

Національний університет цивільного захисту України
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Назаренко Сергій Юрійович



УДК 614.843

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ
НАПІРНИХ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ ПРИ НАЯВНОСТІ В НИХ
ПРИХОВАНИХ ДЕФЕКТІВ**

21.06.02 – Пожежна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С.Ю. Назаренко

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Ларін Олександр Миколайович, доктор технічних наук,
професор

Харків – 2018

АНОТАЦІЯ

Назаренко С.Ю. Підвищення достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів при наявності в них прихованих дефектів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека». – Національний університет цивільного захисту України, ДСНС України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена підвищенню достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів при наявності в них прихованих дефектів. Розглянуто конструкції напірних пожежних рукавів, особливості їх експлуатації та методів їх випробувань. Проведені експериментальні дослідження зміни тиску в рукавній лінії, визначенно фізико-механічні властивості матеріалу рукава, встановлені залежності зміни кута закручування від довжини дефекту, що дозволило розробити методіку виявлення прихованих дефектів.

Досвід роботи оперативно-тактичних підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України свідчить, що серед важливих чинників, що забезпечують ефективність їх дій при гасінні пожежі, чільне місце займають не тільки кількісна і якісна оснащеність сучасними технічними засобами, але й надійність та безвідмовність штатних зразків пожежно-технічного обладнання. Серед них чільне місце займає система подачі вогнегасних засобів до осередку пожежі, до яких безпосередньо відносяться й напірні пожежні рукави (НПР). Проведений аналіз діяльності підрозділів ДСНС показав, що періодичні один раз на рік (або після ремонту) гідравлічні випробування, не забезпечують своєчасного визначення прихованих дефектів в рукавах.

Вказаний спосіб випробування забезпечує знаходження лише 75% пошкоджень НПР, що приводять до відмов, а решта 25% відбуваються на

пожежах, тому вирішення задачі зменшення останнього показника створить передумови більш успішного гасіння пожеж.

Вказане визначило:

- мету роботи: підвищення достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів за рахунок визначення їх механічних властивостей при наявності прихованих дефектів;

- напрямок теоретичних та експериментальних досліджень, які обґрунтовують розробку методик і створення технічних засобів випробування та діагностування пожежних напірних рукавів, що забезпечують їх експлуатаційну надійність;

- об'єкт дослідження: вплив прихованих дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів;

- предмет дослідження: характеристики напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів при наявності прихованих дефектів.

Проведений аналіз літературних джерел визначив, що напірним пожежним рукавам (НПР), як одному із важливих видів пожежного обладнання, приділена велика кількість наукових праць. Теоретичні та експериментальні основи дослідження напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів, методики раціонального проектування подібних конструкцій, розглянуті у ґрунтовних працях Н.Л. Бідермана, О.С. Степанова, А.П. Мінакова, М.В. Алешкова та ін.

Розглянуті роботи мають фундаментальне значення для технологічного удосконалення НПР та засад їх експлуатації, але не зважаючи на це, можна констатувати, що теоретичних і експериментальних робіт з дослідження напірних пожежних рукавів, визначення їх характеристик та особливостей використання до теперішнього часу виконано небагато, що обумовлено складністю як структури НПР, так і процесів, що відбуваються при їх експлуатації.

Аналіз даних з експлуатації напірних рукавів свідчить, що лише 75% дефектів виявляються в ході випробувань, а решта відмов (25%) відбувається на пожежах, що визначило важливість їх удосконалення шляхом поліпшення методик пошуку прихованих дефектів, оскільки технічні засоби випробувань, які знаходяться у пожежно-рятувальних підрозділах, не відповідають сучасному рівню і визначають лише цілісність та герметичність напірних пожежних рукавів і не дають змоги встановити наявність прихованих дефектів.

Аналізом стану рукавного господарства підрозділів ДСНС визначено, що для оснащення пожежних автомобілів здебільшого застосовуються рукави типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм, серед яких найбільш поширеними є рукави групи компаній «Набат» (Україна), фірм «Протекс» (КНР) та BEZALIN (ПНР), вони, відповідно, й були прийняті базовими для подальших досліджень.

Аналізом видів дефектів та їх дислокації в пожежних рукавах, а також розглядом відповідних першоджерел, встановлено, що виникнення дефектів в більшості випадків пов'язане як з порушеннями технологічної дисципліни в процесі виготовлення ННР, так і з впливом зовнішніх факторів, наприклад, тертя при транспортуванні, або недотримання нормативних вимог при роботі на пожежі. Здебільшого пошкодження дислокуються на текстильному армуючому каркасі рукавів, відповідно 95% відмов трапляються через зменшення його міцності, а решта 5% від раптових відмов внаслідок механічних пошкоджень під час пожежі. Практика експлуатації напірних рукавів свідчить, що їх руйнування практично завжди відбувається на технологічній складці, а причинами відмов є свищі в рукавах (60%), розриви і зриви головок (відповідно 30% і 10%). Дефекти певним чином розподіляються по довжині рукавів – найчастіше дефекти виникають біля з'єднувальних головок, а найрідше – в середині рукава. Вид дефекту впливає

як на прогноз подальшого використання рукава, так і на вибір (при можливості) способу ремонту.

Аналізом, проведеним за наслідками дослідження наявності та характеру дефектів при проведенні штатних випробувань на робочих та виведених з експлуатації пожежних рукавах, визначено, що дефекти поділяються на:

- явні (пориви та свищі), які порушують герметичність рукава;
- видимі порізи, потертості, пропали та хімічно корозія від забруднення паливно-мастильними матеріалами, які не порушують герметичності рукава;
- приховані (непомічені порізи, розриви ниток силового каркасу тощо), які не порушують герметичності рукава.

Вказане визначило доцільність створення методу випробувань, який дозволяє визначити наявність двох останніх типів дефектів.

В роботі пропонується проводити технічне діагностування наявності прихованих дефектів у пожежних напірних рукавах шляхом їх механічних випробувань. Для визначення параметрів діагностування та закономірностей їх зміни в залежності від наявності дефекту і його характеристик проведена попередня теоретична (розрахункова) оцінка впливу дефектів на механічну поведінку системи. Все це дозволило звужити спектр планування експериментів, а також теоретично обґрунтувало доцільність та межі застосування обраного параметра діагностування.

В якості параметра діагностування наявності дефектів в напірних пожежних рукавах розглядається зміна механічного відгуку навантаженого напірного пожежного рукава із дефектами на додатково надані йому деформації. Визначення закономірностей відповідної зміни є основною метою теоретичної частини досліджень.

У відповідності до прийнятих припущень розроблена модель напірного пожежного рукава, який розглядається як гнучка циліндрична оболонка, що має внутрішній діаметр d , товщину стінки δ і знаходиться під дією

рівномірно розподіленого внутрішнього навантаження, що спричинене гідравлічним тиском P рідини всередині рукава. На оболонці в залежності від задач дослідження моделюються характерні дефекти різного напрямку та розміру, які, однак, не порушують герметичності системи.

У відповідності до фізичної моделі для теоретичних досліджень НІР використано метод скінченних елементів (МСЕ), який надає можливість з урахуванням експериментально визначених фізико-механічних властивостей рукавів досліджувати особливості їх деформування та визначати параметри напружено-деформованого стану (НДС) з урахуванням наявності дефекту.

Чисельні розрахунки на розробленій МСЕ моделі, в якій найбільш характерні дефекти пожежних рукавів змодельовані розрізом різної глибини та напрямку, дозволили визначити відповідний чинник – кут закручування пожежного рукава під дією фіксованого моменту, величина якого в значній мірі залежить від наявності та розмірів дефекту рукава, що може бути використано для пошуку цього дефекту.

Для найбільш поширених в експлуатації рукавів типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм проведені розрахунки залежності кутів закручування від довжини та напрямку дефектів у поздовжньому (вздовж основи) та поперечному (вздовж утка) напрямках в умовах статичного навантаження від дії заданого крутного моменту і побудовані відповідні графіки для наступного порівняння з результатами натурних випробувань.

Водночас визначено, що тиск у НІР не впливає на характер зміни кута закручування рукава від довжини та напрямку дефекту, як по основи, так і по утку, тому для практичного застосування доцільно використовувати тиск $P=0,6$ МПа (максимальний тиск, що зафіксований при роботі насоса на реальних пожежах).

Проведена статистична обробка результатів дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальних пожеж, установила його відповідні

значення – середнє експлуатаційне – 0,31 МПа та максимальнє експлуатаційне – 0,6 МПа, які разом із максимальним випробувальним – 2,4 МПа визначили в дослідженні параметри силового навантаження НІР.

Для чисельних розрахунків напружено-деформованого стану та відповідних параметрів роботи НІР проведено експериментальне визначення фізико-механічних властивостей пожежних рукавів, зокрема їх жорсткості, в умовах статичного навантаження. З урахуванням особливостей фізичної моделі визначено модулі пружності при розтяганні матеріалу НІР у поздовжньому (вздовж основи) та поперечному (вздовж утка) напрямках, а також модуль пружності при зсуві з випробувань на кручення.

Аналіз результатів випробувань в умовах статичного навантаження свідчить, що фізико-механічні властивості НІР, які визначені математичною обробкою результатів серії відповідних експериментів, вельми залежать від «історії» їх навантаження, тобто на перших двох-трьох режимах навантаження модулі пружності збільшувалися і лише потім на наступних – стабілізувалися, при суттєвому зменшенні залишкових деформацій, що наближає поведінку матеріалу пожежних рукавів до пружного. Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагментів пожежних рукавів дозволяє визначити (згідно до прийнятих в дослідженні припущень) модулі пружності їх матеріалу.

Зважаючи на суттєву нестабільність фізико-механічних характеристик пружності матеріалу НІР, які залежать від типу рукава і технології його виробництва, від «історії» та умов навантаження, вологості матеріалу, терміну експлуатації тощо, їх визначення проведено для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм виробництва різних підприємств (фірм «Набат», «5ELEM» та «BEZALIN»), з довільними термінами експлуатації (нових, бувших у вжитку 1 рік та виведених з експлуатації), відокремлених від різних ділянок НІР (від середньої частини та біля напівгайки). Виміри для кожного варіанту проводились після кількох

(2-3) циклів навантаження-розвантаження, тобто для стабілізованого стану рукавів з наступним розрахунком відповідних модулів пружності та статистичною обробкою результатів досліджень.

Проведені теоретичні дослідження та розрахунки на математичній моделі напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів як цілих, так і при наявності дефектів встановили реальний показник – кут закручування, що дало змогу розробити спосіб випробувань та сконструювати і виконати в металі дослідний зразок установки для експериментального визначення наявності та місця розташування прихованих дефектів НІР.

Відмінність розрахункових та експериментальних результатів визначення залежності зміни кута закручування рукава від довжини дефекту, як по основі, так і по утку становить від 6,2% до 14,2%, тобто доведена адекватність математичної моделі і, відповідно, допустимість припущень, які були зроблені при її створенні.

Визначено, що навіть при значному збільшенні або зменшенні відповідних модулів пружності, змінюються лише кількісні показники досліджуваних величин, зокрема, кута закручування рукава, а їх якісний характер залишається незмінним, тобто доведена можливість експериментального визначення наявності прихованих дефектів в рукавах з довільними пружними характеристиками, тобто незалежно від їх типу та стану.

Використання запропонованого методу дозволило підвищити достовірність результатів випробувань напірних пожежних рукавів на 12% порівняно з нормативними гідравлічними випробуваннями, що доводить доцільність та ефективність цього методу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше досліджено рівень навантажень в напірних пожежних рукавах в умовах їх експлуатації на пожежі;

- вперше кількісно оцінений вплив наявності прихованих дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів;
- вперше запропоновано спосіб, який дозволяє визначати наявність та місцезнаходження прихованих дефектів в напірних пожежних рукавах та розроблено пристрій для його реалізації;
- підвищена достовірність результатів випробувань по виявленню дефектів в напірних пожежних рукавах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному: розроблено методика діагностування напірних пожежних рукавів для визначення наявності в них прихованих дефектів, створено відповідний пристрій, підібрано комплект належного обладнання та сформульовані рекомендації по її використанню для діагностування НПР.

Представлений спосіб випробування напірних пожежних рукавів та пристрій для його здійснення, оформлено у вигляді патенту України на корисну модель.

Числові моделі процесів, що відбуваються в напірних пожежних рукавах, методика та засоби діагностування їх технічного стану використовуються в навчальному процесі НУЦЗ України при викладанні дисциплін «Основи проектування та конструювання пожежно-технічних і спеціальних засобів» та «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка», а запропонований метод випробування НПР для визначення наявності в них прихованих або непомічених дефектів впроваджено для практичного використання в УкрНДЦЗ.

