

УДК 614.843/083

О. М. Ларін, д. т. н., проф., Г. О. Чернобай, к. т. н., доц., С. Ю. Назаренко,  
Національний університет цивільного захисту України

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» ІЗ ВНУТРІШНІМ ДІАМЕТРОМ 51 ММ ПРИ ПОЗДОВЖНІХ ДЕФОРМАЦІЯХ

Розглядаються методика і результати визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 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 перспективних 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 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.

Методика проведення відповідних випробувань [10, 11] дозволяє визначити окрім поздовжньої жорсткості напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм і його дисипативні властивості.

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.



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

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.

Таблиця 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	

Після кожного навантаження проводилась обов'язкова фіксація відповідного подовження зразка ( $\Delta L$ ).

Початковий (№1) цикл навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава довжиною  $L_0 = 2,270$  м. Максимальна величина деформації становила  $\Delta L_1^{\max} = 103 \cdot 10^{-3}$  м, при навантаженні  $F^{\max} = 1145,2$  Н, тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_1^{\max} = \frac{\Delta L_1^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{103 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 4,54 \%$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta L_1^{\text{зал}} = 22 \cdot 10^{-3}$  м.

Відповідно при повторному навантаженні (цикл № 2), яке було проведено через дві хвилини після першого, фрагмент мав випробувальну довжину 2,292 м, максимальна величина деформації становила  $\Delta L_2^{\max} = 84,0 \cdot 10^{-3}$  м, при навантаженні  $F^{\max} = 1145,2$  Н, тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_2^{\max} = \frac{\Delta L_2^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{84 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 3,7 \%$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta L_2^{\text{зал}} = 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Відповідно при третьому навантаженні (цикл № 3), яке було проведено через дві хвилини після другого, фрагмент мав випробувальну довжину 2,305 м, максимальна величина деформації становила  $\Delta L_3^{\max} = 71,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , при навантаженні  $F^{\max} = 1145,2 \text{ Н}$ , тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_3^{\max} = \frac{\Delta L_3^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{71 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 3,13 \%$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила  $\Delta L_3^{\text{зал}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Числові параметри наступних трьох режимів навантаження (цикли № 4–7), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити отримані значення. Їх максимальна величина деформації становила  $\Delta L_{4-7}^{\max} = 69,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , при навантаженні  $F^{\max} = 1145,2 \text{ Н}$ , тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_{4-7}^{\max} = \frac{\Delta L_{4-7}^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{69 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 3,04 \%$$

Залишкова деформація фрагменту після розвантаження становила  $\Delta L_{4-7}^{\text{зал}} = (1 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ м}$  і протягом однієї-двох хвилин зникала, тобто можна вважати  $\Delta L_{4-7}^{\text{зал}} \approx 0 \text{ м}$

Таким чином діапазон відносних деформацій при випробуваннях фрагменту пожежного рукава становив від 0 до 4,54%. Результати випробувань наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати випробувань

Навантаження, <i>H</i>	Деформація, мм							
	Цикл № 1		Цикл № 2		Цикл № 3		Цикли № 4-7	
	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.
0	0	22	0	13	0	4	0	1,750
253,3	32	61	28	50	24	41	22,25	35,25
491,3	52	81	45	63	38	52	35,25	47,75
704,0	72	91	61	73	51	61	46,25	55,75
927,2	85	96	70	78	60	66	55,25	60,50
1145,2	103	103	84	84	71	71	67,00	67,00

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

Графіки на рисунку 2 відповідають початковому циклу № 1 навантаження - розвантаження недеформованого фрагменту пожежного рукава.

