

УДК 614.844: 538.4

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.227.240>

*Сергій СТАСЬ*, кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0002-6139-6278),  
*Артем БИЧЕНКО*, кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0003-3788-3268),  
*Денис КОЛЕСНИКОВ*, кандидат технічних наук, доцент  
(ORCID: 0000-0002-4068-3454),  
*Олексій МИГАЛЕНКО*, кандидат економічних наук (ORCID: 0000-0002-2750-1556),  
*Михайло ПУСТОВІТ* (ORCID: 0000-0001-5313-1459),  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПОДОВЖЕННЯ ВЖИВАНИХ ПОЖЕЖНИХ НАПІРНИХ РУКАВІВ ТИПУ Т ШЛЯХОМ ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ**

Явище зміни геометричних параметрів напірних пожежних рукавів проявляється при транспортуванні ними вогнегасних рідин. Передусім змін зазнають довжина та діаметр. Подовження напірних пожежних рукавів не має суттєвого впливу на процес пожежогасіння, проте варто враховувати енергетичні витрати, що забезпечують такі зміни, коли частина потужності пожежного насоса витрачається не на транспортування рідин та формування вогнегасних струменів, а на «необов'язкове» подовження напірних пожежних рукавів. Для проведення експериментів були вибрані випадковим чином напірні пожежні рукава латексовані діаметрами 51 мм та 77 мм та рукава пожежні напірні із двостороннім полімерним покриттям діаметрами 51 мм (усі типу Т), температура становила  $-10^{\circ}\text{C}$  та  $+25^{\circ}\text{C}$ , витрати рідини були сталими, значення тиску на вході пожежного ствола PROTEK 366 становили від 0,2-0,4-0,6-0,8 МПа. Найбільше подовження 79 см при довжині рукава 1960 см та 73 см при довжині рукава 1790 см було зафіксоване у випадку застосування рукавів діаметром 77 мм, тиску на їх вході 0,8 МПа, температурі  $+25^{\circ}\text{C}$  й витраті води 0 л/с. Сила, що забезпечувала такий розтяг становила 2,04 кН. Подовження децю зменшувалося зі зменшенням температури. Виявлена незначна нерівномірність розтягування напірних пожежних рукавів по довжині, коли витягування зростало ближче до їх середини. Суттєвих змін діаметрів напірних пожежних рукавів при транспортуванні ними води зафіксовано не було. Отримані результати вказують на залежність величини розтягування від матеріалів, з яких виготовлені напірні пожежні рукави, а також їх діаметра. Таким чином, при проектуванні нових типів латексованих напірних пожежних рукавів слід враховувати геометричні особливості намотування ниток, передусім щільність та діаметр. Встановлені у дослідженні значення динамічних зусиль, що спричиняють розтяг напірних пожежних рукавів, на практиці можуть бути використані при врахуванні вимушених втрат енергії на транспортування рідини.

**Ключові слова:** пожежний рукав, рукавна лінія, транспортування води, геометричні розміри, подовження пожежного рукава.

**Постановка проблеми.** Напірні пожежні рукави (НПР) типу Т застосовуються як основний засіб для транспортування вогнегасних рідин до осередку переважної більшості пожеж. Вимоги до їх надійності та працездатності є визначальними, оскільки від цього безпосередньо залежить результат пожежогасіння. Вони зазвичай виготовляються із синтетичних матеріалів та можуть мати гумове або полімерне

покриття зсередини та ззовні. Основними характеристиками НПР є геометричні розміри, робочий тиск транспортованої рідини, водонепроникність та міцність [1]. Життєвий цикл НПР залежить як від вказаних характеристик так і від режимів, частоти й особливостей їх експлуатації. НПР при транспортуванні рідин мають здатність змінювати свої геометричні розміри, що регламентується чинними українськими державними стандартами [2]. Здатність подовжуватися перед усім визначається особливостями матеріалу основи НПР. Розтягування НПР під час їх експлуатації, одночасно із механічними пошкодженнями при розмотуванні, перетягуванні тощо сприяють руйнуванню їх структури, що врешті рещт призводить до появи різноманітних проявів протікання рідини. Зрозуміло, ефект подовження рукава складно використати практично при прокладанні рукавних ліній під час гасіння пожеж, тому його вплив зазвичай вбачається як негативний. Наприклад, у обмеженому просторі ефект подовження рукавів може спричинити їх критичні заломлення та перегини, можуть з'явитися перерви у подачі води під час гасіння пожежі, що є недопустимим. Слід розуміти, що частина енергії, яка витрачається на транспортування води від вододжерела до зони горіння, витрачається на розтягування й утримання довжини НПР. Величина втрат цієї енергії на забезпечення зміни геометричних параметрів може бути визначена експериментальним шляхом при механічному розтягуванні. Дослідження, присвячені вивченню явища подовження пожежних напірних рукавів, є актуальними й можуть бути реалізовані шляхом проведення натурних експериментів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Особливості експлуатації НПР суттєво впливають на їх здатність виконувати основне призначення – надійно забезпечувати транспортування води і водопінних робочих розчинів. У роботі [2] наведені результати досліджень із розтягуванням частини НПР в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження. Встановлено, що зміна властивостей матеріалу НПР при послідовних циклах деформації навантаження-розвантаження є зворотною, проте час релаксації може складати декілька годин. Однак не зрозуміло, чи будуть подібними результати експериментальних досліджень при різних значеннях напору рідини. Таку подібність було встановлено в роботі [3]. Разом із тим, важливим невирішеним питанням залишається визначення залишкового ресурсу НПР, можливості їх ремонту та надійності подальшої експлуатації. Частково розв'язанню задачі визначення залишкового ресурсу НПР присвячено роботу [4]. Автори визначили необхідність та розробили науково-обґрунтований метод, який дозволяє установити рівень зношення НПР, можливість та доцільність його ремонту і подальшого застосування. Дослідний зразок НПР типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм і випробувальною довжиною 110 мм було закріплено на дослідній установці ДМ-30М, яка дає можливість заміру сили та деформації. Було проведено п'ять циклів випробувань з його навантаження-розвантаження. Фактично було досліджено поведінку зразка на предмет розтягу під дією навантаження, а також часткового стискання після припинення такої дії [4]. Результати дослідження щодо визначення механічних властивостей (пружних та дисипативних) напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 66 мм в умовах статичного навантаження наведено у [5]. Разом із тим, зазначені дослідження щодо деформування НПР як у [4] так і у [5] проводилися із його фрагментом довжиною 110 мм, що складає лише близько 0,5% загальної довжини усього НПР. Таким чином, залишається нерозв'язаним питання відповідності отриманих результатів реальним значенням розтягування усього НПР.