Ключові слова: напірні пожежні рукави, випробування, дефекти, модуль пружності, кут закручування, пожежно-технічне обладнання, пожежно-рятувальні підрозділи.

ABSTRACT

Nazarenko S.Yu. Increase of the reliability of the results of tests of pressure fire hoses in the presence of hidden defects in them. - Qualifying research paper as manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) with a specialization 21.06.02 "Fire safety". - National University of Civil Defense of Ukraine, The State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The dissertation is devoted to increase the reliability of results of pressure fire hoses tests in the presence of hidden defects in them. The constructions of pressure fire hoses, features of their operation and methods of their tests are considered. Experimental studies of pressure changes in the hose line have been carried out, physical and mechanical properties of hose material have been determined, the dependences of the change of the twist angle on the defect length have been determined.

The experience of the operational and tactical units of the State Emergency Service (SES) of Ukraine shows that among the important factors that ensure the effectiveness of their actions in the fire extinguishing, not only the quantitative and qualitative equipment with modern technical units matters, but also the reliability and failsafety of issued samples of fire-technical equipment. Among them the main place takes the system of supply of the fireground with fire extinguishers, which directly include and pressure fire hoses (PFH). The conducted analysis of SES departments activities showed that periodic hydraulic tests conducted once a year (or after repair), do not provide timely detection of hoses hidden defects.

The specified test method provides finding only 75% of PFH damages, which results in failures, and the remaining 25% occur dueing fires, so the decision of the problem of reducing the last indicator will create the preconditions for fire extinguishing that is more successful.

The abovementioned specified:

- increase of reliability of pressure fire hoses tests results due to determination of their mechanical properties in the presence of hidden defects;
- the direction of theoretical and experimental research, which substantiate the development of the method and the creation of technical means for testing and diagnosing of fire pressure hoses, providing their operational reliability;
- object of research: influence of hidden defects on mechanical properties of pressure fire hoses;
- subject of research: characteristics of the stress strain state of pressure fire hoses in the presence of hidden defects.

The conducted analysis of literary sources has determined that a large number of scientific works are devoted to pressure fire hoses (PFH) as to one of the important types of fire equipment. Theoretical and experimental foundations of the study of the stress strain state of pressure fire hoses, methods of rational design of similar structures, are considered in the fundamental works of N.L. Biderman, O.S. Stepanov, A.P. Minakov, M.V. Aleshkov et al.

The considered works are of fundamental importance for the technological improvement of the PFH and the principles of their exploitation, but nevertheless, it can be stated that there have been made a few theoretical and experimental works on the study of pressure fire hoses, on the definition of their characteristics and peculiarities of use, which is due to the complexity of the structure of the PFH, as well as the processes occurring during their operation.

Data analysis on the operation of pressure hoses shows that only 75% of defects are detected during the tests, and the remaining failures (25%) occur during fires, which determined the importance of their improvement by bettering the methods of finding hidden defects, as the technical means of testing that exist in the rescue fire squads, do not correspond to the modern level and determine only the integrity and tightness of pressure hoses and do not allow to determine the hidden defects.

The state analysis of SES units hose facilities has determined that for the equipment of fire vehicles, type "T" hoses with internal diameters of 51 mm and 77 mm are mostly used. Among them the most common are the hoses of the group of companies "Nabat" (Ukraine), firms "Proteks" (P.R. China) and BEZALIN (Poland), they were accepted as basic for further research.

The analysis of types of defects and their dislocation in fire hoses, as well as consideration of the relevant primary sources, found that the occurrence of defects in most cases is associated both with violations of technological discipline in manufacturing process of PFH, and with the influence of external factors, such as friction during transportation, or failure to comply with regulatory requirements when working with fire. In the most cases, the damage is located on the textile reinforcing frame of the hoses, 95 % of failures occur due to its reduced strength, and the remaining 5% of sudden failures due to mechanical damage during the fire.

Practice of the operation of pressure hoses shows that their destruction almost always occurs on the technological fold, and the reasons for failures are holes in the hoses (60 %), tears and breakages of heads (30% and 10% respectively). Defects in a certain way are distributed over the length of the hoses - most often defects occur near the connecting heads and most rarely - in the middle of the hose. The type of defect affects both the forecast of future hose use, and the choice (if possible) of the repair method.

The analysis, carried out on the results of the investigation of the presence and nature of defects during issued tests on working and decommissioned fire hoses, determined that the defects are divided into:

- obvious (tears and holes), that destroy the hose tightness;
- visible cuts, thin places, burns and chemical corrosion due to contamination by fuel and lubricant materials, which do not violate the tightness of the hose;
- hidden (unnoticed cuts, tears of the threads of the power frame, etc.) that do not violate the tightness of the hose.

The abovementioned specified the feasibility of creating a test method, which allows determining the presence of the last two types of defects.

The paper proposes to carry out a technical diagnosis of the presence of hidden defects in fire pressure hoses through their mechanical tests. To determine the diagnostic parameters and the rules of their change, depending on the presence of the defect and its characteristics, a preliminary theoretical (estimated) valuation of the influence of defects on the mechanical behavior of the system was carried out. This allowed to narrow the spectrum of experiment planning, and also theoretically substantiated the feasibility and limits of the application of the chosen diagnostic parameter.

As a parameter for diagnosing the presence of defects in pressure fire hoses, a change in the mechanical response of a loaded pressure fire hose with defects in addition to its deformation is considered. The determination of the rules of the corresponding change is the main purpose of the theoretical part of the research.

In accordance with the assumptions made, a model of the pressure fire hose was worked out. Pressure fire hose here is considered as a flexible cylindrical shell having an internal diameter d , a wall thickness δ and is under the action of a uniformly distributed internal load caused by the hydraulic pressure R of the liquid inside the hose. On the shell, depending on the research tasks, typical defects of different directions and sizes are simulated, which, however, do not violate the tightness of the system.

In accordance with the physical model for theoretical research of PFH, the finite element method (FEM) is used, which provides the possibility, taking into account experimentally determined physical and mechanical properties of the hoses, to investigate the features of their deformation and to determine the parameters of the stress-strain state (SSS), taking into account the presence of the defect.

Numerous calculations on the model developed by the FEM, in which the most indicative defects of fire hoses are modeled by incision of different depth and

direction, allowed to determine the relevant factor - the angle of twisting of the fire hose under the fixed torque action, magnitude of which depends mostly on the presence and size of the hose defect, which may be used for searching this defect.

For the most commonly used hoses of type "T" with internal diameters of 51 mm and 77 mm, the calculations of the dependence of the twisting angles on the length and direction of defects in the longitudinal (along the base) and transverse (along the corner) directions were carried out in the conditions of the static load from the action of the given rotational moment and appropriate graphs for the next comparison with the results of field tests were constructed.

At the same time, it was determined that the pressure in the PFH does not affect the nature of the change in the angle of twisting of the hose from the length and direction of the defect, both in the basis and in the angle. Therefore it is expedient to use the pressure $P = 0,6$ MPa for practical application (maximum pressure recorded at operation of the pump on real fires).

The statistical processing of the results of the study of pressure changes in the hose line during the extinguishing of the actual fires was carried out and its corresponding values were set: the average operational value - 0,31 MPa and the maximum exploitation value - 0,6 MPa, which together with the maximum tested value - 2,4 MPa determined in the study the parameters of the strength of the PFH.

An experimental determination of the physical and mechanical properties of fire hoses, in particular their stiffness, under static load conditions, was carried out for numerous calculations of the stress-strain state and the corresponding parameters of the PFH. Taking into account the features of the physical model, modulus of elasticity during the stretching of the PFH material in the longitudinal (along the base) and transverse (along the corner) directions, as well as the modulus of elasticity when shifting from torsional tests, are determined.

Analysis of the results of tests in conditions of static load indicates that the physical and mechanical properties of PFH, which are determined by the mathematical treatment of the results of a series of relevant experiments, depend

mostly on the "history" of their load. That is, in the first two to three load modes, modules of elasticity increased, and only then on the next ones - stabilized, with a significant reduction of residual deformations, which approximate the behavior of the material of the fire hoses to the elastic. Almost linear dependence between load and deformation of fragments of fire hoses allows to determine (according to assumptions adopted in the research) modules of elasticity of their material.

In view of the significant instability of the physical and mechanical characteristics of the elasticity of the PFH material, which depend on the type of hose and the technology of its production, on the "history" and the conditions of loading, material humidity, lifetime, etc., their determination is made by fragments of type "T" hoses with internal diameters 51 mm and 77 mm of different enterprises (Nabat, SELEM and BEZALIN), with arbitrary lifetime (new ones, used for 1 year and decommissioned), and separated from different parts of the PFH (from the middle part and near the half-wings). Measurements for each variant were made after several (2-3) cycles of loading-unloading, that is, for stabilized hose state with the subsequent calculation of the corresponding modulus of elasticity and statistical processing of research results.

Conducted theoretical investigations and calculations on the mathematical model of the stress-strain state of pressure fire hoses both as whole and in the presence of defects have been established real index - the angle of twisting, which made it possible to develop a method of testing and to construct and execute in the metal a pilot sample of the installation for the experimental determination of the presence and location of hidden defects of PFH.

The difference between the calculated and experimental results of determining the dependence of the change in the angle of twisting of the hose on the length of the defect, both on a basis and on the corner, is from 6.2% to 14.2%. It means that the adequacy of the mathematical model is proved and, accordingly, the admissibility of the assumptions made while its creation.

It is determined that even with a significant increase or decrease of the corresponding modulus of elasticity, only quantities of the investigated values are changed, in particular, the angle of twist of a hose, but their qualitative character remains unchanged. That is, the possibility of an experimental determination of the presence of hidden defects in hoses with arbitrary elastic characteristics, independently from their type and status.

The use of the proposed method has increased the reliability of the test results of pressure fire hoses by 12% compared to the standard hydraulic tests, proving the feasibility and effectiveness of this method.

The scientific novelty of the results obtained is as follows:

- the level of loading in pressure fire hoses in conditions of their exploitation during fire was investigated for the first time;
- the influence of the presence of hidden defects on the mechanical properties of pressure hoses quantitatively estimated for the first time
- a method that allows to determine the presence and location of hidden defects in pressure hoses has been proposed for the first time and a device for its implementation has been developed.;
- reliability of test results to detect defects in pressure fire hoses increased.

The practical significance of the results obtained is as follows: a method for the diagnosis of pressure hoses has been developed to determine the presence of hidden defects in them, an appropriate device has been created, a set of proper equipment has been selected, and recommendations for its use for the diagnosis of PFH have been formulated.

The presented method of testing of pressure hoses and a device for its implementation, issued in the form of a patent of Ukraine to the utility model.

Numerous process models occurring in pressure fire hoses, methods and means of diagnosing their technical condition are used in the educational process of National University of Civil Defense of Ukraine in the teaching of disciplines "Fundamentals of designing and constructing fire - technical and special means"

and "Engineering and emergency rescue equipment", and the proposed method of PFH testing to determine whether there are hidden or unnoticed defects in them is introduced for practical use in Ukrainian Scientific and Research Institute of Civil Protection.

Key words: pressure fire hoses, tests, defects, elasticity module, twist angle, fire-engineering equipment, rescue fire squads.

Список публікацій здобувача

Статті у міжнародних фахових виданнях

1. Коханенко В.Б. К вопросу надежности пожарных рукавов / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко, А.Н. Ларин, В.В. Ефименко // Вестник Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан № 4 (12) – Кокшетау: КТИ МЧС РК, 2013. – С. 42-46.

2. Ларин А.Н. Определение поперечной жёсткости пожарных рукавов диаметром 51 мм / А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Чрезвычайные ситуации: Образование и наука: междунар. науч.-практ. журнал. – Гомель, ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2016, ТОМ 11, № 1. – С. 22-26.

3. Larin A.N. Definition of elastic properties of fire hoses of type "T" with a diameter of 51 mm under torsion / A.N. Larin, G.A. Chernobay, S.Y. Nazarenko, V.A. Lipovoy // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. – Warszawa, Polska, №8 2016 część 7. – P. 90-94.

Статті у наукових фахових виданнях

4. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2014. – Вып. 35. – С. 133-138.

5. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості рукавів з внутрішнім діаметром 51 мм, якими оснащуються пожежні потяги /

О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2014. – № 37. – С. 151-156.

6. Назаренко С.Ю. Визначення механічних властивостей пожежного рукава типу "Т" діаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко // Проблемы пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2014. – Вып. 36. – С. 174-179.

7. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу "Т" з внутрішнім діаметром 51 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Проблемы пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2015. – Вып. 37. – С. 135-141.

8. 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: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2016. – Вып. 40. – С. 129-133.

9. Назаренко С.Ю. Експериментальне визначення кута закручування напірного пожежного рукава, що має дефект / С.Ю. Назаренко, О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.А. Виноградов // Проблемы пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2017. – Вып. 41. – С. 117-123.