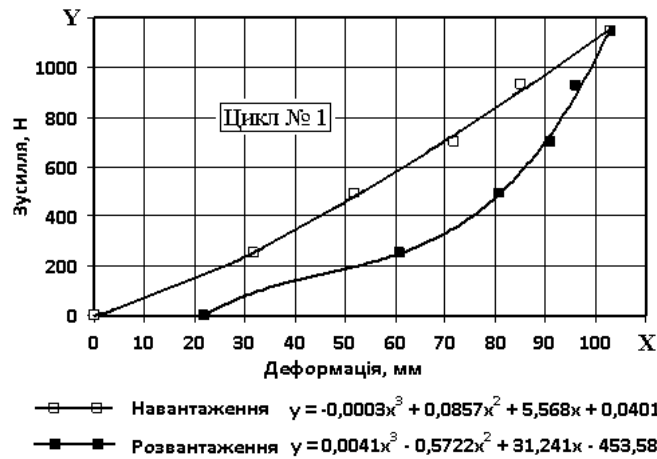


Рисунок 2 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 1

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

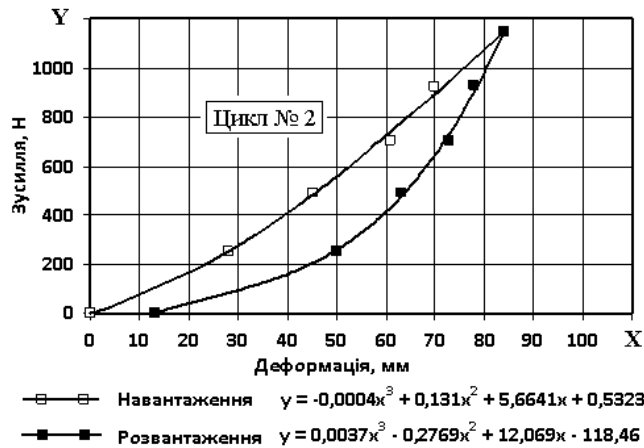


Рисунок 3 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 2.

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

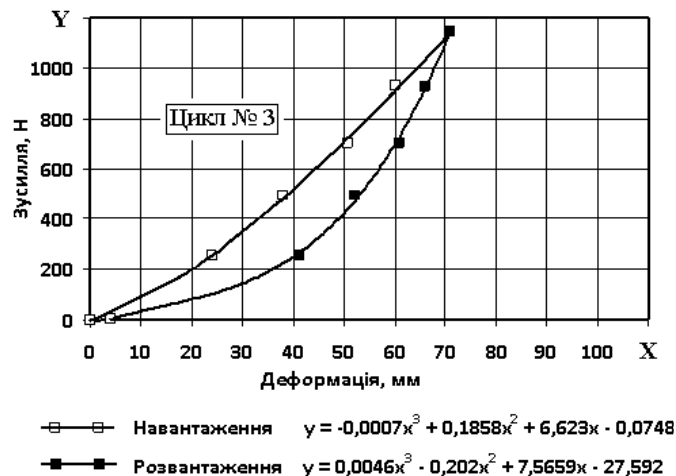


Рисунок 4 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 3.

Графіки на рисунку 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.

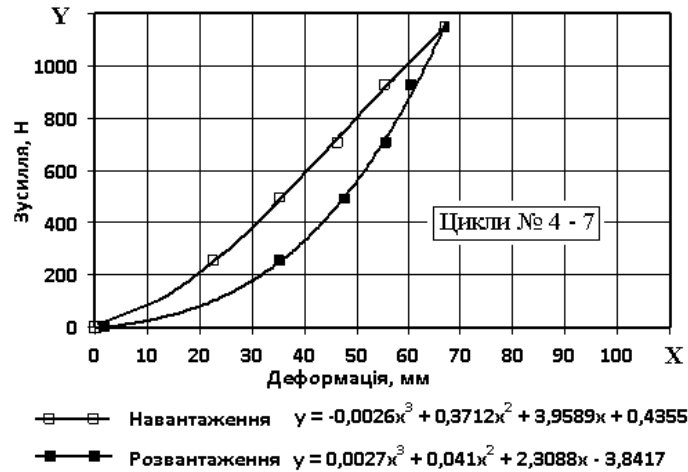


Рисунок 5 – Графіки циклів навантаження - розвантаження № 4 – 7.

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

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

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

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

- 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;  
 $X_{PI}$  - 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  $H$ , що визначає розмірність енергії в  $Hmm$ .

Для подальших розрахунків дисипативні властивості пожежного рукава доцільно визначити безрозмірним співвідношенням

$$\beta = \frac{A_{DI}}{A_{HI}} . \quad (3)$$

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

- при навантаженні  $Y_{H1}(X) = -0,0003X^3 + 0,0857X^2 + 5,568X + 0,0401$ ;
- при розвантаженні  $Y_{P1}(X) = 0,0041X^3 - 0,5722X^2 + 31,241X - 453,58$ .

Відповідно, енергія навантаження першого циклу становить:

$$A_{HI} = \int_0^{103} (-0,0003X^3 + 0,0857X^2 + 5,568X + 0,0401) dX = 52313,8 \text{ Hmm} \cong 52,31 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{DI} = A_{HI} - A_{PI} = \int_0^{103} (-0,0003X^3 + 0,0857X^2 + 5,568X + 0,0401) dX - \int_{22}^{103} (0,0041X^3 - 0,5722X^2 + 31,241X - 453,58) dX = 22160 \text{ Hmm} = 22,16 \text{ Дж},$$

звідки 
$$\beta_1 = \frac{A_{DI}}{A_{HI}} = \frac{22,16}{52,31} = 0,424.$$

Аналогічно при другому циклі випробувань (рис. 3):

- при навантаженні  $Y_{H2}(X) = -0,0004X^3 + 0,131X^2 + 5,6641X + 0,5323$ ;
- при розвантаженні  $Y_{P2}(X) = 0,0037X^3 - 0,2769X^2 + 12,069X - 118,46$ .

