цикл № 5
0	0	-	-	-	-
1	48	-	-	-	-
2	72	-	-	-	-
3	120	-	-	-	-
4	144	0	-	-	-
5	168	48	0	-	-
6	192	120	24	0	-
7	216	192	96	24	0
8	240	216	120	96	24
9	264	240	144	120	72
10	288	264	192	192	120
11	-	288	240	216	168
12	-	312	264	240	216
13	-	-	288	264	240
14	-	-	312	312	264
15	-	-	360	360	288
16	-	-	384	384	336
17	-	-	-	-	384

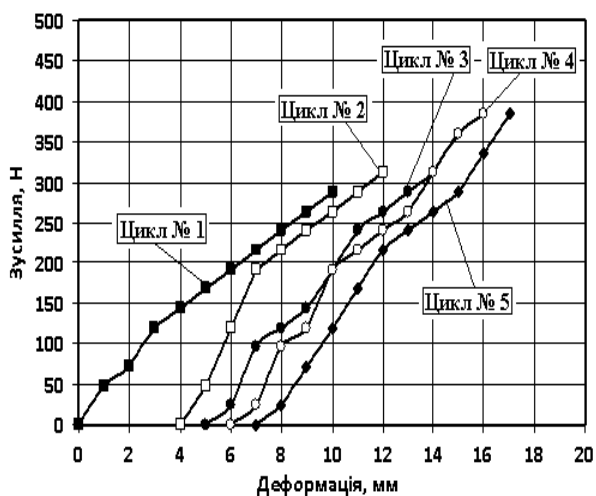


Рис. 3 – Діаграми навантажень внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару напірного пожежного рукава дозволяє апроксимувати засобами Microsoft Word результати експериментальних досліджень відповідними лінійними трендами із визначенням їх рівнянь (рис. 4).

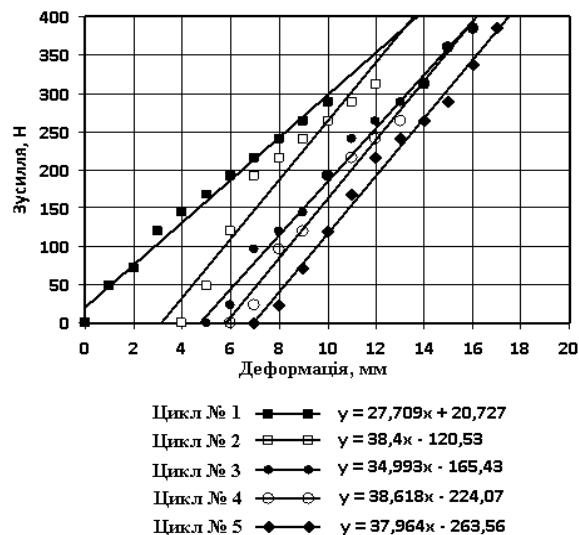


Рис. 4 – Діаграми і рівняння трендів навантажень фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава.

Аналіз рівнянь трендів визначив значне збільшення жорсткості фрагменту внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава в циклах навантаження № 2 ÷ № 5, усереднена жорсткість яких становить:

$$C_{\tau(2-5)} = \frac{1073,1 + 1010,1 + 1107,4 + 1093,0}{4} = 1070,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 1070,9 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

в порівнянні із циклом № 1, для якого:

$$C_{\tau 1} = 27,709 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 27,709 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Для подальших досліджень доцільно визначити жорсткість (k_{τ}) внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава приведену до одиниці його довжини ($L=1000 \text{ мм}$):

– цикл № 1

$$k_{\tau 1} = \frac{C_{\tau 1} \cdot \ell_{\tau 0}}{L} = \frac{27,709 \cdot 154}{1000} = 4,27 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

– цикли № 2 – № 5

$$k_{\Gamma(2-5)} = \frac{C_{\Gamma(2-5)} \cdot \ell_{\Gamma 0}}{L} = \frac{37,49 \cdot 154}{1000} = 5,77 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Зважаючи на вищезазначене загальна приведена до одиниці довжини (l м) жорсткість пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм становить:

– цикл № 1

$$k_1 = k_{\Gamma 1} + k_{\Gamma 2} = 66,89 + 4,27 = 71,16 \frac{\text{кН}}{\text{м}};$$

– цикли № 2 – № 5

$$k_{(2-5)} = k_{\Gamma(2-5)} + k_{\Gamma 1} = 132,79 + 5,77 = 138,56 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

що відповідає значенням попередніх випробувань [11]. Відхилення становлять:

– цикл № 1

$$\delta_1 = \frac{77,88 - 71,16}{77,88} 100\% = 8,63\%;$$

– цикли № 2 – № 5

$$\delta_{2-5} = \frac{|135,41 - 138,56|}{135,41} 100\% = 2,33\%.$$

Висновки

Для наступних теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів проведено визначення механічних властивостей, зокрема поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм в умовах статичного навантаження з урахуванням неоднорідності його структури.

При початковому навантаженні жорсткість тканинного армуючого каркасу пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм становить 66,89 кН/м, а чотири наступних навантаження визначили майже однакові жорсткості, усереднене значення яких становить 132,79 кН/м.

При початковому навантаженні жорсткість внутрішнього гідроізолюючого гумового шару пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм становить 4,27 кН/м, а чотири наступних навантаження визначили майже однакові жорсткості, усереднене значення яких становить 5,77 кН/м.

Загальна приведена до одиниці довжини (l м) жорсткість пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм становить при початковому навантаженні 71,16 кН/м, а на наступних – 138,56 кН/м.