10. 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 ХП «Новітні рішення в сучасних технологіях». – Х., 2015. – № 39 (1148). – С. 41-46.

Матеріали науково-технічних конференцій

11. Коханенко В.Б. К вопросу эксплуатации пожарных напорных рукавов / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко // Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): збірник матеріалів

Всеукраїнської науково-практичної конференції. Частина 1, – Х.: НУЦЗУ 2014. – С. 149-150.

12. Ларін О.М. Планування проведення експерименту на визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – С. 127-129.

13. Ларин А.Н. Определение продольной жесткости пожарного рукава диаметром 77 мм / А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Материалы V Международной науч.-практ. конф. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2014. – С. 368-372.

14. Коханенко В.Б. Дослідження механічних властивостей армуючого каркасу пожежного рукава діаметром 77 мм / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 81-83.

15. Назаренко С.Ю. Планирование проведения эксперимента на определение поперечной жесткости пожарного рукава типа «Т» диаметром 51 мм. / С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) "Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы" – Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2015. – С. 122-123.

16. Назаренко С.Ю. Планирование эксперимента на определение упругих свойств пожарного рукава типа «Т» диаметром 51 мм при кручении / С.Ю. Назаренко // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации :

материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 19–20 мая 2016 г. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – С. 243-244.

17. Назаренко С.Ю. Исследование продольной жесткости внутреннего резинового шара пожарных рукавов диаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко, Г.А. Чернобай // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) "Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы" – Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2016. – С. 150-152.

18. Чернобай Г.О. Визначення модулю пружності при крученні пожежного рукава типу «Т» діаметром 51 мм з внутрішньому тиску 0,2 МПа / Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // VII Міжнар. наук-практ. конф. «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»: матеріали конференції. – Черкаси: ЧПБ, 2016. – С. 186-189.

19. Чернобай Г.О. Визначення жорсткості в повздовжньому напрямку пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм // Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Міжнар. наук-практ. конф. «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації.» – Львів, ЛДУ БЖД, 2016. – С. 462-464.

20. Chernobay G. Planning of carrying out experiment on determination of longitudinal rigidity of a fire hose of the type "t" in diameter of 51 mm / G. Chernobay, S. Nazarenko // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы. – Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан», 2017. – С. 215-217.

Патенти

21. Пат. 102364 Україна, МПК (2015.01) F15B 19/00. Спосіб випробування напірних пожежних рукавів / О.М. Ларін, С.А. Виноградов, В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко, Г.О. Чернобай, заявник та патентовласник

Національний університет цивільного захисту України. - № u201504252, заяв. 30.04.2015; опубл. 26.10.2015, бюл. № 20.

22. Пат. 108407 Україна, МПК (2016.01) F15B 19/00. Спосіб випробування пожежних напірних рукавів / С.А. Виноградов, С.В. Васильєв, С.Ю. Назаренко, О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, А.Я. Калиновський, О.О. Ларін, заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201601226, заяв. 12.02.2016; опубл. 11.07.2016, бюл. № 3.

ВСТУП	26
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ НАПІРНИХ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ.....	33
1.1. Аналіз конструкцій пожежних рукавів.....	33
1.2. Особливості експлуатації напірних пожежних рукавів, які впливають на надійність та безпеку їх використання	35
1.3. Аналіз видів дефектів та їх дислокації в пожежних рукавах	36
1.4. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень напірних пожежних рукавів	38
1.5. Аналіз систем діагностування технічного стану напірних пожежних рукавів	42
1.5.1. Методи визначення працездатності напірних пожежних рукавів	42
1.5.2. Апаратура для оцінювання працездатності напірних пожежних рукавів	43
1.6. Теоретичні засади дослідження напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів методом скінчених елементів	44
1.7. Висновки по першому розділу	50
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ	52
2.1. Розробка моделі напірного пожежного рукава.....	52
2.2. Постановка задачі визначення характеристик деформування пожежних рукавів методом скінчених елементів.....	53
2.3. Побудова розрахункової скінченно-елементної моделі	54
2.4. Розрахункове дослідження впливу розмірів дефекту на кут закручування напірних пожежних рукавів.....	64

2.5. Висновки по другому розділу	67
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ	69
3.1. Визначення навантажень, що діють на напірні пожежні рукави в експлуатації	69
3.2. Визначення фізико-механічних властивостей пожежних рукавів для розрахункового дослідження їх напружено-деформованого стану.....	72
3.2.1. Визначення модуля пружності матеріалу напірних пожежних рукавів при розтяганні у поздовжньому (вздовж основи) напрямку	72
3.2.2. Визначення модуля пружності матеріалу напірних пожежних рукавів при розтяганні у поперечному (вздовж утка) напрямку	79
3.2.3. Визначення модуля пружності матеріалу напірних пожежних рукавів при зсуві з випробувань на кручення	85
3.2.4. Аналіз результатів випробувань та розрахунок пружних властивостей матеріалів напірних пожежних рукавів	99
3.3. Експериментальні дослідження впливу розмірів дефекту на кут закручування напірних пожежних рукавів.....	101
3.3.1. Розробка обладнання та методики проведення експериментальних досліджень напірних пожежних рукавів.....	101
3.3.1.1. Розробка дослідного зразка установки для випробувань напірних пожежних рукавів	101
3.3.1.2. Розробка методики дослідження впливу розмірів дефекту на зміну кута закручування напірних пожежних рукавів.....	103
3.3.2. Результати експериментального дослідження впливу розмірів дефекту на зміну кута закручування напірних пожежних рукавів.....	105
3.4. Перевірка адекватності математичної моделі результатами експериментальних досліджень	114

3.5. Висновки по третьому розділу	117
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ.....	119
4.1. Розробка пропозицій для випробувань напірних пожежних рукавів і пошуку місця розташування дефекту із застосуванням розробленої установки	119
4.1.1. Методика діагностування прихованих дефектів у напірних пожежних рукавах.....	122
4.1.2. Методика визначення місця розташування дефектів в напірних пожежних рукавах.....	122
4.2. Перевірка можливості використання запропонованого способу визначення працездатності пожежних рукавів	123
4.2.1. Визначення пружних властивостей матеріалів деякої вибірки основних напірних пожежних рукавів.....	123
4.2.2. Розрахункове дослідження впливу розмірів дефекту на кут закручування деякої вибірки основних типів напірних пожежних рукавів	129
4.3. Визначення ефективності запропонованого методу випробувань напірних пожежних рукавів.....	131
4.4. Висновки по четвертому розділу	134
ВИСНОВКИ.....	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	138
ДОДАТКИ.....	155
Додаток А.....	156
Додаток Б	158
Додаток В.....	160
Додаток Г	163

Додаток Д.....	166
Додаток Е.....	168
Додаток Ж.....	173

ВСТУП

Актуальність теми. Аналіз статистичних даних за останні роки [10-14] свідчить про те, що в Україні в середньому щодня виникало близько 200 пожеж, при цьому майже 5 осіб гинуть та стільки ж зазнають травмування, а матеріальні збитки від них в середньому досягають 14 мільйонів гривень. За статистичними даними не спостерігається тенденції до зменшення як кількості загиблих та травмованих на пожежах, так і матеріальних збитків від них, що свідчить про необхідність створення відповідних умов для більш ефективної роботи оперативно-тактичних підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України.

Серед важливих чинників, що забезпечують ефективність дій пожежно-рятувальних підрозділів при ліквідації пожеж, чільне місце займає не тільки якісне оснащення сучасними технічними засобами, але й надійність та безвідмовність штатних зразків пожежно-технічного обладнання і, в першу чергу, складових елементів систем подачі вогнегасних засобів до осередку пожежі, до яких безпосередньо відносяться й напірні пожежні рукави (НПР).

Теоретичними та експериментальними методами випробування пожежно-технічного оснащення присвячено багато робіт, серед яких слід відмітити роботи Гуліди Е.М. [24, 25], Безбородька М.Д. [17, 18], Ковалишина В.В. [40, 41, 42], Ларіна О.М. [120]. Дослідженням гнучких трубопроводів і НПР, зокрема, присвячені роботи Бідермана В.Л. [20], Степанова О.С. [90], Пурдика В.П. [84, 85], Муляра Ю.І. [63–65], Дусанюк Ж.П. [31, 32] та ін.

Напірні пожежні рукави являють собою гнучкі трубопроводи, які використовуються для подачі води та водних розчинів піноутворювачів на відстань під тиском [19, 33] і є одним із основних видів протипожежного обладнання [34, 35, 102], від справного стану яких залежить оперативна діяльність пожежно-рятувальних підрозділів та успішне гасіння пожеж.

Згідно [72], рукави весь час знаходяться на пожежному автомобілі, який виїздить не лише на пожежі, але й на хибні виклики, на навчання, на відпрацювання оперативного розгортання на підпорядкованих об'єктах тощо.

Отже, НПР перебувають весь час під впливом зовнішніх факторів, зокрема, вібрацій при русі автомобіля та від роботи його агрегатів, дії атмосферних чинників, внутрішнього тиску води та обставин бойової роботи, які спричиняють стирання чохла рукава, гниття в рукавах з природних матеріалів, обумовлюють появу дефектів різного характеру тощо.

Аналіз причин виходу з ладу напірних пожежних рукавів показав [73], що з усіх відмов більше 60 % є свищі, розриви і зриви головок, відповідно 30 % та 10 %.

Надійність НПР забезпечується лише їх періодичними (один раз на рік, або після ремонту рукава) гідравлічними випробуваннями, що не забезпечує своєчасного визначення прихованих дефектів в рукавах.

Аналізом, проведеним за наслідками дослідження наявності та характеру дефектів при проведенні штатних випробувань робочих та на виведених з експлуатації пожежних рукавах, визначено, що дефекти поділяються на:

- явні (пориви та свищі), які порушують герметичність рукава;
- видимі порізи, потертості, пропали та хімічна корозія від забруднення паливно-мастильними матеріалами, які не порушують герметичності рукава;
- приховані (непомічені порізи, розриви ниток силового каркасу тощо), які не порушують герметичності рукава.

Дослідження показало, що лише 75 % дефектів виявляються в ході гідравлічних випробувань [73], а невиявлена частина дефектів призводить до відмов рукавів на пожежі.

Тому задача розробки способу і створення технічних засобів випробування та діагностування пожежних напірних рукавів, що

забезпечують їх експлуатаційну надійність за рахунок пошуку прихованих дефектів, є актуальною і має практичну значимість.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження проводилися в рамках виконання Програми забезпечення пожежної безпеки (постанова Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 року № 870), а також Концепції Державної цільової програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 р. № 2348-р) та згідно з програмою науково-дослідної роботи за темою “Розробка методики діагностування та прогнозування залишкового ресурсу напірних пожежних рукавів” (№ ДР 0115 U002032), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета роботи полягає в підвищенні достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів за рахунок визначення їх механічних властивостей за наявності прихованих дефектів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- провести аналіз особливостей експлуатації напірних пожежних рукавів, проаналізувати причини їх передчасного виходу з ладу та визначити найбільш характерні пошкодження, а також проаналізувати недоліки нормативного методу гідравлічного випробування;

- розробити розрахункову модель напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів та виконати чисельне моделювання щодо впливу наявності прихованих дефектів на особливості деформування рукавів;

- провести експериментальне визначення механічних властивостей матеріалу напірних пожежних рукавів та визначення навантажень, що діють на них під час експлуатації, а також виконати чисельний експеримент для встановлення характерних показників, таких, що вказують на наявність дефектів;

- на основі проведених досліджень визначити параметри діагностування пошкодження рукавів та оцінити вплив наявності дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів;

- розробити методика та обладнання для діагностування прихованих дефектів НПР, провести впровадження відповідного устаткування і методичних рекомендацій щодо їх використання;

- оцінити переваги запропонованого методу випробування напірних пожежних рукавів.

Об'єкт дослідження: вплив прихованих дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів.

Предмет дослідження: характеристики напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів при наявності прихованих дефектів.

Методи дослідження. Для досягнення мети і розв'язання поставлених завдань були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень: чисельний аналіз деформованого стану напірних пожежних рукавів, який базувався на використанні методу скінченних елементів із застосуванням сучасних програмних комплексів; регресійний аналіз; експериментальні методи визначення механічних властивостей матеріалів НПР. Натурні дослідження деформацій напірних пожежних рукавів базувалися на повнофакторному експерименті із статистичним аналізом отриманих даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше досліджено рівень навантажень у напірних пожежних рукавах в умовах їх експлуатації на пожежі;

- вперше кількісно оцінено вплив наявності прихованих дефектів на механічні властивості напірних пожежних рукавів;

- вперше запропоновано спосіб, який дозволяє визначати наявність та місцезнаходження прихованих дефектів в напірних пожежних рукавах та розроблено пристрій для його реалізації;

- підвищена достовірність результатів випробувань з виявлення дефектів у напірних пожежних рукавах.