Відповідно, енергія навантаження другого циклу становить:

$$A_{HI2} = \int_0^{84} (-0,0004X^3 + 0,131X^2 + 5,6641X + 0,5323) dX = 40930,35 \text{ Hmm} \cong 40,93 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д2} = A_{H2} - A_{P2} = \int_0^{84} (-0,0004X^3 + 0,131X^2 + 5,6641X + 0,5323)dX - \\ - \int_{13}^{84} (0,0037X^3 - 0,2769X^2 + 12,069X - 118,46)dX = 16258,54 \text{ Нмм} \cong 16,26 \text{ Дж},$$

звідки 
$$\beta_2 = \frac{A_{Д2}}{A_{H2}} = \frac{16,26}{40,93} = 0,397.$$

Аналогічно при третьому циклі випробувань (рис. 4):

– при навантаженні  $Y_{H3}(X) = -0,0007X^3 + 0,1858X^2 + 6,623X - 0,0748;$

– при розвантаженні  $Y_{P3}(X) = 0,0046X^3 - 0,202X^2 + 7,5659X - 27,592.$

Відповідно, енергія навантаження третього циклу становить:

$$A_{H3} = \int_0^{71} (-0,0007X^3 + 0,1858X^2 + 6,623X - 0,0748)dX = 34407,5 \text{ Нмм} \cong 34,41 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д3} = A_{H3} - A_{P3} = \int_0^{71} (-0,0007X^3 + 0,1858X^2 + 6,623X - 0,0748)dX - \\ - \int_4^{71} (0,0046X^3 - 0,202X^2 + 7,5659X - 27,592)dX = 12120 \text{ Нмм} = 12,12 \text{ Дж},$$

звідки 
$$\beta_3 = \frac{A_{Д3}}{A_{H3}} = \frac{12,12}{34,41} = 0,352.$$

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

– при навантаженні  $Y_{H4-7}(X) = -0,0026X^3 + 0,3712X^2 + 3,9589X + 0,4355;$

– при розвантаженні  $Y_{P4-7}(X) = 0,0027X^3 + 0,041X^2 + 2,3088X - 3,8417.$

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

$$A_{H4-7} = \int_0^{67} (-0,0026X^3 + 0,3712X^2 + 3,9589X + 0,4355)dX = 33031,11 \text{ Нмм} \cong 33,03 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д4-7} = A_{Н4-7} - A_{Р4-7} = \int_0^{67} (-0,0026X^3 + 0,3712X^2 + 3,9589X + 0,4355) dX - \\ - \int_{1,75}^{67} (0,0027X^3 + 0,041X^2 + 2,3088X - 3,8417) dX = 10391 \text{ Нмм} = 10,39 \text{ Дж},$$

звідки 
$$\beta_{4-7} = \frac{A_{Д4-7}}{A_{Н4-7}} = \frac{10,39}{33,03} = 0,315.$$

**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 51 мм від «історії» його навантаження (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати розрахунків

Характеристика	Позначення	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикл № 3	Цикли № 4-7
Максимальне навантаження	$F^{\max}$ , Н	1145,2	1145,2	1145,2	1145,2
Максимальна деформація	$\Delta L^{\max}$ , мм	103	84	71	69
Максимальна відносна деформація	$\varepsilon^{\max}$ , %	4,54	3,7	3,13	3,04
Залишкова деформація	$\Delta L^{\text{зал}}$ , мм	12	13	4	1,75
Коефіцієнт дисипації	$\beta$	0,424	0,397	0,352	0,315

При однаковому навантаженні (1145,2 Н), прикладеному до фрагменту пожежного рукава при першому, другому та третьому циклах випробувань його характеристики значно змінювались і лише потім (4 – 7 цикли) відбувалась їх стабілізація. Приведена поздовжня жорсткість рукава стабілізувалась [10] на рівні 38,79 кН/м, коефіцієнт дисипації - 0,315, при відносній деформації – 3,04 %.

Значний початковий гістерезис фрагменту пожежного рукава (цикл № 1) при наступних випробуваннях (цикли № 2-7) 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.

### 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. Безбородько, М.Д. Пожарная техника /М.Д. Безбородько, П.П. Алексеев, Б.А. Максимов – М.: ВИПТШ, 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. 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 /Л.В. Моторин, О.С. Степанов, Е.В. Братолобова // Изв. вузов. Технология текст. пром–сти. –2011. –№.1 – С. 126 – 133.
10. О.М. Ларін Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Г» 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 «Г» діаметром 77 мм / Назаренко С.Ю. // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2014. - № 36. – С. 174-179