У результаті багаторазового застосування НПР пошкоджуються, у них виникають мікротріщини та розриви. У таких випадках виникає необхідність проведення ремонту рукавів. Оцінка довговічності шлангів та процес появи у них мікротріщин, розглянуто у [6], де для проектування високоміцних гальмівних шлангів

запропоновано чисельний метод прогнозування довговічності шлангу. Для цього у [6] описується ламінована структура, що складається з шарів чистої гуми та тканини. Разом із тим, у випадку застосування НПР слід враховувати децю інші діапазони тисків транспортованої рідини, геометричні розміри й матеріали, з яких вони виготовлені.

Покращення рівня довговічності НПР може бути досягнуто передусім за рахунок забезпечення конструктивного й технологічного базисів їх проектування та виготовлення. Важливим завданням є визначення тиску, при якому починається розрив гнучких трубопроводів, до яких відносяться НПР. При цьому необхідно враховувати багато різних факторів, таких як розривне зусилля ниток, що застосовуються для їх виготовлення, радіус рукава, геометрична щільність укладання ниток по основі рукава, діаметри ниток, стан захисного латексованого покриття тощо. Частково врахувати різні фактори впливу на міцність полотна несучого покриття НПР можна шляхом використання запропонованої у роботі [7] спрощеної математичної моделі. Децю іншим підходом до визначення міцності НПР можна вважати роботу [8], де запропонована нова розрахункова формула для методики визначення міцності НПР із заданими характеристиками під дією внутрішнього гідравлічного тиску. Окрім інших параметрів у [8] рекомендується враховувати геометричні особливості намотування різних ниток у рукавах. Подальше уточнення методики розрахунку міцності НПР, а також методика проектування НПР під дією внутрішнього гідравлічного тиску та пропозиції щодо способів проектування й виробництва НПР мають перевірятися шляхом проведення натурних експериментів. В результаті дослідження [9] встановлено: тиск розриву НПР рукава суттєво залежить від геометричної щільності намотування ниток, сили розриву ниток та радіусу НПР. Результати дослідження необхідно враховувати при проектуванні нових типів цих технічних виробів.

Практична реалізація пропозицій визначення міцності НПР та удосконалення їх проектування й виробництва може бути найкращим підтвердженням доцільності врахування подовження НПР під час пожежогасіння. Так, безперебійна подача вогнегасних речовин під час пожеж на залізниці за рахунок розробки прототипу сполучного пристрою для подовження рукавів високого тиску розглянута у [10]. Автори встановили, що подовження рукавів впливає на ефективність їх застосування у важкодоступних місцях. Незважаючи на те, що надані у [10] пропозиції застосування рукавів дозволяють зменшити витрату вогнегасної речовини, залишається складність використання обладнання із високими значеннями тиску рідини. Більш того, іноді прокладання рукавної лінії додатково ускладнюється у місцях, до яких важко дістатися пожежним автомобілем. У таких випадках можуть бути використані спеціальні рюкзаки для НПР, порівняльний аналіз їх застосування проведено у [11]. Однак використання таких рюкзаків пришвидшує зношення НПР у результаті їх згинання та стискання. Суттєво інший режим застосування НПР, що використовуються стаціонарно у будівлях. Визначення термінів служби таких НПР показують, що погіршення їх експлуатаційних характеристик суттєво зростає після 9 років експлуатації [12]. Як наслідок довгого перебування у складеному або скрученому стані, розтягування таких рукавів може призводити до їх руйнування. Частковим подоланням відповідних труднощів є необхідність визначення і подальшого врахування величини розтягування НПР при різних значеннях тисків, витрат рідини та частоти їх застосування.

У роботі [13] проаналізовано конструктивне виконання та вказані основні технічні вимоги до плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальної техніки, якими є НПР. Розтягування та зношення плоскоскладаних рукавів залежить від зони їх повздовжнього перегинання. Саме тому удосконалення нормативної бази щодо технічних вимог та методів випробувань до НПР [14] передбачає регулярне перекантування НПР щонайменше 2 рази на рік для усіх напірних рукавів діаметром

100 мм та більше, що знаходяться на складському зберіганні або у відсіках пожежно-рятувальних автомобілів за умови, що вони не використовувалися за призначенням впродовж 6 місяців з дати останнього перекантування [15].

Тим не менш, матеріали, що використовуються для виробництва сучасних НПР, суттєво різняться здатністю на розтягування й перегинання, а детальних теоретичних чи експериментальних даних щодо ефективності робіт з перекантування не виявлено. То ж постає потреба проведення натурних експериментів з вивчення явища подовження пожежних НПР різних типів та різних режимів експлуатації.

Особливим випадком використання НПР є застосування роботів при прокладці рукавних ліній. Найчастіше причиною стають великі ризики травмування для пожежників. Особливості застосування роботів при прокладанні рукавних ліній розглянуто у [16]. Слід зазначити, що використання роботів орієнтоване передусім на виконання вимог техніки безпеки роботи працівників та забезпечення прокладання рукавної лінії підвищеної складності. Зрозуміло, що питання виконання вимог до розтягування рукавів при цьому не є визначальними.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми та постановка задачі.** Доцільним є проведення дослідження, присвяченого визначенню величини подовження НПР при транспортуванні рідини, оскільки залишаються не вирішеними деякі питання. Серед них, наприклад, вплив температури навколишнього середовища, рівномірність розтягування НПР по їх довжині, а також визначення величини подовження НПР при різних значеннях тиску й витрати рідини.

Метою дослідження є визначення особливостей подовження напірних пожежних рукавів при транспортуванні води в умовах різних температур, витрат та напору рідини. Це дасть можливість не тільки визначити загальне подовження напірних пожежних рукавів, але й відмінності величини розтягу у різних його ділянках, виявити вплив температури середовища на зміну геометричних розмірів НПР напірних пожежних рукавів.

Для досягнення поставленої мети мають бути розв'язані задачі:

- визначити потовщення та подовження рукавів під час їх заповнення водою при різних значеннях вхідного тиску;
- визначити подовження рукавів при застосуванні пожежних стволів;
- визначити величину сили, що забезпечує розтяг рукавів при транспортуванні води;
- визначити вплив різних температурних режимів на розтягування рукавів.