Практичне значення: розроблено методику діагностування напірних пожежних рукавів для визначення наявності в них прихованих дефектів, створено відповідний пристрій, підібрано комплект належного обладнання та сформульовано рекомендації з використання установки для діагностування НПР.

Представлений спосіб випробування напірних пожежних рукавів та пристрій для його здійснення оформлено у вигляді патенту України на корисну модель (Пат. № 108407).

Моделі процесів, що відбуваються в напірних пожежних рукавах, методика та засоби діагностування технічного стану рукавів використовуються в навчальному процесі НУЦЗ України під час викладання дисциплін: «Основи проектування та конструювання пожежно-технічних і спеціальних засобів» та «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка» (акт впровадження від 12 грудня 2016 року), а запропонований метод випробування НПР для визначення наявності в них прихованих або непомічених дефектів впроваджено для практичного використання в УкрНДЦЗ (акт впровадження від 16 лютого 2017 року).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною роботою автора. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному:

- в роботах [45, 46] опубліковано результати проведеного автором аналізу конструкцій рукавів, особливості їх використання, методів випробувань та можливих причин передчасного виходу з експлуатації;

- в роботах [50, 53, 98, 109] відображено результати проведеного здобувачем експериментального визначення механічних властивостей матеріалів НПР діаметром 51 мм під час розтягання в поздовжньому та поперечному напрямках [48, 69] і під час кручення [99, 119];

- в роботах [44, 49, 51, 52, 55, 68] опубліковано результати проведених автором експериментальних досліджень з визначення механічних властивостей матеріалів НПР діаметром 77 мм під час розтягання в поздовжньому та [54] поперечному напрямках;

- в роботах [75, 80] відображено створення здобувачем необхідного устаткування та запропоновано спосіб випробування НПР і рекомендації щодо застосування цього устаткування;

- результати проведених автором експериментальних досліджень деформації напірних пожежних рукавів з дефектом наведено в роботі [67].

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи оприлюднено, висвітлено та обговорено на:

- науково-технічних семінарах НУЦЗ України (м. Харків, 2013–2016);
 - міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (НУЦЗУ, м. Харків, 2–3 жовтня 2014);

- міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, м. Черкаси, 19–20 травня 2016 р.);

- міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (ЛДУ БЖД, м. Львів, 20-21 жовтня 2016 р.);

- 9-й та 10-й міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених, курсантів (студентів), слухачів магістратури та ад'юнктів «Забезпечення безпеки життєдіяльності: проблеми і перспективи» (КП МНС Республіки Білорусь, м. Мінськ, 2015–2016 рр.);

- міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації» (ГП МНС Республіки Білорусь, м. Гомель, 19–20 травня 2016 р.);

- міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (КТІ КНС МВС Республіки Казахстан, м. Кокшетау, 17 березня 2017 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 наукових праці, з яких 7 статей у наукових фахових виданнях України, 3 публікації у закордонних виданнях, 10 тез доповідей на конференціях, 2 патенти України на корисну модель.

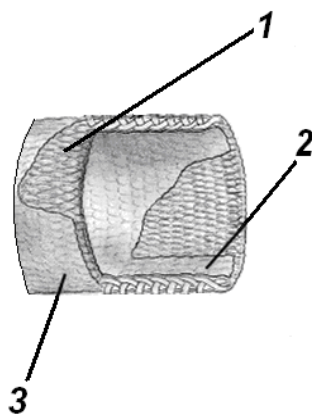
Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 174 сторінки машинописного тексту і включає: основну частину обсягом 111 сторінок, у тому числі: 67 ілюстрацій, 25 таблиць та список використаних джерел зі 128 найменувань. Дисертаційна робота включає 7 додатків, розміщених на 19 сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ НАПІРНИХ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

1.1. Аналіз конструкцій пожежних рукавів

Відповідно до [83] пожежний рукав – це гнучкий трубопровід, який обладнано на кінцях з'єднувальними головками і призначений для транспортування вогнегасних речовин. Згідно з [83] є такі види пожежних рукавів: напірні рукава (в країнах Євросоюзу вони класифікуються як плоскоскладені [116, 117]), всмоктувальні рукава [93], напірно-всмоктувальні рукава [93].

Серед технічних засобів, що призначені для подавання вогнегасних речовин до осередку пожежі, визначальну роль відіграють напірні пожежні рукави (НПР). Конструкція НПР складається [76, 77, 122-124] (рис. 1.1) із силового каркасу (ткацького чохла) (1) [78, 79], внутрішнього пружного гідроізоляційного шару (2) та зовнішнього захисного просочування або пружного покриття (3) [125], яке може бути багат шаровим [126].



- 1 - силовий каркас;
- 2 - герметизуючий шар;
- 3 - захисне покриття.

Рис. 1.1. Схема конструкції напірного пожежного рукава

Загальні вимоги до виробництва, експлуатації та методів випробувань напірних пожежних рукавів встановлюються ДСТУ 3810-98 [81].

Пожежні рукава повинні бути герметичними при робочому та випробувальному гідравлічному тиску, зусилля від якого сприймає безшовний текстильний (тканино-в'язаний) трубчастий силовий каркас, що може виготовлятися із натуральної (льон), синтетичної (капрон, лавсан) або змішаної сировини і складається із ниток основи і утка. Нитки основи йдуть вздовж рукава, утка – перпендикулярно до них. Зважаючи на те, що рівень силового навантаження на каркас за утком вищий ніж за основою, для ниток утка використовується більш міцний матеріал, ніж для ниток основи. Для герметичності рукавів із капронової або лавсанової пряжі їх внутрішню поверхню покривають вулканізованою гумою або латексом.

В залежності від сфери застосування НПР поділяються на типи (табл. 1.1). В таблиці 1.2. наведені деякі нормативні параметри та розміри найбільш вживаних рукавів.

Таблиця 1.1

Типи та сфера застосування НПР [81]

Тип рукава	Сфера застосування
Т	Оснащення пожежних автомобілів, мотопомп та зовнішніх пожежних кран-комплектів
К	Оснащення внутрішніх пожежних кран-комплектів
ВТ	Оснащення пожежних автомобілів і мотопомп, обладнаних насосами високого тиску
Л	Оснащення пожежних транспортних засобів, призначених для гасіння лісових пожеж

Таблиця 1.2

Нормативні параметри та розміри НПР [81]

Тип рукава	Т	К
	Номінальне значення	
1. Внутрішній діаметр, мм	51,0	51,0
	77,0	-
2. Довжина рукава, м	20	20
3. Робочий тиск, МПа	1,6	1,0
4. Випробувальний тиск, МПа	2,4	1,5
5. Розривний тиск, МПа	4,0	2,5

Складна технологія виробництва і висока собівартість продукції обумовлює невелику кількість підприємств, що виготовляють якісні НПР.

В Україні єдиним виробником НПР є група компаній «Набат», що володіє правами на унікальну виробничу технологію, внаслідок якої вітчизняні НПР (рис. 1.2 а) мають меншу масу, не вимагають перекантовування, сушіння, талькування та мають підвищену зносостійкість.



а



б

Рис. 1.2. Напірні пожежні рукави різних виробників

В Європі відомим виробником НПР є фірма BEZALIN (ПНР), рукава якої експортуються в усі країни Євросоюзу, Україну, Росію, Білорусь. Силовий каркас рукавів фірми BEZALIN (рис. 1.2. б) виготовляється з високоякісної та міцної поліефірної нитки, гідроізоляційний шар - із поліуретану. Рукави мають підвищену стійкість до абразивного стирання.

1.2. Особливості експлуатації напірних пожежних рукавів, які впливають на надійність та безпеку їх використання

Організація експлуатації пожежних рукавів у гарнізонах оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України проводиться за децентралізованою або централізованою системами [71].

Децентралізована система експлуатації рукавів передбачає проведення в кожному окремому пожежно-рятувальному підрозділі технічного обслуговування, обліку, ремонту та зберігання ще двох комплектів рукавів,

один з яких знаходиться в резерві, а другий - в обслуговуванні [22]. Таким чином, в підрозділах експлуатуються три комплекти напірних пожежних рукавів. Недоліком даної системи є те, що в кожному підрозділі ДСНС України треба мати комплект відповідного технічного обладнання, та можливість зберігання додаткових комплектів рукавів [36, 102].

Централізована система експлуатації рукавів передбачає створення рукавних баз (постів) для проведення робіт з обслуговування, ремонту та зберігання рукавів.

Придатність до використання пожежних рукавів безпосередньо залежить від своєчасного та якісного їх технічного обслуговування, яке проводиться на спеціальному обладнанні [30].

Технічне обслуговування (ТО) - це комплекс профілактичних заходів, що проводяться з метою підтримання оперативної готовності рукавів і забезпечення їх безвідмовного використання за призначенням.

ТО включає в себе декілька технологічних операцій, а саме: відмочування (відтаювання), миття, випробування, сушіння, згортання у скатку та перекантювання [71] (для напірних пожежних рукавів) і (при необхідності) ремонт пошкоджень, які отримують НПП під час експлуатації.

1.3. Аналіз видів дефектів та їх дислокації в пожежних рукавах

Виникнення дефектів армуючого каркасу може бути пов'язане як з порушеннями технологічної дисципліни в процесі виготовлення, так і з впливом зовнішніх факторів, наприклад, тертя при транспортуванні, або недотримання нормативних вимог при роботі на пожежі [38].

Вид та значущість дефекту впливає як на прогноз подальшого використання рукава, так і на вибір (при можливості) способу ремонту.

Незважаючи на те, що нормативні документи вимагають прокладати рукавні лінії оперативно, але обережно і акуратно, не протягувати їх по

асфальту, бетону, по гострих предметах та по предметах що горять, берегти рукава від попадання на них хімічно активних речовин та паливо-мастильних матеріалів, при бойовій роботі в умовах жорстких часових обмежень трапляються випадки порушень правил експлуатації НПР і, відповідно, їх пошкодження.

Практика експлуатації напірних рукавів показала, що їх руйнування практично завжди відбувається на технологічній складці [73].

В роботах [6-8] було проведено дослідження відмов насосно-рукавних систем при гасінні великих пожеж в умовах низьких температур.

Дефекти певним чином розподіляються по довжині рукавів [73]. На рис. 1.3 представлена кількість дефектів, таких як перегин, потертість, свищ і розрив, визначених на певних ділянках пожежних рукавів.

Аналіз показує [73], що найчастіше дефекти виникають біля з'єднувальних головок, а найрідше - в центрі рукава.

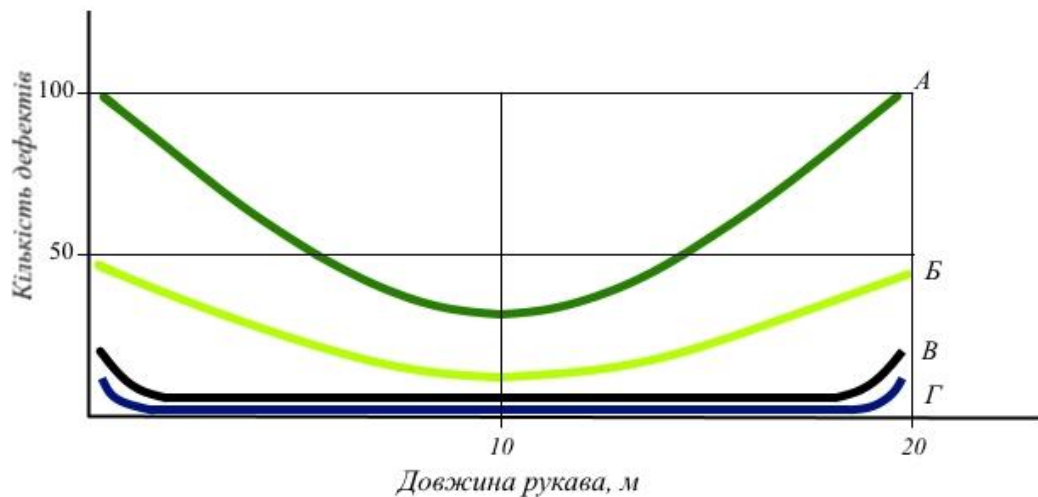


Рис. 1.3. Розподіл місць утворення перегинів (А), потертостей (Б), свищів (В) і розривів (Г) по довжині рукавів

У роботі [73] представлені результати випробувань нових НПР на розрив під тиском 1,6 МПа після пробігу пожежної автоцистерни 5700 км в пеналах з різних матеріалів. Зроблено висновок, що вибором матеріалу для решіток пеналу можна значно підвищити термін експлуатації НПР.