Відхилення від значень попередніх випробувань [13] становлять від 8,63% на початковому циклі навантаження до 2,33% на наступних, коли жорсткість елементів пожежного рукава стабілізувалась.

Список літератури

1. Пожежна техніка. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови. ДСТУ 3810–98. [Чинний від 2005-05-01]. – К. : Держспоживстандарт України. – 1998. – XII. – 38 с. – (Національний стандарт України).
2. Безбородько, М. Д. Пожарная техника / М. Д. Безбородько, П. П. Алексеев, Б. А. Максимов, Г. И. Новиков – М. – 1979. – 435 с.
3. Иванов, Е. Н. Противопожарное водоснабжение / Е. Н. Иванов – М. – 1986. – 315 с.
4. Качалов, А. А. Противопожарное водоснабжение / А. А. Качалов, Ю. П. Воротынцева, А. В. Власов – М. – 1985. – 286 с.
5. Добровольский, А. А. Пожарная техника / А. А. Добровольский, Ф. Ф. Пересльцих – Киев. – 1981. – 239 с.
6. Щербина, Я. Я. Основы противопожарной техники / Я. Я. Щербина – Киев. – 1977. – 234 с.
7. Untersuchung der Haltbarkeit von Druckluftschäumen unter Wärmebeaufschlagung im Vergleich zu Wasser führenden: Ständige Konferenz der Innenminister und - Senatoren der Länder, Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. – Karlsruhe. – 2008 – 61 с.
8. Thompson, J. M. T. Static elastica formulations of a pipe conveying fluid / J. M. T. Thompson, T. S. Lunn // *J. Sound and Vibr.* – 1981. – Vol. 77, N 1. – P. 127-132.
9. Johnson, R. O. The stability of simply supported tubes conveying a compressible fluid / R. O. Johnson, J. E. Stoneking, T. O. Carley // *J. Sound and Vibr.* – 1987. – Vol. 117. – N 2. – P. 335-350.
10. Gi-Chun Lee An experimental study and finite element analysis for finding leakage path in high pressure hose assembly / Gi-Chun Lee, Hyoung-Eui Kim, Jong-Won Park, Hai-Lan Jin, Young-Shin Lee, Jae-Hoon Kim // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing.* – June 2011. – Volume 12, Issue 3. – P. 537-542.
11. 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.
12. Cho, J. R. (2006) Prediction of effective mechanical properties of reinforced braid by 3-D finite element analysis / Song J. I., Choi J. H. // *Fract Strength Solids* – 2006. – 306. – P. 799-804.
13. Ларін, О. М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О. М. Ларін, Г. О. Чернобай,

С. Ю. Назаренко // *Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць*. – Х.: НУЦЗУ. – 2014. – С. 133-138.

Bibliography (transliterated)

1. Fire trucks. Sleeves firemen pressure. General specifications. GOST 3810-98. [Effective as of 2005-05-01]. - Kyiv: *State Committee of Ukraine*. – 1998. – XII. – 38 p. - (National Standard of Ukraine).
2. **Bezborod'ko, M. D., Alekseev, P. P., Maksimov, B. A., Novikov, G. I** Fire trucks – Moscow. – 1979. – 435 p.
3. **Ivanov, E. H.** Fire water – Moscow. – 1986. – 315 p.
4. **Katchalov, A. A., Vorotintcev, Y. P., Vlasov, A. B.** Fire water – Moscow. – 1985. – 286 p.
5. **Dobrovolsky, A. A., Pereslytskih, F. F.** Fire trucks – Kyiv. – 1981. – 239 p.
6. **Shcherbina, Y. Y.** Fundamentals of fire-fighting equipment – Kyiv– 1977. – 234 p.
7. Untersuchung der Haltbarkeit von Druckluftschäum führenden Feuerwehrschräuchen unter Wärmebeaufschlagung im Vergleich zu Wasser führenden: Ständige Konferenz der Innenminister und -Senatoren der Länder, Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. – Karlsruhe. – 2008 – 61 c.
8. **Thompson, J. M. T., Lunn, T. S.** Static elastica formulations of a pipe conveying fluid / *J. Sound and Vibr.* – 1981. – Vol. 77, N 1. – P. 127-132.
9. **Johnson, R. O., Stoneking, J. E., Carley, T. O.** The stability of simply supported tubes conveying a compressible fluid. – *J. Sound and Vibr.* - 1987. – Vol. 117, N 2. – P. 335-350.
10. **Gi-Chun Lee, Hyoung-Eui Kim, Jong-Won Park, Hai-Lan Jin, Young-Shin Lee, Jae-Hoon Kim** An experimental study and finite element analysis for finding leakage path in high pressure hose assembly / *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. – June 2011. – Volume 12, Issue 3. – P. 537-542.
11. **Motorin, L. V. A., Stepanov, O. S., Bratolyubova, E. V.** Simplified mathematical model for strength calculation of pressure fire hoses in hydraulic impact / *Math. universities. Technology text. prom-sti.* – 2011. – №.1 – S. 126 - 133.
12. **Cho, J. R., Choi, J. H.** Prediction of effective mechanical properties of reinforced braid by 3-D finite element analysis. *Fract Strength Solids* – 2006. – 306. – P. 799-804.
13. **Larin, A. M., Chernobay, G. A., Nazarenko, S. Y.** Determination of longitudinal stiffness fire hose / *Problems of Fire: technologies*. – H. : NUCDU. – 2014. – P. 133-138.

Надійшло (received) 15.06.2015