**Виклад основного матеріалу дослідження та отримані результати.** Можна припустити, що частина енергії, яка повинна забезпечувати транспортування вогнегасної речовини рукавними лініями, втрачається на розтяг та утримування в розтягнутому стані рукавної лінії [1]. Для встановлення факту розтягу та отримання значення динамічних зусиль, що спричинюють розтяг напірних пожежних рукавів застосовувалися методи емпіричного дослідження, а саме спостереження, вимірювання та експеримент.

В дослідженні використовували 3 типи НПР, що є найбільш уживаними в Україні. Кожного із досліджуваних типів НПР було вибрано випадковим чином по 6 штук, тобто всього 18 НПР. Усі рукави пройшли стандартні випробування та були раніше у використанні. Подані далі результати дослідження є усередненими значеннями для кожного із типів рукавів.

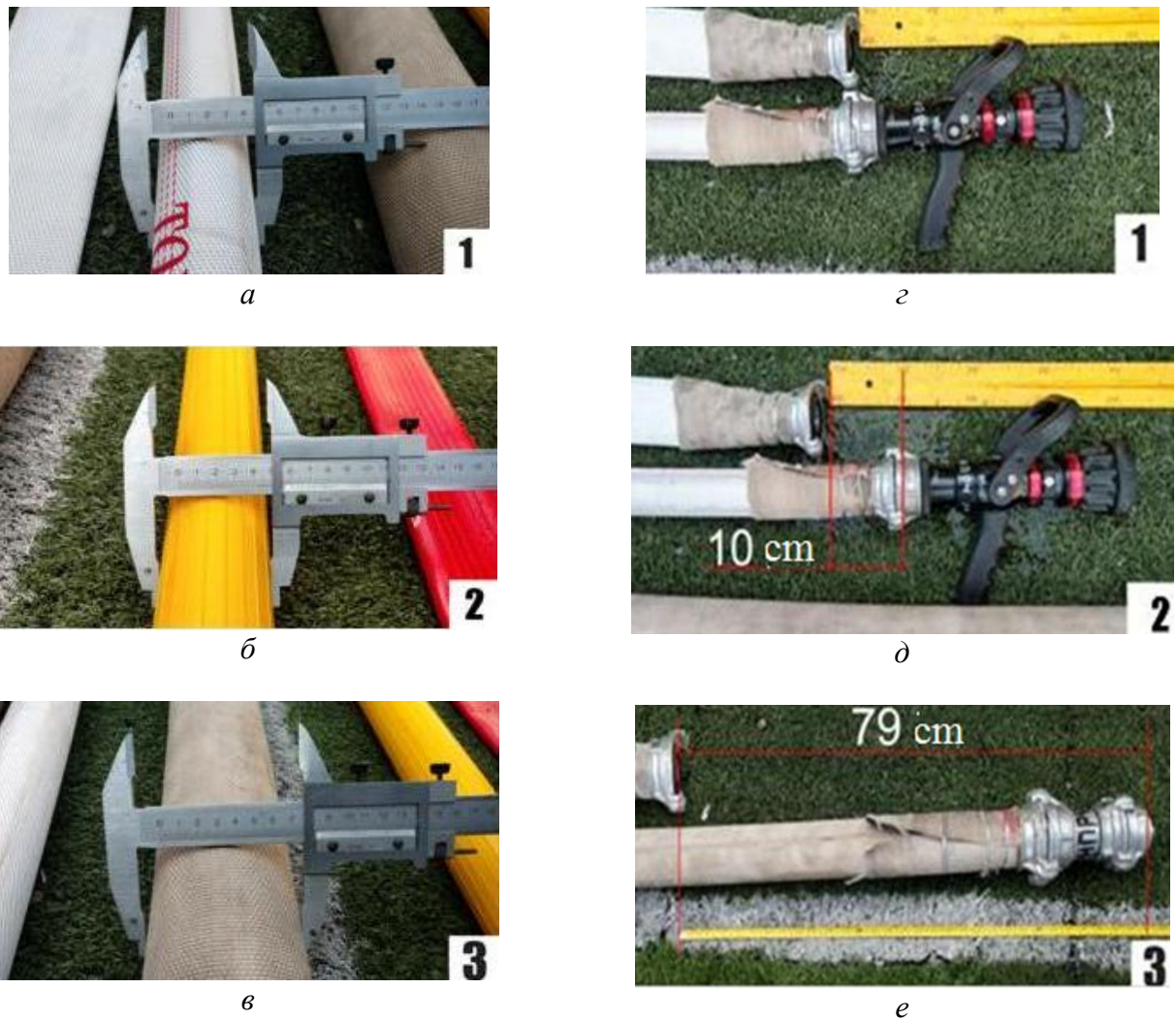


Рисунок 1. Визначення зміни діаметрів й довжин напірних пожежних рукавів типу Т (+25°C): *а*–латексований, 51 мм; *б* – двосторонній полімерний, 51мм; *в* – латексований, 77 мм; *г* – фіксація точки відліку; *д* – латексований рукав, 51мм; *е* – латексований рукав, 77 мм

Спочатку було проведено дослідження зміни основних геометричних параметрів рукавів (довжини й зовнішнього діаметра) під час їх заповнення водою при різних значеннях вхідного тиску. При цьому у частині експериментів на кінці НПР були встановлені заглушки, тобто витрата рідини була нульова. У інших випадках застосовувалися пожежні стволи з фіксованими значеннями витрати рідини.

На наступному (другому) етапі досліджень визначалися величини розтягування НПР при застосуванні пожежних стволів. При цьому дослідження проводилися двічі (при температурі навколишнього середовища -10°C та +25°C). На третьому етапі визначалася величина сили, необхідної для забезпечення деформації НПР при транспортуванні ним води. У даному експерименті було використано лише 3 НПР, а не 18, як на попередніх етапах.

**А. Визначення зміни довжини й зовнішнього діаметра рукавів під час їх заповнення водою [1].** Обраний метод визначення потовщення (рис. 1) не дозволив виявити суттєвих змін діаметрів. Початкова довжина НПР складала 1960 см. Найбільших деформацій по довжині зазнав латексований рукав діаметром 77 мм, його подовження склало 79 см при нульовій витраті рідини (рис. 1) [17].

Після кожного із експериментів, що складався із поетапного підвищення вхідного тиску від 0,2 до 0,8 МПа з кроком 0,2 МПа, використовувався наступний НПР, а температура навколишнього середовища становила +25°C.