Основними причинами виходу НПР з експлуатації є [73]: пориви рукавів внаслідок різкого підняття тиску в рукавній лінії при подачі води, утворення свищів на рукавах в процесі прокладки рукавних ліній по асфальтобетонним покриттям в місці з'єднання рукава з напівгайкою, утворення свищів в результаті проколів рукавів під час прокладання через паркани, дротяні загородження без використання рукавних колін, порізи рукавів уламками скла при видаленні скління з поверхів при гасінні пожеж, пориви рукавів в результаті наїзду на них автотранспортних засобів при прокладці магістральних ліній через проїжджу частину без використання рукавних містків, або внаслідок їх недосконалої конструкції, пориви рукавів у випадку руху пожежного автомобіля з приєднаними рукавними лініями, пропали рукавів від дії високих температур, або полум'я при гасінні пожеж, потрапляння на рукав паливно-мастильних матеріалів, які можуть призвести до руйнування внутрішнього герметизуючого гумового шару, виходу з ладу рукавів внаслідок недотримання умов експлуатації в зимовий період.

1.4. Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень напірних пожежних рукавів

Пожежним рукавам, як одному із важливих видів пожежного обладнання, приділена велика кількість наукових праць.

Зокрема, в монографії Р.Г. Лящука [58] наводяться основні відомості про типи і конструкції пожежних рукавів, технологію їх виробництва, умови зберігання, експлуатації та ремонту. Автором відзначається, що НПР, поряд з пожежними насосами та іншим устаткуванням, є одним із основних видів пожежного обладнання і від їх справного стану багато в чому залежить готовність підрозділів до дій за призначенням. Автор зазначає, що амортизаційні витрати по експлуатації рукавного господарства в більшості випадків перевищують витрати на всі інші види пожежного обладнання.

Дослідженням властивостей НПР та пошуку шляхів вдосконалення їх експлуатації присвячена робота Нгуен Ван Тху [73]. В роботі, зокрема, проведено аналіз причин виходу з ладу напірних пожежних рукавів, експериментально встановлені коефіцієнти тертя матеріалів НПР як з синтетичних, так і з натуральних волокон, доведено, що коефіцієнти тертя збільшуються при зволоженні матеріалу рукавів і розроблена методика зниження тертя. Наслідком роботи стало обґрунтування шляхів вдосконалення експлуатації рукавів: зменшення кількості НПР на пожежному автомобілі, застосування в відсіках матеріалів з високими антифрикційними властивостями.

В роботі [60] була проведена обробка статистичних даних по виїздах підрозділів ДСНС у західному регіоні України та зафіксовано 20% випадків виходу з ладу пожежно-технічного обладнання різного характеру та складності. Серед них майже 75% подій сталося по технічним проблемам із насосною установкою та рукавами, де майже половина - це проблеми безпосередньо пов'язані з напірними пожежними рукавами.

В [17, 18, 86, 91] розглянуті, крім інших, питання, пов'язані з особливостями експлуатації пожежних рукавів, їх технічного обслуговування, ремонту, зберігання і обліку. Автори відзначають, що при експлуатації пожежні рукави піддаються механічному зносу, дії сонячних променів, мікробіологічними гнильним процесам, випадковому потраплянню на них хімічно активних речовин, впливу низьких і високих температур, незворотнім процесам старіння матеріалу.

Аналіз матеріалів несучих оболонок (силових каркасів) як прогумованих, так і латексних напірних пожежних рукавів показав, що всі вони є одношаровими трубчатими тканинами полотняного переплетення. По колу пожежного рукава розташовуються уточні нитки, які взаємно переплетені з нитками основи, прокладеними по довжині пожежного рукава. При цьому міцність ткані несучої оболонки визначається в основному

міцністю уточних ниток. Вказане робить прийнятним використання напрацювань С.Д. Пономарева по теорії розрахунку резино-кордних та обплітальних рукавів [82].

При розрахунку на міцність пневматичних шин В.Л. Бідерман вводить припущення, що оскільки гума має істотно меншу жорсткість, ніж нитки корду, можна вважати, що все навантаження сприймається тільки нитками [20]. З огляду на те, що товщини прогумованих або латексних шарів пожежного рукава малі і значно менші ніж товщина шарів гуми в пневматичних шинах, а нитки ткані несучої оболонки пожежних рукавів не поступаються за міцністю ниткам корду шин, то слушно прийняти аналогічне припущення, а саме, що все навантаження від гідравлічного тиску всередині рукава сприймається тільки нитками ткані несучої оболонки.

В роботі О.С. Степанова [90] доведено, що розривний тиск пожежного рукава прямо пропорційний розривному зусиллю уточних ниток і обернено пропорційний радіусу пожежного рукава при постійності інших його параметрів. Тобто зі збільшенням радіусу пожежного рукава його розривний тиск зменшується. Автором розроблена методика раціонального проектування НПР, визначено доцільні параметри ткані несучої оболонки.

Обмежена кількість робіт присвячених теоретичним та експериментальним дослідженням НПР та технології їх виготовлення обумовлена складністю як структури НПР, так і процесів, що відбуваються при їх експлуатації, зокрема, впливу турбулентності потоку рідини, яка спричиняється, зокрема, неоднорідністю поверхні внутрішніх стінок рукавів, що суттєво впливає на їх гідравлічний опір.

В роботі З.Б. Хоанг [96] отримано експериментальні дані по гідравлічному опору напірних пожежних рукавів при перебігу води та запропоновано використання гелю (на основі технічного поліакріламіда з торговою маркою «Праестол 2515») для зниження гідравлічного опору.

Складність вивчення гідравлічного опору пов'язана ще і з тим, що під тиском води, що протікає по рукаву, відбувається його деформація, тобто збільшення його діаметра і довжини. У зв'язку з цим М.В. Алешковим [9] були проведенні відповідні випробування, що використовуються для вирішення тактичних завдань пожежних підрозділів.

Значно більше робіт [3, 4, 26-29, 97, 103-106, 115, 118] присвячено питанням, які пов'язані з методиками розрахунку водопровідних і насосно-рукавних систем, які зводяться до визначення необхідного напору насоса в залежності від витрати води, що подається до місця пожежі, визначенню граничної довжини рукавної системи, розрахункам гідравлічних параметрів пожежних струменів, дослідженню гідравлічного опору та гідравлічного удару в насосно-рукавних системах.

Складність теоретичних досліджень пожежно-технічного оснащення обумовило подальший розвиток експериментальних методів випробувань, яким присвячені роботи В.В. Ковалишина [40-42], Мичко А.А. [61], Ларіна О.М. [120], Абрамова Ю.О. [1, 2].

Особливе місце займає дисертаційна робота Максимова Б.А. [59]. В ній досліджено систему експлуатації пожежних рукавів як єдиного цілого, тобто проведено аналіз характеристик, наявність та особливості використання відповідного технологічного обладнання в пожежних частинах. Результатом роботи став аналіз децентралізованої системи експлуатації НІР, що дозволило обґрунтувати необхідність її вдосконалення шляхом централізації.

Теоретичним та експериментальним дослідженням гнучких трубопроводів присвячені роботи В.П. Пурдика [84, 85, 127], Ю.І. Муляра [63-65], Ж.П. Дусанюк [31, 32] та ін.

Таким чином, можна зробити висновок, що всі розглянуті роботи мають фундаментальне значення для технологічного удосконалення НІР та засад їх експлуатації, але не зважаючи на це, можна констатувати, що теоретичних і експериментальних робіт з дослідження напірних пожежних

рукавів, визначення їх характеристик та особливостей використання до теперішнього часу виконано небагато, що обумовлено складністю як структури НПР, так і процесів, що відбуваються при їх експлуатації.

1.5. Аналіз систем діагностування технічного стану напірних пожежних рукавів

Надійне і безпечне використання НПР обумовлюється неухильним дотриманням нормативних вимог до їх експлуатації і обслуговування, серед яких чільне місце займають натурні випробування.

1.5.1. Методи визначення працездатності напірних пожежних рукавів

На теперішній час в ДСНС України застосовується метод випробування напірних пожежних рукавів [71] на герметичність за надлишковим тиском.

Випробування рукавів, що знаходяться в експлуатації, проводяться під час планових перевірок не менше одного разу на рік, а також після ремонту. Принципова схема випробування рукавів наведена на рис 1.4.

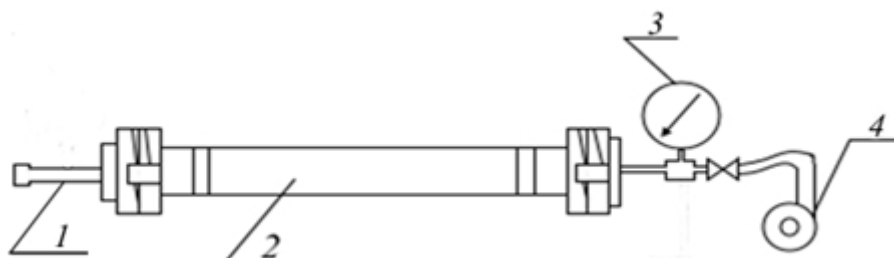


Рис. 1.4. Принципова схема випробування напірних пожежних рукавів:

1 – пожежний ствол; 2 – рукав; 3 – манометр; 4 – насос.

Рукави допускається випробовувати по черзі кожний або у вигляді лінії з декількох рукавів (до п'яти одиниць) одного діаметра та типу [71]. Під час

випробування рукав приєднують до насосу, який підтримує випробувальний тиск, що контролюється манометром. До другого кінця рукава або лінії приєднується пожежний ствол для видалення повітря. Після видалення повітря тиск збільшується до робочого, знижується до нуля, а потім підвищується до випробувального.

На жаль засоби випробувань НІР демонструють недостатню достовірність результатів виявлення дефектів НІР. Тому розробка нових способів визначення їх працездатності та створення технічних засобів випробувань рукавів є задачею актуальною і має практичну значимість.

1.5.2. Апаратура для оцінювання працездатності напірних пожежних рукавів

Напірні рукава випробують на герметичність при дії робочого та випробувального тиску з використанням установки УГВР, яка дозволяє одночасно випробовувати тиском до 2,0 МПа – два рукави діаметром від 25 до 90 мм.

Прикладом використання сучасних розробок є застосування установки УІГР для проведення випробувань НІР на герметичність надлишковим гідравлічним тиском в 2,0 та 4,5 МПа, яка виконана у мобільному варіанті. Установка дозволяє одночасно випробовувати тиском до 2,0 МПа – п'яти, а тиском до 4,5 МПа – одного рукава.

Вказані випробування визначають лише цілісність та герметичність напірних пожежних рукавів і не дають змоги визначити наявність непомічених або прихованих дефектів, які при подальшій експлуатації можуть призвести до розриву. Згідно з [73] ці випробування забезпечують знаходження лише 75% пошкоджень НІР, що приводять до відмов, а решта відмов (25%) відбувається на пожежах, тому задача зменшення останнього показника створить передумови більш успішного гасіння пожеж.

1.6. Теоретичні засади дослідження напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів методом скінчених елементів

В сучасних наукових теоретичних дослідженнях щодо оцінки міцності та ресурсу напірних рукавів зазвичай використовують метод скінчених елементів (МСЕ) [110-114, 121, 128], який надає можливість визначати особливості деформування конструкції, параметри її напружено-деформованого стану (НДС), зокрема і з урахуванням відповідних дефектів. Відповідно до МСЕ [16, 37, 87, 94, 100] в даній роботі проводились (розділ 2) чисельні дослідження статичного деформування НПР.

В рамках лінійної теорії пружності розв'язок задачі знаходиться з мінімізації потенційної енергії деформування [88, 101]:

$$\Pi = \frac{1}{2} \iiint_V \varepsilon^T \sigma \cdot dV - \iint_S u^T F dS \quad (1.1)$$

де Π – потенційна енергія, Дж; $\varepsilon = \{\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zx}\}^T$ – вектор деформації; $\sigma = \{\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}\}^T$ – вектор напружень, Па; $u = u\{u_x, u_y, u_z\}^T$ – вектор переміщень, м; F – вектор зовнішніх поверхневих сил, Н/м².

В типових експлуатаційних умовах відносна деформація складових НПР не перевищує 30%, а загальні значення відносної деформації гумо-кордного композиту (тобто разом із текстильним каркасом) є меншими за 15%. На зазначених рівнях зв'язок між деформаціями та напруженнями відповідає закону Гука, що в загальному виді можна представити так [15, 62, 107]:

$$\sigma = [H]\varepsilon, \quad (1.2)$$

де $[H]$ – матриця пружних характеристик.

НПР має композитну структуру, яка складається з 2-3 шарів гуми та кордного каркасу i , відповідно, має різнонаправленість пружних властивостей, тобто є ортотропною.

У цьому випадку в матриці пружних характеристик $[H]$ у рівнянні закону Гука (1.2) має бути 9 незалежних матеріальних констант: 3 модуля Юнга (пружності), 3 коефіцієнта Пуассона та 3 модуля зсуву [57, 88]:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & -\frac{\nu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}. \quad (1.3)$$

де E_1, E_2, E_3 – модулі пружності, Па; G_{12}, G_{23}, G_{31} – модулі зсуву, Па; $\nu_{12}, \nu_{21}, \nu_{13}, \nu_{31}, \nu_{23}, \nu_{32}$ – коефіцієнти Пуассона. У загальному виді існує 6 різних коефіцієнтів Пуассона, проте незалежними з них є лише тільки 3, а решта визначаються з міркувань симетрії пружних властивостей матеріалу та мають задовольняти таким співвідношенням [74, 101]

$$\frac{\nu_{ij}}{E_i} = \frac{\nu_{ji}}{E_j}, \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (1.4)$$

Характеристики ортотропного композитного матеріалу визначаються експериментально.

Наявність неоднорідності матеріалу, тобто його композитна структура моделюється як еквівалентне суцільне середовище з інтегрованими

характеристиками. При наявності дефектів, які порушують суцільність матеріалу, їх враховують явним моделюванням. За таких припущень в лінійній постановці геометричні співвідношення задаються формулами Коши [74, 101]:

$$\varepsilon = [D]u, \quad [D] = \begin{bmatrix} \partial/\partial x & 0 & 0 \\ 0 & \partial/\partial y & 0 \\ 0 & 0 & \partial/\partial z \\ \partial/\partial y & \partial/\partial x & 0 \\ 0 & \partial/\partial z & \partial/\partial y \\ \partial/\partial z & 0 & \partial/\partial x \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

Підстановка (1.5) та (1.2) у вираз для потенційної енергії отримаємо останню як функціонал вектору переміщень:

$$\Pi = \frac{1}{2} \iiint_V u^T [D]^T [H] \cdot [D] \cdot u \cdot dV - \iint_S u^T F dS. \quad (1.6)$$

Відповідно до МСЕ тіло (НПР) розбивається на скінченні елементи із об'ємом V^e . Вираз (1.6) для потенційної енергії виконується для будь якої точки або частини механічної конструкції (системи) тому є справедливим і для кожного окремого скінченного елемента (СЕ). При позначенні приналежності до певного об'єму одного СЕ (верхній індекс e) потенційна енергія СЕ матиме вигляд:

$$\Pi^e = \frac{1}{2} \iiint_{V^e} u^{eT} [D]^T [H] \cdot [D] \cdot u^e \cdot dV^e - \iint_{S^e} u^{eT} F^e dS^e. \quad (1.7)$$

Якщо тіло НПР розбито на достатньо малі СЕ у порівнянні до розмірів в цілому усієї моделі, то в межах визначення кожного окремого СЕ розв'язок

(вектор переміщень) пропонується вважати відомими лінійними функціями координат [16, 107]:

$$u^e(x_1, x_2, x_3) = [N^e(x_1, x_2, x_3)]q^e, \quad (1.8)$$

де q^e – вектор вузлових переміщень СЕ, m ; матриця $[N^e]$ є матрицею лінійних по координатах функції, які є відомими та нормованими до одиниці, а їх конкретні масштабні значення задаються коефіцієнтами, що утворюють вектор q^e та є невідомими до вирішення задачі. Таким чином,

$$\Pi^e = \frac{1}{2} q^{eT} [K^e] q^e - q^{eT} Q^e, \quad (1.9)$$

де $[K^e]$ – матриця жорсткості СЕ, Па; Q^e – вузли навантаження, Н; які задані для конкретного СЕ:

$$[K^e] = \iiint_{V^e} ([N^e])^t [D]^t [H] \cdot [D] \cdot [N^e] dV, \quad Q^e = \iint_{S^e} [N^e]^T F^e dS^e \quad (1.10)$$

Для узагальнення глобальний вектор вузлових переміщень q вводиться в матрицю кінематичних зв'язків (матрицю індексів) $[a^e]$, яка складається з нулів та одиниць і фактично слугує для вибору з глобального вектору вузлових переміщень, який утворено для всіх вузлів моделі лише тих, які належать для окремого СЕ [87, 94]

$$q^e = [a^e]q. \quad (1.11)$$

Потенційна енергія усієї конструкції в цілому складається з суми потенційних енергій, що визначені для кожного окремого СЕ. Враховуючи (1.11) можна отримати вираз для потенційної енергії механічної системи дискретизованої на СЕ [87, 94]

$$\Pi = \sum_{e=1}^N \Pi^e = \frac{1}{2} \mathbf{q}^T [\mathbf{K}] \mathbf{q} - \mathbf{q}^T \mathbf{Q}, \quad (1.12)$$

де $[\mathbf{K}]$ – глобальна матриця жорсткості СЕ моделі, \mathbf{Q} – глобальний вектор вузлових сил.

$$[\mathbf{K}] = \sum_e \left([\mathbf{a}^e] \right)^T [\mathbf{K}^e] \cdot [\mathbf{a}^e], \quad (1.13)$$

$$\mathbf{Q} = \sum_e \left([\mathbf{a}^e] \right)^T \mathbf{Q}^e = \sum_e [\mathbf{a}^e]^T \iint_{S^e} [\mathbf{N}^e]^T \mathbf{F}^e dS^e, \quad (1.14)$$

Відповідно до енергетичного принципу дійсні переміщення механічної системи повинні задавати мінімум її потенційної енергії (1.12)

$$[\mathbf{K}] \mathbf{q} = \mathbf{Q}. \quad (1.15)$$

Система рівнянь (1.15) довізначається кінематичними граничними умовами, які враховуються як рівняння, що накладені безпосередньо на компоненти вектору вузлових переміщень \mathbf{q} .

Поля переміщень, деформацій и напружень визначається із апроксимуючих співвідношень: $\mathbf{u}^e = \mathbf{N}^e \cdot \mathbf{a}^e \cdot \mathbf{q}$, $\boldsymbol{\varepsilon}^e = \mathbf{B}^e \cdot \mathbf{u}^e$, $\boldsymbol{\sigma}^e = \mathbf{H} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}^e$.

При побудові СЕ моделей напірних пожежних рукавів використовуються тривимірні СЕ. В даній роботі використовувались СЕ із 8 (рис. 1.5) вузлами по 3 ступені вільності в кожному з них із лінійною (1.16) апроксимацією переміщень по ребрам елемента [15, 62]

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_x = & \frac{1}{8} (q_1^e (1-s)(1-t)(1-r) + q_2^e (1+s)(1-t)(1-r) + \\ & + q_3^e (1+s)(1+t)(1-r) + q_4^e (1-s)(1+t)(1-r) + \\ & + q_5^e (1-s)(1-t)(1+r) + q_6^e (1+s)(1-t)(1+r) + \\ & + q_7^e (1+s)(1+t)(1+r) + q_8^e (1-s)(1+t)(1+r)), \end{aligned} \quad (1.16)$$

u_y і u_z – аналогічно.

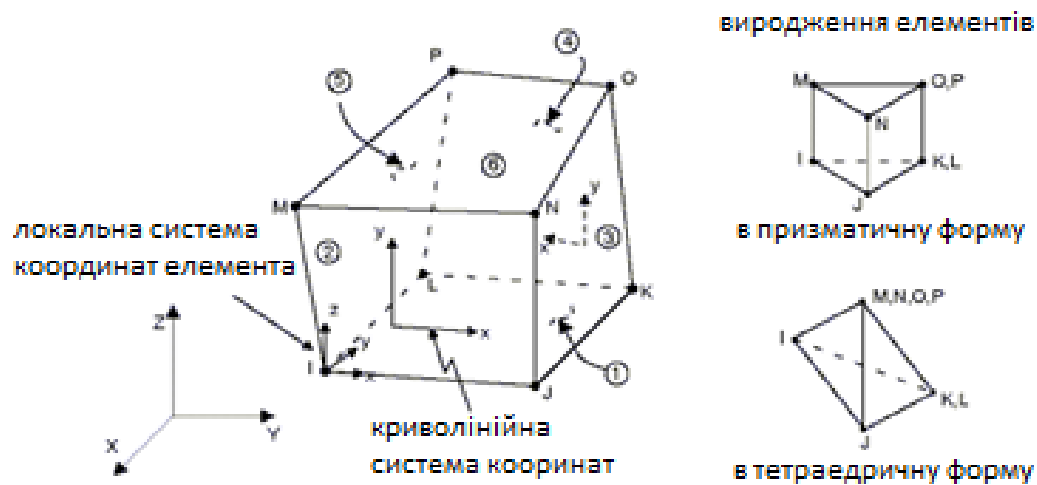


Рис. 1.5. – Тривимірний гексаїдральний 8 вузловий елемент [23, 56]
(XYZ – глобальна, srt - локальна системи координат елемента)

При моделюванні НПР опис властивостей ортотропного матеріалу слід проводити у природній криволінійній системі координат – в циліндричній. Скінченно-елементне формулювання дозволяє для кожного окремого СЕ задати його властивості у власній системі координат. При цьому узагальнені переміщення вузлів в локальній системі координат q_s^e пов'язані з переміщеннями вузлів, що визначені в глобальній декартовій системі координат q^e заданим лінійним перетворенням [37, 94]

$$q^e = [C^e] q_s^e, \quad (1.17)$$

де $[C^e]$ – матриця перетворення локальних координат до глобальних.

Матрицю жорсткості та вектор приведених вузлових сил СЕ, які задані в глобальній системі координат можна легко визначити через відповідні матриці розраховані у локальній системі координат наступним чином:

$$[K^e] = [C^e]^T [K_s^e] \cdot [C^e], \quad Q^e = [C^e]^T Q_s^e, \quad (1.18)$$

де $[K_s^e]$, Q_s^e – відповідно, матриця жорсткості елемента і вектор приведених до вузлів елемента зовнішніх сил, які розраховані в локальній системі координат.

Представлені теоретичні положення МСЕ лежать в основі теоретичних досліджень даної дисертаційної роботи. Конкретна алгоритмічна та програмна реалізація даної теорії не є предметом даного дисертаційного дослідження. Для проведення чисельного моделювання в даній дисертації була використана зазначена вище математична постановка задачі та існуючі програмні продукти інженерного аналізу [15, 62].

1.7. Висновки по першому розділу

Вище зазначене дозволило зробити наступні висновки:

1. Конструкції НПР здебільшого однотипні і складаються із силового тканинного каркасу та внутрішнього пружного гідроізоляційного шару, тому подальші дослідження достатньо провести з найбільш вживаними і характерними рукавами з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм.

2. Найбільш характерними дефектами пожежних рукавів є перегин, потертість, свищ і розрив, кожен з яких можна моделювати розрізом різної глибини, ширини та напрямку.

3. Лише 75% дефектів виявляються в ході випробувань, а решта призводить до відмов рукавів на пожежі, що визначило важливість удосконалення випробувань.

4. Роботи з теоретичних і експериментальних досліджень НПР, які розглянуті в літературному обзорі, мають фундаментальне значення для їх технологічного удосконалення та засад використання, але робіт з визначення експлуатаційних характеристик НПР та особливостей їх експлуатації до

теперішнього часу виконано небагато, що обумовлено складністю як структури НПР, так і процесів, що відбуваються при їх використанні.

5. Технічні засоби випробувань, що знаходяться у пожежно-рятувальних підрозділах, не відповідають сучасному технічному рівню і визначають лише цілісність та герметичність напірних пожежних рукавів і не дають змоги встановити наявність прихованих дефектів.

6. Для теоретичних досліджень оцінки міцності напірних рукавів доцільно використовувати метод скінченних елементів, який надає можливість визначати особливості деформування НПР, параметрів їх напружено-деформованого стану з урахуванням наявності дефекту.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРУ ДІАГНОСТУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ

2.1. Розробка моделі напірного пожежного рукава

Конструкція НПР, складається [81] із безшовного текстильного (тканино-в'язаного) трубчастого силового каркасу, який стовідсотково сприймає зусилля від гідравлічного тиску, та внутрішнього пружного гідроізоляційного шару, що забезпечує герметичність системи, але зовсім не сприймає силового навантаження.

Позаяк зовнішній захисний шар, який уберігає силовий каркас від пошкоджень, зустрічається на обмеженій кількості НПР та практично не впливає на їх працездатність, модель (рис. 2.1) напірного пожежного рукава розглядається як одношарова гнучка циліндрична оболонка, що має внутрішній діаметр d та товщину стінки δ , і знаходиться під дією рівномірно розподіленого внутрішнього навантаження, що спричинене гідравлічним тиском P рідини всередині рукава і котре є постійним, або змінюється за відповідним законом в залежності від задач дослідження.