*a*



*г*



*б*



*д*



*в*



*е*

Рисунок 2. Дослідження подовження напірних пожежних рукавів при температурах -10°C та +25°C: а – фрагмент експерименту; б, в – елементи вимірювань г – вхідна ділянка рукава; д – зафіксований кінець рукава до початку експерименту; е – подовження рукава під дією тиску води

Було зафіксовано повільне стискання рукава після того, як вхідний тиск знижувався. Так, після того як вхідний тиск зменшувався від 0,8 МПа до 0 МПа рукав починав стискатися. Середній час стискання (повернення до 20 % розтягнення від початкового стану) склав 420 с, стискання до 50 % розтягнення відбулося через 143 с.

**Б. Визначення величини розтягування напірних пожежних рукавів при застосуванні пожежних стволів [1].** На наступному етапі досліджень рукавами забезпечувалося транспортування води до пожежного ствола при температурі навколишнього середовища +25°C. Був застосований пожежний ствол ПРОТЕК 366. На цьому етапі досліджень початкова довжина НПР складала 1790 см. Поетапне підвищення вхідного тиску від 0,2 до 1,0 МПа з кроком 0,2 МПа забезпечувалося роботою пожежного насосу ПН-60-Р-Р продуктивністю до 60 л/с та максимальним тиском 1,0 МПа.

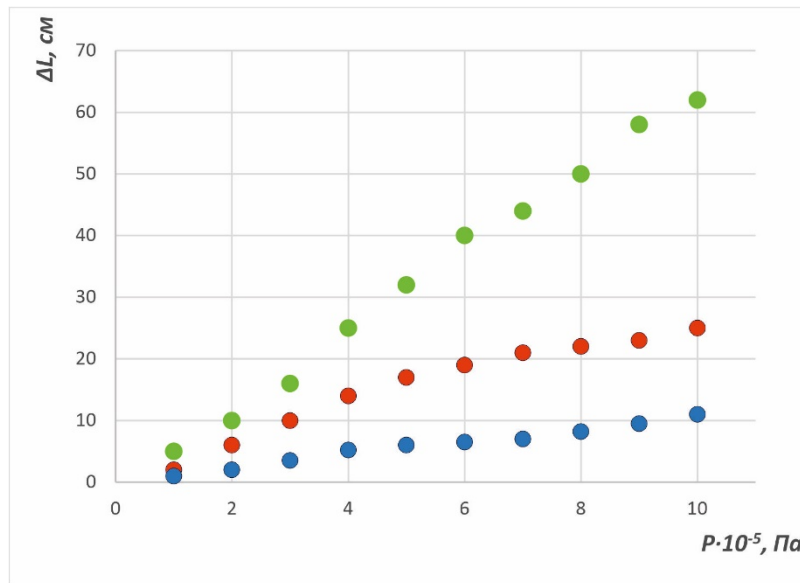


Рисунок 3. Графік змін довжин досліджуваних напірних пожежних рукавів при застосуванні пожежного ствола PROTEK 366: нижній графік – двосторонній полімерний, 51 мм; середній – латексований, 51 мм; верхній – латексований, 77 мм