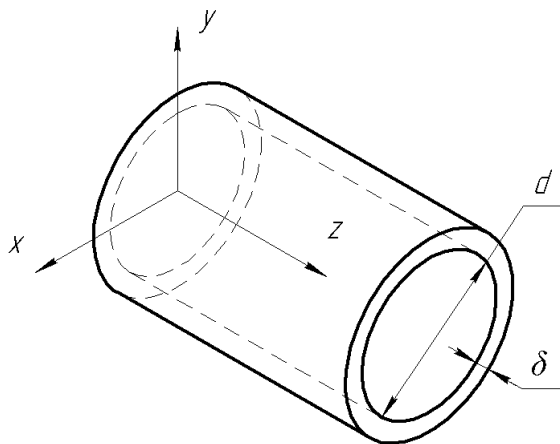


Рис. 2.1. Модель напірного пожежного рукава

На оболонці в залежності від задач дослідження моделюються характерні дефекти різного напрямку та розміру, які, однак, не порушують герметичності системи.

Згідно із моделлю для двох найбільш вживаних типорозмірів пожежних рукавів, які є об'єктом дослідження (типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм), прийняте наступне припущення:

- оскільки рукави типу «Т» мають внутрішній герметизуючий гумовий шар, який щільно з'єднаний із тканинним силовим каркасом з утворенням монолітного композиту, а його товщина та пружність менші ніж тканого каркасу [44, 51, 68] параметр δ моделі дорівнює їх сумарній товщині.

2.2. Постановка задачі визначення характеристик деформування пожежних рукавів методом скінчених елементів

В даній роботі пропонується [45, 46] проводити пошук наявності прихованих дефектів у пожежних напірних рукавах шляхом їх механічних випробувань. Важливою частиною системи діагностики такого типу є визначення параметрів для діагностування та закономірностей зміни зазначених параметрів в залежності від наявності дефекту і його характеристик. Відповідний аналіз чутливості може бути проведений експериментально або шляхом теоретичних розрахунків. Експериментальні дослідження, звичайно, є більш достовірними та дозволяють отримати конкретні кількісні параметри для порівняння з урахуванням практичної точності вимірювальних засобів та реалістичних характеристик дефектів. Разом із тим доцільним є проведення попередньої теоретичної оцінки щодо впливу дефектів на механічну поведінку системи яка досліджується, що дозволить звузити спектр планування експериментів, а також теоретично обґрунтувати доцільність та межі застосування обраних параметрів діагностування.

В якості параметрів діагностування наявності дефектів в напірних пожежних рукавах в даній дисертації розглядається [67] зміна механічного відгуку навантаженого напірного пожежного рукава із дефектами на додатково надані йому деформації. Визначення закономірностей відповідної зміни є основною метою наступних теоретичних досліджень.

Процедура комп'ютерного моделювання у загальному виді виконується в такій послідовності:

- 1) побудова геометричної моделі частини рукава;
- 2) задання фізичних властивостей матеріалів, зокрема ортотропні властивості в циліндричній системі координат;
- 3) побудова сітки скінченних елементів на моделі;
- 4) задання граничних умов, які відповідають умовам механічних тестів у вигляді закріплень і навантажень;
- 5) розрахунки для знаходження деформованого стану рукава.

2.3. Побудова розрахункової скінченно-елементної моделі

В даній роботі було проведено [67] серію чисельних досліджень щодо деформування НПР зокрема із урахуванням наявності дефекту. Дослідження проводились на фрагменті НПР, що має обмеження по краях та посередині у виді накладених кілець з гумовими прокладками. Такі обмеження відповідають умовам закріплення НПР при проведенні їх діагностичних випробувань, що дозволяють надавати їм, зокрема, і додаткових деформацій окрім тих, що викликані дією внутрішнього тиску.

Через необхідність моделювати НПР з урахуванням наявності дефекту, який має локальний об'єм, що є співставним з товщиною рукава, моделювання проводилось на основі тривимірної постановки. Відповідні математичні положення представлені у попередньому розділі. З урахуванням композитної структури НПР моделювання проводилось для тривимірної

конструкції, що має два шари: гумовий з ізотропними властивостями та гумо-кордний з усередненими ортотропними характеристиками, які було визначено експериментально у розділі 3 даної дисертації.

Геометричні розміри та деякі конструктивні особливості внутрішньої будови НПР представлено на рис 2.2.

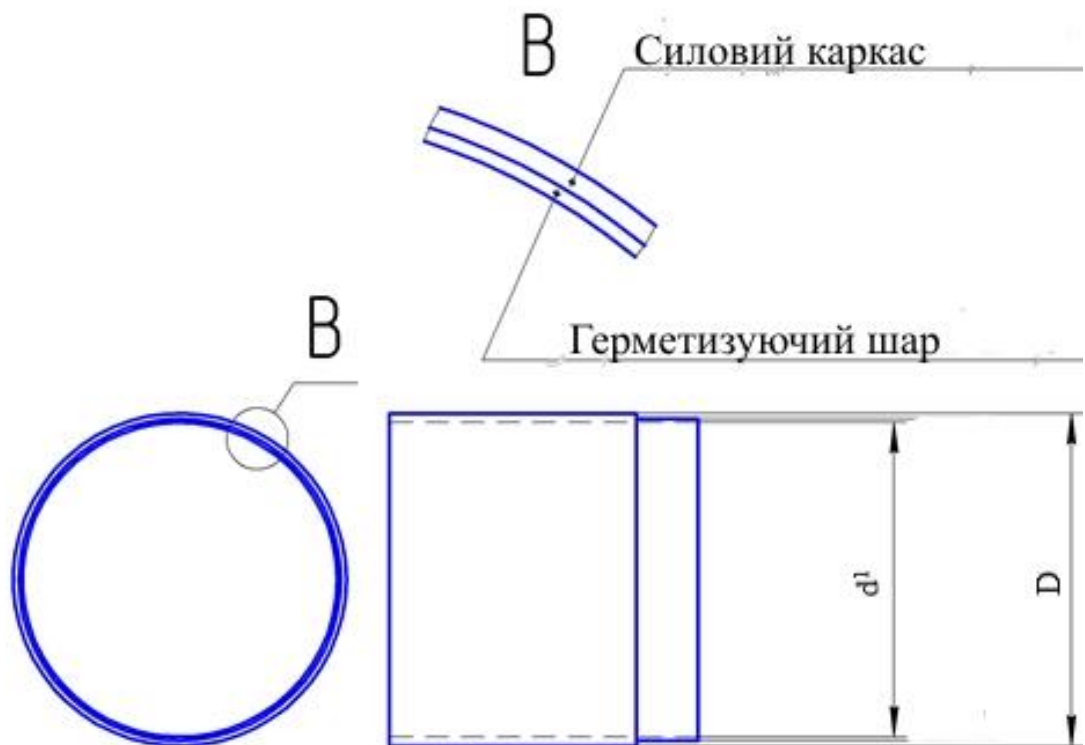


Рис. 2.2. Ескізні креслення НПР

На основі представлених даних було побудовано геометричну та скінченно-елементну моделі. СЕ модель у загальному виді та збільшено у розрізі показано на рис. 2.3. та рис. 2.4.

Для розбиття на скінченні елементи використовувалась регулярна сітка гексагональних 20-ти вузлових елементів, які дозволяють описувати циліндричну геометрію НПР, за виключенням місця пошкодження, де застосовувалось тетрадральне розбиття на 10-ти вузлові елементи. Загальна

кількість елементів без урахування дефекту становила 20000. В залежності від розміру дефекту кількість елементів зростала і становила до 30000.

Граничні умови накладались на поверхні побудованої моделі. Так на 3 поверхні S_{u1} , S_{u2} та S_{u3} , які є зовнішніми поверхнями бандажних гумових накладок та відповідають місцям фіксації НПР в зажимах (хомутах), накладались кінематичні умови: обмеження переміщень вузлів СЕ тобто

$$u_x|_{S_{u1}} = 0; \quad u_x|_{S_{u2}} = 0; \quad u_x|_{S_{u3}} = 0;$$

$$u_y|_{S_{u1}} = 0; \quad u_y|_{S_{u2}} = 0; \quad u_y|_{S_{u3}} = 0;$$

$$u_z|_{S_{u1}} = 0; \quad u_z|_{S_{u2}} = 0; \quad u_z|_{S_{u3}} = 0.$$

На внутрішній поверхні НПР, S_p прикладалось поверхнєве навантаження – рівномірно розподілений тиск:

$$F|_{S_p} = p$$

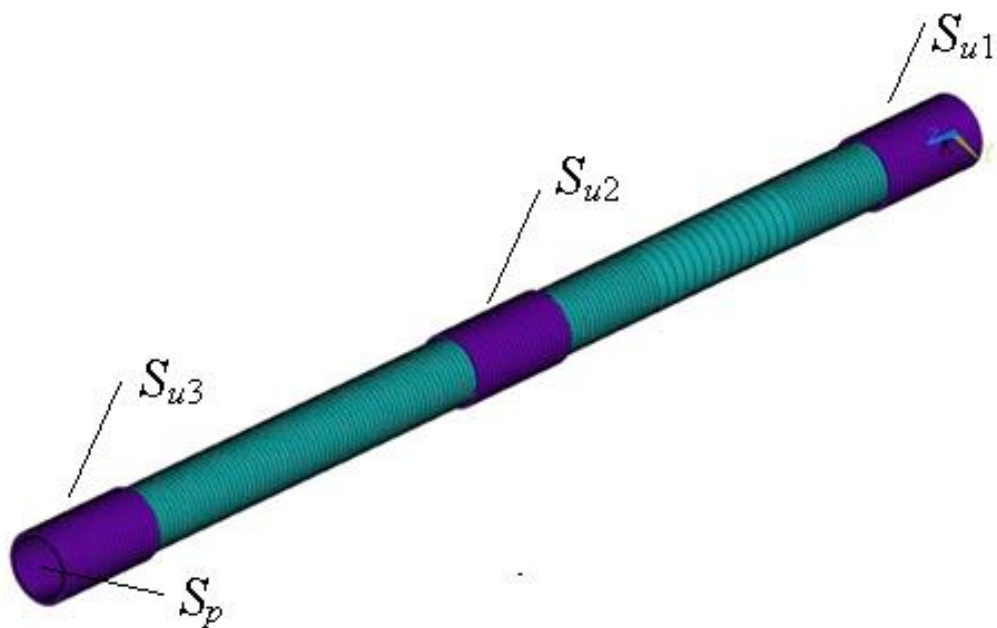


Рис. 2.3. Скінченно-елементна модель

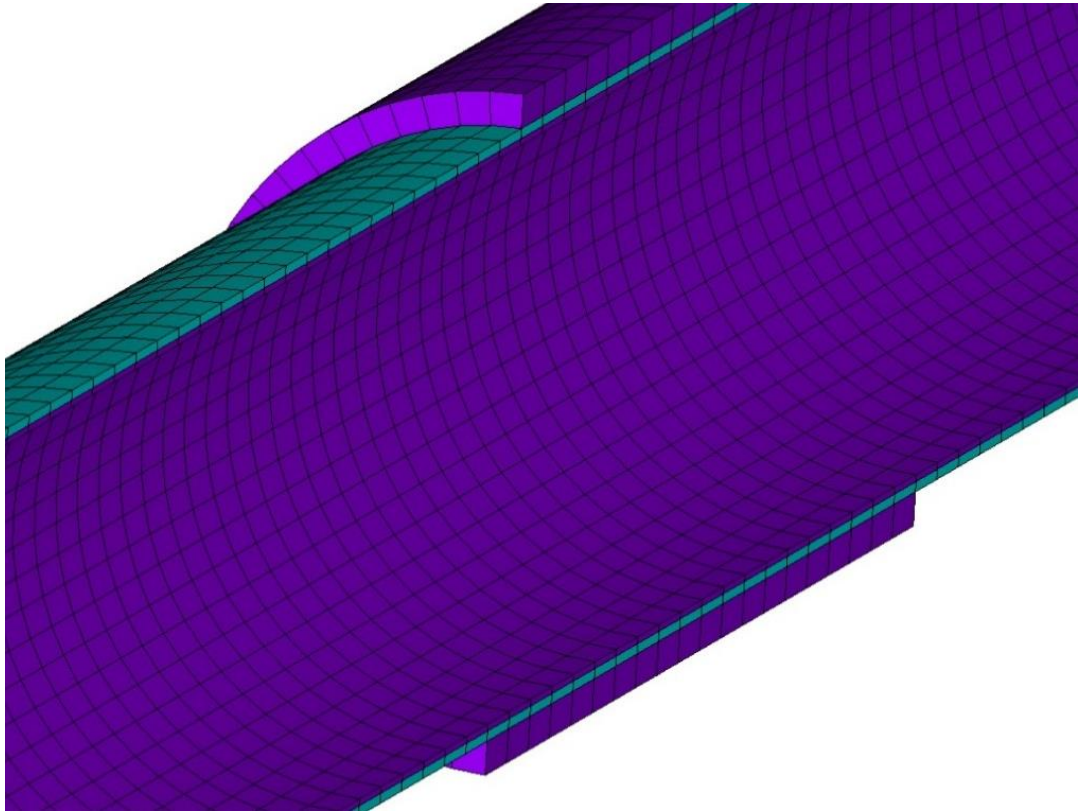


Рис. 2.4. Скінченно-елементна модель збільшена та у розрізі

Для коректного завдання орторопних властивостей матеріалу зовнішньої частини НПР зазначені властивості задавались у циліндричній системі координат. При цьому для усіх СЕ зазначеного шару було створено відповідну локальну систему координат. Розташування локальних систем координат по СЕ композитного шару НПР представлено на рис. 2.5 та рис. 2.6