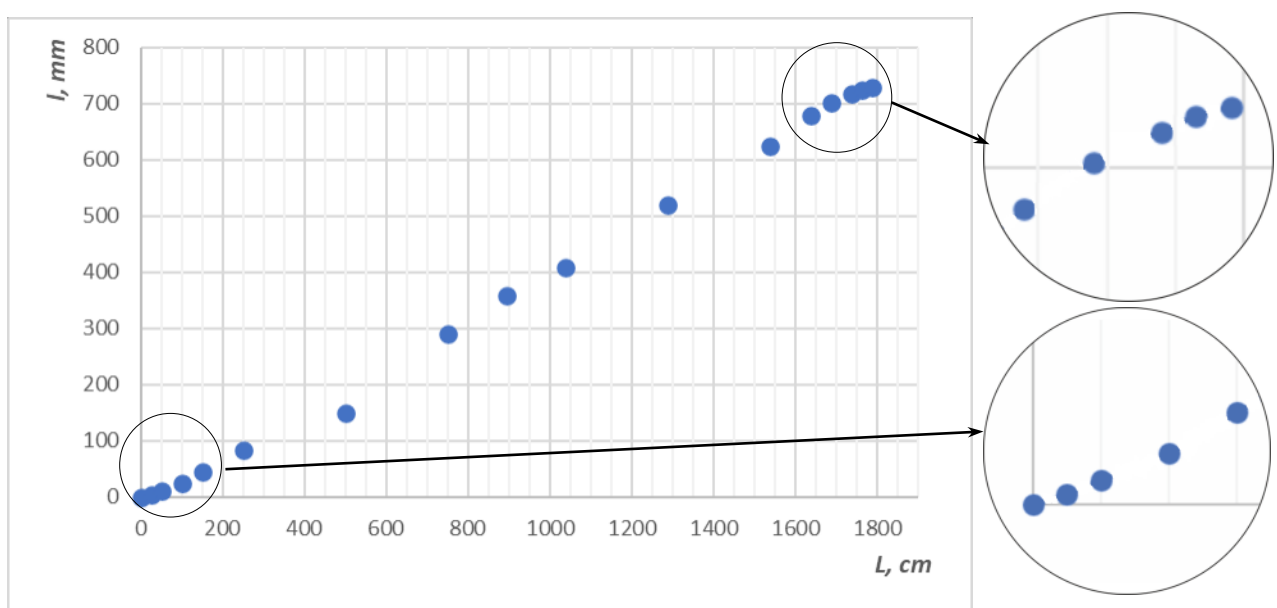


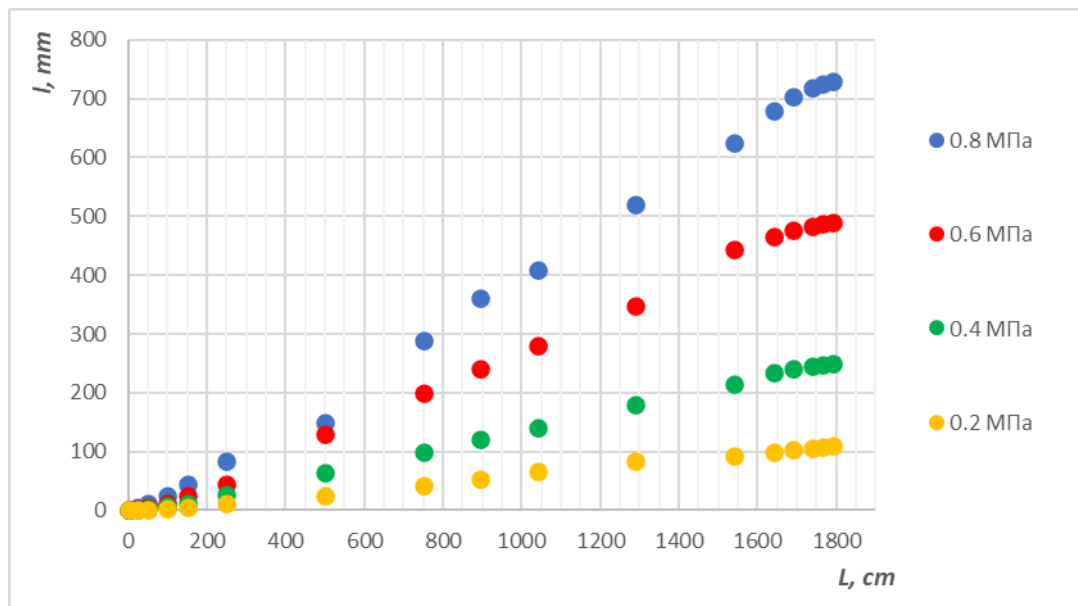
Рисунок 4. Подовження  $\Delta l$  латексованих напірних пожежних рукавів діаметром  $D=77$  мм по його довжині  $L=1790$  см у випадку використання заглушки на кінці рукава (витрата води 0 л/с, тиск 0,8 МПа)

При різних значеннях витрат рідини із використанням пожежного ствола, як і на попередньому етапі (при нульовій витраті), суттєвих змін діаметрів НПР зафіксовано не було. Результати експериментів для трьох типів НПР подано на рис. 3. Максимальне подовження було зафіксоване при генеруванні потоку вогнегасної рідини з використанням латексованого рукава діаметром 77 мм при тиску на його вході 1,0 МПа та витраті 1,9 л/с. Зміна довжини склала 620 мм (рис. 3).

Таким чином, для даного НПР відносно подовження становило 0,032 (довжина рукава 1960 см). Зазначимо, що отримане значення відносного подовження 0,032 відповідає вимогам чинних нормативних документів України.

Дослідження з метою визначення впливу температури на розтягування НПР проводилися у теплу й холодну пори року відповідно при температурах  $-10^{\circ}\text{C}$  та  $+25^{\circ}\text{C}$ . Крок підвищення тиску складав 0,2 МПа, а витрати води 0–115–230–360–475 л/хв.

Максимальне подовження в обох пакетах експериментів (при низькій та високій температурах) було зафіксовано при найвищих значеннях вхідного тиску та найменшому рівні витрат. На рис. 4 та рис. 5 подано дані подовження досліджуваних НПР при температурі  $-10^{\circ}\text{C}$ , при температурі  $+25^{\circ}\text{C}$  картина подовження НПР була подібною. Була виявлена нерівномірність розтягування напірного пожежного рукава, коли витягування зростало ближче до його середини (рис.4).



Риунок 5. Подовження  $\Delta l$  латексованих напірних пожежних рукавів діаметром  $D=77$  мм по його довжині  $L=1790$  см при витраті води 0 л/с, тиску 0,2–0,4–0,6–0,8 МПа

Кожне підвищення тиску та зменшення витрати проводилося лише після відновлення початкових розмірів НПР, що становило щонайменше 600 с при температурі  $+25^{\circ}\text{C}$ . Натомість при температурі  $-10^{\circ}\text{C}$  застосовувався щоразу інший сухий НПР, оскільки відновлення рукава до його початкової довжини ускладнювалося із-за його промерзання.

Для досліджуваних типів НПР було встановлено, що подовження майже не залежить від температури (у діапазоні  $-10^{\circ}\text{C} \dots +25^{\circ}\text{C}$ ).

**В. Визначення величини сили, що забезпечує розтяг напірного рукава при транспортуванні води [1].** Зважаючи на дані [2–4], було прийняте рішення щодо проведення повномасштабного експерименту із застосуванням усього НПР, а не його фрагмента. Для визначення сили, що забезпечує розтяг рукавів при транспортуванні води, була створена випробувальна установка. За допомогою установки була визначена величина сили, необхідної для забезпечення тієї деформації, що у попередніх експериментах спричиняла розтяг НПР при транспортуванні ним води.



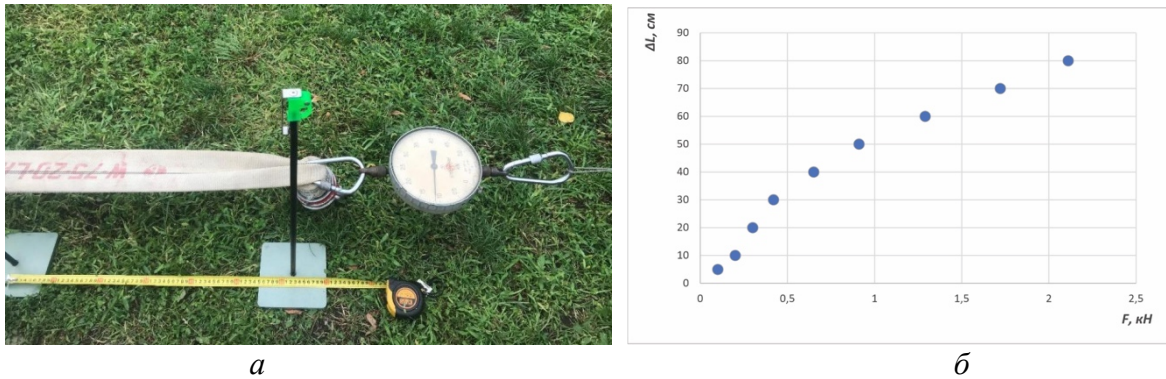


Рисунок 6. Проведення експерименту із застосуванням латексованих напірних пожежних рукавів довжиною 1960 см й діаметром  $D=77$  мм: *a* – фрагмент експерименту; *б* – залежність подовження  $\Delta l$  від сили розтягу  $F$

Експериментальні дані, представлені на (рис. 6), вказують на зростання величини подовження із зростанням прикладеної сили й відповідають результатам [4]. Так, подовженню на 79 см досліджуваного латексованого НПР діаметром 77 мм відповідав тиск на його вході 0,8 МПа [17]. При цьому сила, що забезпечувала такий розтяг становила 2,04 кН, а за даними [4] – 2,28 кН.

**Г. Аналіз отриманих результатів.** У результаті проведення експериментів були визначені залежності подовження НПР від величини вхідного тиску, витрати рідини й температури. Було встановлено, що подовження різних типів НПР при однакових початкових умовах може суттєво різнитися.

Явище розтягування НПР можна пояснити фізико-технічними особливостями їх будови, впливом умов та режимів їх експлуатації. Так, залежності зміни довжин досліджуваних НПР при застосуванні пожежного ствола PROTEK 366 були суттєво різними для НПР з різною основою матеріалу (рис.1). Можна допустити застосовування відомих законів руху рідин трубопроводами із твердими стінками при зростанні тисків транспортованих рідин. Однак при цьому слід враховувати такі прояви гнучких трубопроводів-рукавів, як різке перекриття пожежного ствола, під'єднання нових рукавів через розгалуження. Важливо зважати на подовження рукавної лінії за рахунок додавання інших рукавів, переходи рукавних діаметрів, пульсаційні ефекти руху рідин внаслідок роботи пожежних насосів [18] тощо.

Загалом, визначена величина подовження НПР (до 4,3%) може бути взята за основу при проведенні подальших досліджень, пов'язаних із транспортуванням вогнегасних рідин гнучкими трубопроводами, що змінюють власні початкові геометричні розміри, як-то довжину. Разом із тим, у результаті проведення експериментів було встановлено суттєвий рівень залежності отриманих результатів подовження НПР від стану їх зношеності. Для шести однотипних латексованих НПР діаметром 77 мм та довжиною 1960 см розкид величини подовження складав близько 12% (73, 77, 79, 81, 82, 83 см). Для шести латексованих НПР діаметром 51мм розкид величини подовження складав близько 9%. Двосторонні полімерні НПР діаметром 51 мм майже не подовжувалися.

Оскільки пожежними рукавами транспортувалася вода, властивості якої суттєво відрізняються від деяких інших вогнегасних речовин, в перспективі доцільно провести експерименти із застосуванням інших рідин, аналогічні вищенаведеним [19–21]. У такий спосіб можна буде напрацювати нові підходи до зменшення дисипативних втрат при транспортуванні рідин до струминоформувальних пристроїв. Визначення величини подовження НПР дозволяє створити підґрунтя для забезпечення збільшення витрати рідини без зміни вихідного тиску на пожежному насосі. Врахування величини

подовження НПР дозволяє коригувати теоретичні основи методики раціонального прокладання рукавних ліній. Перспективним напрямком досліджень має стати вивчення, чи сприятиме додавання до води розчинів піноутворювачів у малих концентраціях зменшенню втрат на розтягування НПР.

Експерименти з визначення особливостей розтягування НПР були проведені як при низькій ( $-10^{\circ}\text{C}$ ), так й при нормальній ( $+25^{\circ}\text{C}$ ) температурах навколишнього середовища. Вони вказують на низький рівень залежності подовження НПР від значення температури (у досліджуваному діапазоні температур). При зниженні температур зворотне стискання НПР після його використання буде уповільнюватися, що було підтверджено експериментально.

Слід зазначити, що не були враховані випадки використання рукавної лінії з двох і більше НПР. У таких випадках потрібно додатково враховувати втрати тиску по довжині рукавної лінії, що впливатиме на розтягування НПР. Зазначимо, що усі дослідження проводилися на горизонтальній площині без урахування прокладення рукавної лінії зі зміщенням по висоті.

Практичне використання результатів може ускладнюватися важливим недоліком дослідження, а саме складністю врахування величини зношення НПР.

**Висновки.** За результатами даної роботи встановлено наступне:

1. Підтверджено результати дослідження властивостей напірних пожежних рукавів типу «Т» із внутрішнім діаметром  $D=77$  мм та довжиною до  $L=1960$  см при поздовжніх деформаціях проведенням повномасштабного натурального експерименту із застосуванням не фрагменту, а усього напірного пожежного рукава. Максимальне значення сили, яка забезпечувала розтяг, становила 2,04 кН, а відносне подовження не перевищувало 0,032. Разом із тим, на відміну від попередніх досліджень, виявлена нерівномірність розтягування напірного пожежного рукава, коли витягування зростало ближче до його середини.

2. Встановлено, що важливим фактором впливу на здатність подовжуватися напірного пожежного рукава є стан їх зношення, перед усім кількість циклів та умови експлуатації. Так, для шести однотипних латексованих напірних пожежних рукавів діаметром  $D=77$  мм та довжиною  $L=1960$  см розкид величини подовження складав близько 12% (73, 77, 79, 81, 82, 83 см), для шести латексованих напірних пожежних рукавів діаметром  $D=51$  мм розкид величини подовження складав близько 9%.

3. Експериментально визначено величини сил, що витрачаються на розтягування напірного пожежного рукава, проте не беруть участь у процесі транспортування рідин. Максимальне значення сили, що забезпечувала розтяг НПР напірного пожежного рукава, становило 2,04 кН.

4. Для досліджуваних типів напірних пожежних рукавів при транспортуванні ними води експериментально встановлено, що у діапазоні температур  $-10^{\circ}\text{C}\dots+25^{\circ}\text{C}$  подовження напірного пожежного рукава майже не залежить від значення температури навколишнього середовища.

**Вдячність.** Проведення дослідження здійснювалося із застосуванням лабораторної бази Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, у деяких експериментах брали участь курсанти та працівники зазначеного навчального закладу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Stas, S., Bychenko, A., Kolesnikov, D., Myhalenko, O., Pustovit, M. et al. (2023). Determining the elongation of T-type pressure fire hoses based on full-scale experiments. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3. 13-20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279616>.

2. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R. et al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «Т». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 63–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>.
3. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Asotskyi, V., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Tsebruk, I. et al. (2020). Determining mechanical properties at the shear of the material of «Т» type pressure fire hose based on torsion tests. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 45–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212269>.
4. Ларін О.М. Визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, Л.Л. Запольський // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ, 2015. – №2 (32) – С. 18–25.
5. Larin, Oleksiy & Morozov, Oleksandr & Nazarenko, Sergii & Chernobay, Gennadiy & Kalynovskyi, Andrii & Kovalenko, Roman & Pustovoitov, Pavlo & Fedulova, Svitlana. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «Т». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>.
6. J.R. Cho, Y.H. Yoon, C.W. Seo, Y.G. Kim, Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion, *Finite Elements in Analysis and Design*, Volume 100, 2015, P. 65–76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finel.2015.03.002>.
7. Motorin, L.V. & Stepanov, O.S. & Bratolyubova, E.V. (2011). The simplified mathematical model for strength calculation of pressure fire hoses under hydraulic influence. 126–133.
8. Akerke E. Aripbayeva et al, New Formula for Strength Calculation of Pressure Fire Hoses under Intrinsic Hydraulic Pressure, *International Journal of Research in Engineering, IT and Social Sciences*, ISSN 2250–0588, Impact Factor: 6.452, Volume 06 Issue 12, December 2016, P. 47–50.
9. Aripbaeva, Akerke & Mirkhalykov, Zhumahan & Kaldybaev, Rashid & Koymfan, Oscar & Bazarov, Yuri & Stepanova, Svetlana & Stepanov, Sergey. (2020). Investigation of characteristics of woven reinforcing frames of pressure fire hoses and their influence on values of internal bursting pressures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya khimicheskaya tekhnologiya*. 63. 96–104. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20206310.6234>.
10. Anikin, Sergey & Danilov, Mikhail & Denisov, Aleksey & Korolev, Pavel & Litvinov, Andrey. (2022). Algorithm of actions of fire service to extend high-pressure hoses when extinguishing a fire on the railway. *Fire and Emergencies: prevention, elimination*. 3. 99–109. <https://doi.org/10.25257/FE.2022.3.99-109>.
11. Park, Jung-seung & Kim, Seong-Jun & Chun, Kyoung-Ha. (2022). Verification of the Effectiveness of a Fire Hose Backpack in Areas Fire Trucks have Difficulty Accessing. *Fire Science and Engineering*. 36. 134–141. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.db6da288>.
12. Kim, Hakjoong & Song, Youngjoo. (2021). A Study on the Durability of Fire Hoses of Fire Hydrants. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 21. 97–102. <https://doi.org/10.9798/kosham.2021.21.6.97>.
13. Присяжнюк, В. В., Семичаєвський, С. В., Якіменко, М. Л., Осадчук, М. В., Свірський, В. В., & Мілютін, О. В. Аналіз конструктивного виконання та основних технічних вимог до пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальної техніки. *Комунальне господарство міст*, (154), 324–327. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-1-154-324-327>.
14. Присяжнюк, В. В., Семичаєвський, С. В., Якіменко, М. Л., Осадчук, М. В., Свірський, В. В., & Мілютін, О. В. (2020). Про удосконалення нормативної бази щодо технічних вимог та методів випробувань до напірних пожежних рукавів. *Комунальне господарство міст*, (154), 312–317. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-1-154-312-317>.

15. Про затвердження Методичних рекомендацій з експлуатації та ремонту пожежних рукавів в пожежно-рятувальних підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Наказ ДСНС № 760 від 26.12.2022. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0760388-22#Text>
16. Muramatsu, Hidetoshi & Iino, Rui & Yoneda, Kan. (2018). Development of Fire Hose Laying Robot. The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec). 2018. 1A1–I12. <https://doi.org/10.1299/jsmermd.2018.1A1–I12>.
17. Stas, S., Bychenko, A., Kolesnikov, D., Myhalenko, O., Pustovit, M. (2021). Experimental study of changes the geometric parameters of fire hoses during the supply of extinguishing agents. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Hydraulic Machines and Hydraulic Units: 2021. – № 2. P. 39–42. doi: <https://doi.org/10.20998/2411–3441.2021.2.06>.
18. Kostiuk, D., Kolesnikov, D., Stas, S., & Yakhno, O. (2018). Research into cavitation processes in the trapped volume of the gear pump. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(7 (94)), 61–66. <https://doi.org/10.15587/1729–4061.2018.139583>.
19. Яхно, О. М., Семинская, Н. В., Колесников, Д. В., & Стась, С. В. (2014). Destabilization of stream in a channel with the length-varying flow rate. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(7(69)), 45–49. <https://doi.org/10.15587/1729–4061.2014.24658>.
20. Yakhno, O., Stas, S., & Gnativ, R. (2015). Taking into account the fluid compressibility at its unsteady flow in pressure pipelines of fire extinguishing systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(7), pp. 38–42. <https://doi.org/10.15587/1729–4061.2015.42447>.
21. Maglyovana, T., Nyzhnyk, T., Stas, S., Kolesnikov, D., & Strikalenko, T. (2020). Improving the efficiency of water fire extinguishing systems operation by using guanidine polymers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(10 (103)), 20–25. <https://doi.org/10.15587/1729–4061.2020.196881>.

## REFERENCE

1. Stas, S., Bychenko, A., Kolesnikov, D., Myhalenko, O., Pustovit, M. et al. (2023). Determining the elongation of T-type pressure fire hoses based on full-scale experiments. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3. 13-20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279616>.
2. Larin, O., Morozov, O., Nazarenko, S., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Kovalenko, R. et. al. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (102)), 63–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184645>.
3. Nazarenko, S., Kovalenko, R., Asotskyi, V., Chernobay, G., Kalynovskyi, A., Tsebriuk, I. et. al. (2020). Determining mechanical properties at the shear of the material of «T» type pressure fire hose based on torsion tests. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (7 (107)), 45–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212269>.
4. Larin O.M. Determination of dissipative properties of pressure fire hose type "T" with a diameter of 77 mm / O.M. Larin, G.O. Chernobay, S.Yu. Nazarenko, L.L. Zapolsky // Scientific Bulletin of the Ukrainian Research Institute of Fire Safety – Kyiv, 2015. – №2 (32) – С. 18–25.
5. Larin, Oleksiy & Morozov, Oleksandr & Nazarenko, Sergii & Chernobay, Gennadiy & Kalynovskyi, Andrii & Kovalenko, Roman & Pustovoitov, Pavlo & Fedulova, Svitlana. (2019). Determining mechanical properties of a pressure fire hose the type of «T». Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6. <https://doi.org/10.15587/1729–4061.2019.184645>.
6. J.R. Cho, Y.H. Yoon, C.W. Seo, Y.G. Kim, Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion, Finite

Elements in Analysis and Design, Volume 100, 2015, P. 65–76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finl.2015.03.002>.

7. Motorin, L.V. & Stepanov, O.S. & Bratolyubova, E.V. (2011). The simplified mathematical model for strength calculation of pressure fire hoses under hydraulic influence. 126–133.

8. Akerke E. Aripbayeva et al, New Formula for Strength Calculation of Pressure Fire Hoses under Intrinsic Hydraulic Pressure, International Journal of Research in Engineering, IT and Social Sciences, ISSN 2250–0588, Impact Factor: 6.452, Volume 06 Issue 12, December 2016, P. 47–50.

9. Aripbaeva, Akerke & Mirkhalykov, Zhumahan & Kaldybaev, Rashid & Koyfman, Oscar & Bazarov, Yuri & Stepanova, Svetlana & Stepanov, Sergey. (2020). Investigation of characteristics of woven reinforcing frames of pressure fire hoses and their influence on values of internal bursting pressures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya khimicheskaya tekhnologiya*. 63. 96–104. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20206310.6234>.

10. Anikin, Sergey & Danilov, Mikhail & Denisov, Aleksey & Korolev, Pavel & Litvinov, Andrey. (2022). Algorithm of actions of fire service to extend high-pressure hoses when extinguishing a fire on the railway. *Fire and Emergencies: prevention, elimination*. 3. 99–109. <https://doi.org/10.25257/FE.2022.3.99-109>.

11. Park, Jung-seung & Kim, Seong-Jun & Chun, Kyoung-Ha. (2022). Verification of the Effectiveness of a Fire Hose Backpack in Areas Fire Trucks have Difficulty Accessing. *Fire Science and Engineering*. 36. 134–141. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.db6da288>.

12. Kim, Hakjoong & Song, Youngjoo. (2021). A Study on the Durability of Fire Hoses of Fire Hydrants. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 21. 97–102. <https://doi.org/10.9798/kosham.2021.21.6.97>.

13. Prisyajnyuk, V., Semychayevsky, S., Yakimenko, M., Osadchuk, M., Svirskiy, V., Milutin, O. (2020). Analysis of structural compliance and basic technical requirements for layflat fire hoses for fire-rescue equipment. *Series: Engineering Science and Architecture*, 154, 324–327. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-1-154-324-327>.

14. Prisyajnyuk, V., Semychayevsky, S., Yakimenko, M., Osadchuk, M., Svirskiy, V., Milutin, O. (2020). About improvement of the regulatory base for technical requirements and test methods for delivery fire hoses. *Series: Engineering Science and Architecture*, 154, 312–317. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-1-154-312-317>.

15. On the approval of Methodological recommendations for the operation and repair of fire hoses in the fire and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine. Order of the State Emergency Service No. 760 of 12/26/2022. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0760388-22#Text>

16. Muramatsu, Hidetoshi & Iino, Rui & Yoneda, Kan. (2018). Development of Fire Hose Laying Robot. *The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)*. 2018. 1A1–I12. <https://doi.org/10.1299/jsmermd.2018.1A1-I12>.

17. Stas, S., Bychenko, A., Kolesnikov, D., Myhalenko, O., Pustovit, M. (2021). Experimental study of changes the geometric parameters of fire hoses during the supply of extinguishing agents. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Hydraulic Machines and Hydraulic Units*: 2021. – № 2. P. 39–42. doi: <https://doi.org/10.20998/2411-3441.2021.2.06>.

18. Kostiuk, D., Kolesnikov, D., Stas, S., & Yakhno, O. (2018). Research into cavitation processes in the trapped volume of the gear pump. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7 (94)), 61–66. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139583>.

19. Yakhno, O., Seminskaya, N., Kolesnikov, D., Stas, S. (2014). Destabilization of stream in a channel with the length-varying flow rate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (69)), 45–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24658>.

20. Yakhno, O., Stas, S., & Gnativ, R. (2015). Taking into account the fluid compressibility at its unsteady flow in pressure pipelines of fire extinguishing systems.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(7), pp. 38–42.  
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42447>.

21. Maglyovana, T., Nyzhnyk, T., Stas, S., Kolesnikov, D., & Strikalenko, T. (2020). Improving the efficiency of water fire extinguishing systems operation by using guanidine polymers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(10 (103), 20–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196881>.

**UDC 614.844: 538.4**

*Serhii STAS*, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent  
(ORCID: 0000-0002-6139-6278),

*Artem BYCHENKO*, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent  
(ORCID: 0000-0003-3788-3268),

*Denys KOLESNIKOV*, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent  
(ORCID: 0000-0002-4068-3454),

*Oleksii MYHALENKO*, Candidate of Economic Sciences (Ph. D.)  
(ORCID: 0000-0002-2750-1556),

*Mykhailo PUSTOVIT* (ORCID ID: 0000-0001-5313-1459),  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes  
of National University of Civil Protection of Ukraine

#### **DEFINITION OF THE LENGTHENING VALUE OF USED T-TYPE FIRE PRESSURE HOSES BY CONDUCTING OF NATURAL EXPERIMENTS**

*The phenomenon of changing of the geometric parameters of pressure fire hoses is manifested while their transport fire-extinguishing liquids. First of all, the length and diameter undergo changes. The lengthening of pressure fire hoses doesn't have a significant effect on the fire extinguishing process, but it is worth considering the energy costs that ensure such changes, when part of the fire pump power is spent not on transporting liquids and forming fire extinguishing jets, but on the "optional" lengthening of pressure fire hoses. For the experiments, were randomly selected latex pressure fire hoses with diameters of 51 mm and 77 mm and fire hoses with double-sided polymer coating with diameters of 51 mm (all T type). The temperature was -10°C and +25°C, the liquid consumption was constant, the pressure values at the entrance of the PROTEK 366 handline nozzle ranged from 0.2-0.4-0.6-0.8 MPa. The biggest lengthening in 79 cm with a fire hose length in 1960 cm and 73 cm with a fire hose length of 1790 cm was fixed in case of using hoses with a diameter of 77 mm, a pressure at their inlet of 0.8 MPa, a temperature of +25°C and a water flow rate of 0 l/s. The force providing such tension was 2.04 kH. The lengthening slightly decreased with decreasing temperature. There was detected a slight unevenness of the stretching of pressure fire hoses along the length, especially when the stretching increased closer to their middle. There were no significant changes in the diameters of pressure fire hoses when they transported water. The obtained results indicate the dependence of the amount of their lengthening on the materials from which pressure fire hoses are made, as well as their diameter. Thereby, while designing new types of latex pressure fire hoses, manufacturer should take into account the geometric features of thread winding, primarily the density and diameter. The values of dynamic forces determined in the study, which cause the stretching of pressure fire hoses, can be used in practice if we will taking into account the forced energy losses for liquid transportation.*

**Keywords:** *fire hose, hose line, water transporting, geometric dimensions, fire hose prolongation.*