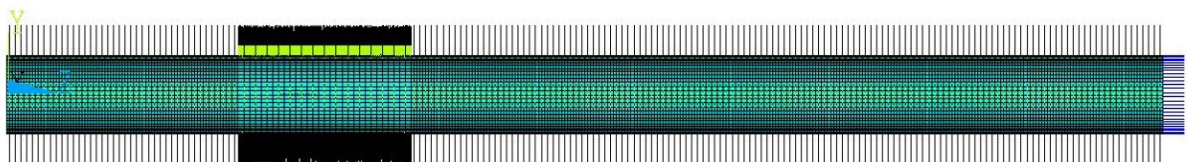


Рис. 2.5. Локальні системи координат по СЕ моделі

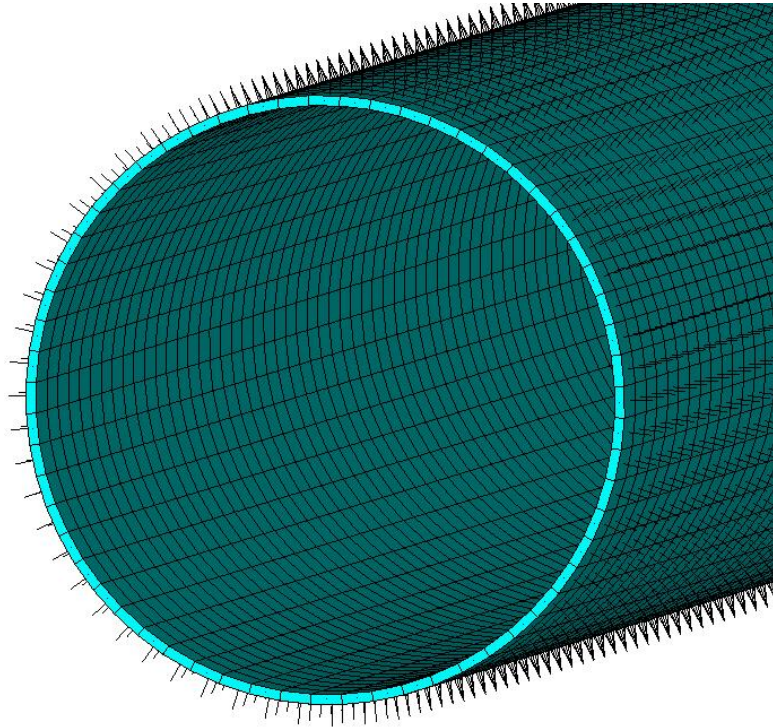


Рис. 2.6. Локальні системи координат по шару композиту (збільшено)

Використання даних моделей дозволило визначити напружено-деформований стан НПР при гідравлічних випробуваннях (тобто в умовах навантаження внутрішнім тиском, $P=0,6$ МПа). Результати відповідних розрахунків представлені на рис. 2.7 – рис. 2.8

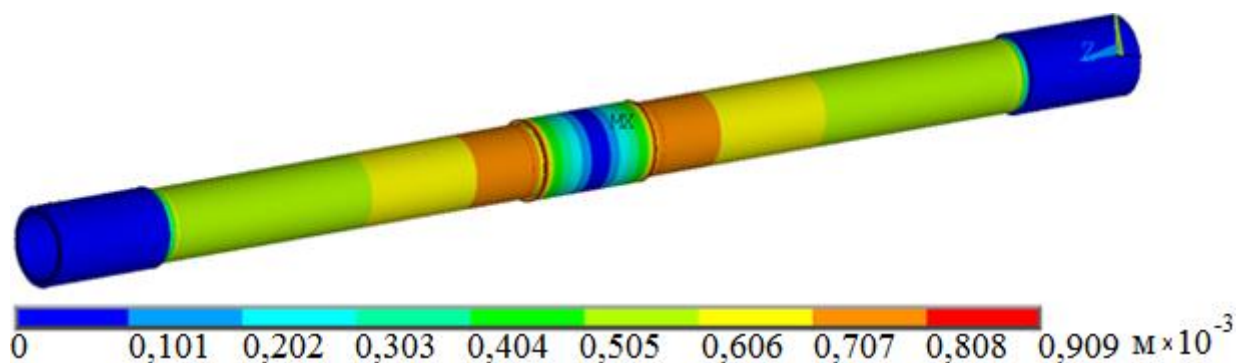


Рис. 2.7. Переміщення фрагменту НПР при гідравлічних випробуваннях

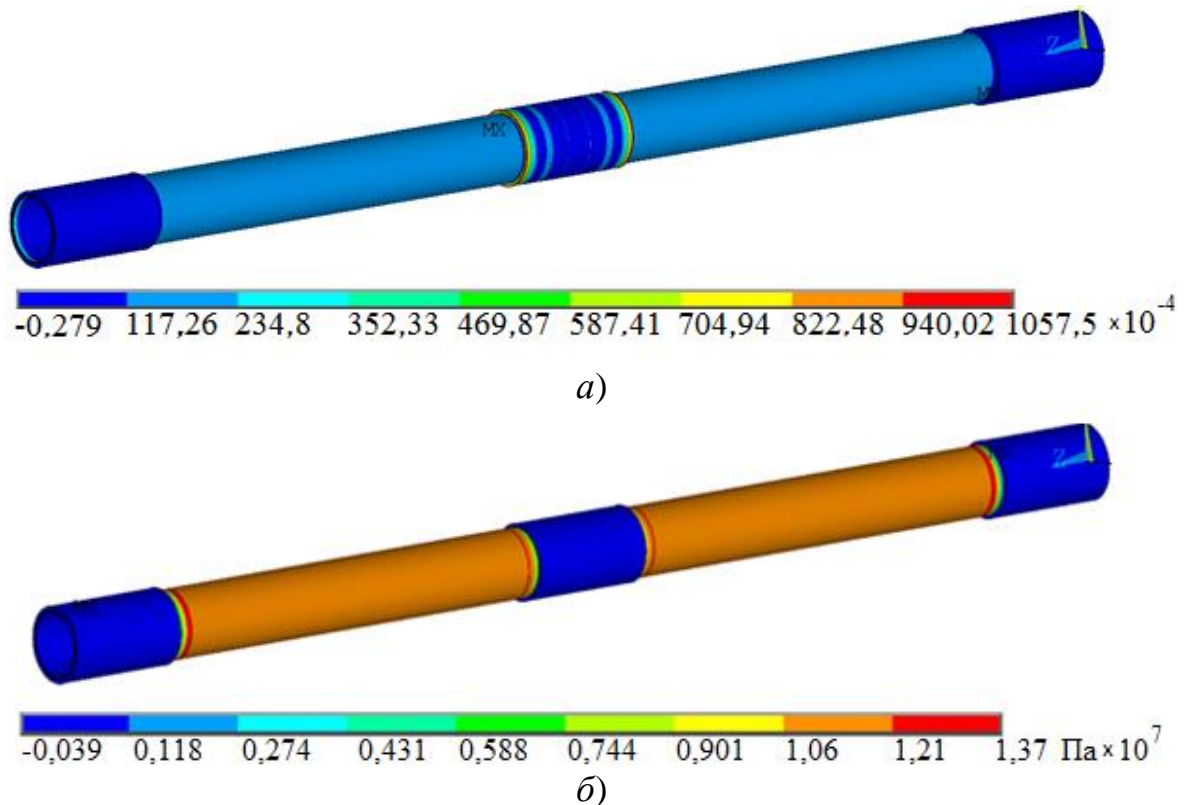


Рис. 2.8. Головні деформації (а) та напруження (б) фрагменту НПР при гідравлічних випробуваннях

Можна бачити, що при гідравлічних випробуваннях домінують радіальні переміщення НПР, які досягають до 1 мм, відповідні їм значення головних деформацій та напружень, формуються в коловому напрямку. При цьому деформації досягають 10%, а максимальні напруження локалізуються по крайових ефектах і досягають 13,7 МПа, проте в області поза зажимів, тобто в місцях віддалених від крайових ефектів, які мають також і певну похибку, головні напруження знаходяться в районі 10,6 МПа.

Наступною частиною досліджень були розрахунки НПР з дефектом на поверхні. Розроблена модель мала параметричний вид, що надавало можливість у зручному автоматизованому виді отримувати розрахунки для НПР з дефектами різних геометричних розмірів: різною довжиною та глибиною. На рис. 2.9 представлено типові моделі, що було використано в дослідженнях:

- модель з дефектом малих розмірів та малої глибини (довжина 5 мм, глибина 0,2 мм);
- модель з дефектом малих розмірів та великої глибини (довжина 5 мм, глибина 0,7 мм);
- модель з дефектом великого розміру та малої глибини (довжина 100 мм, глибина 0,2 мм);
- модель з дефектом великого розміру та великої глибини (довжина 100 мм, глибина 0,7 мм).

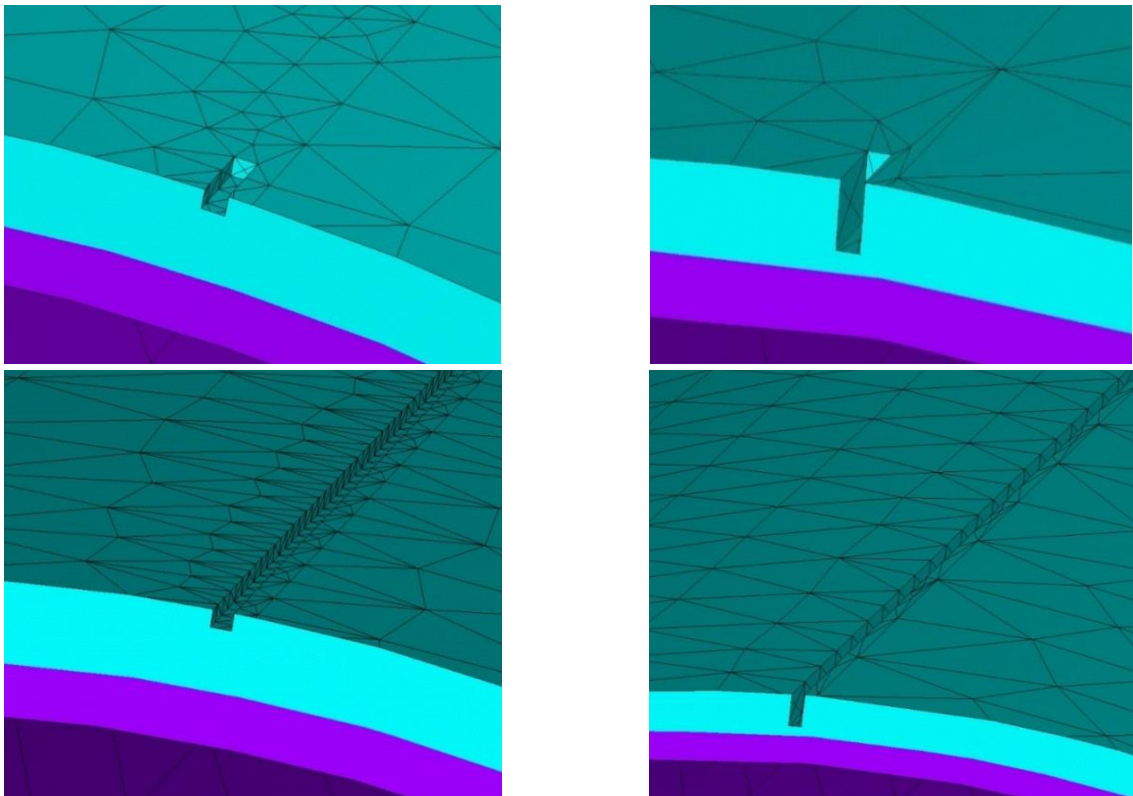


Рис. 2.9. Моделі з дефектами різних розмірів

З даними моделями проводились розрахунки, що відтворюють гідравлічні випробування, тобто задавався внутрішній тиск. Результати розрахунків по переміщенням для дефекту малої довжини показують, що дефект не суттєво впливає кількісно та не змінює якісно розподіл переміщень (рис. 2.10, *a*).

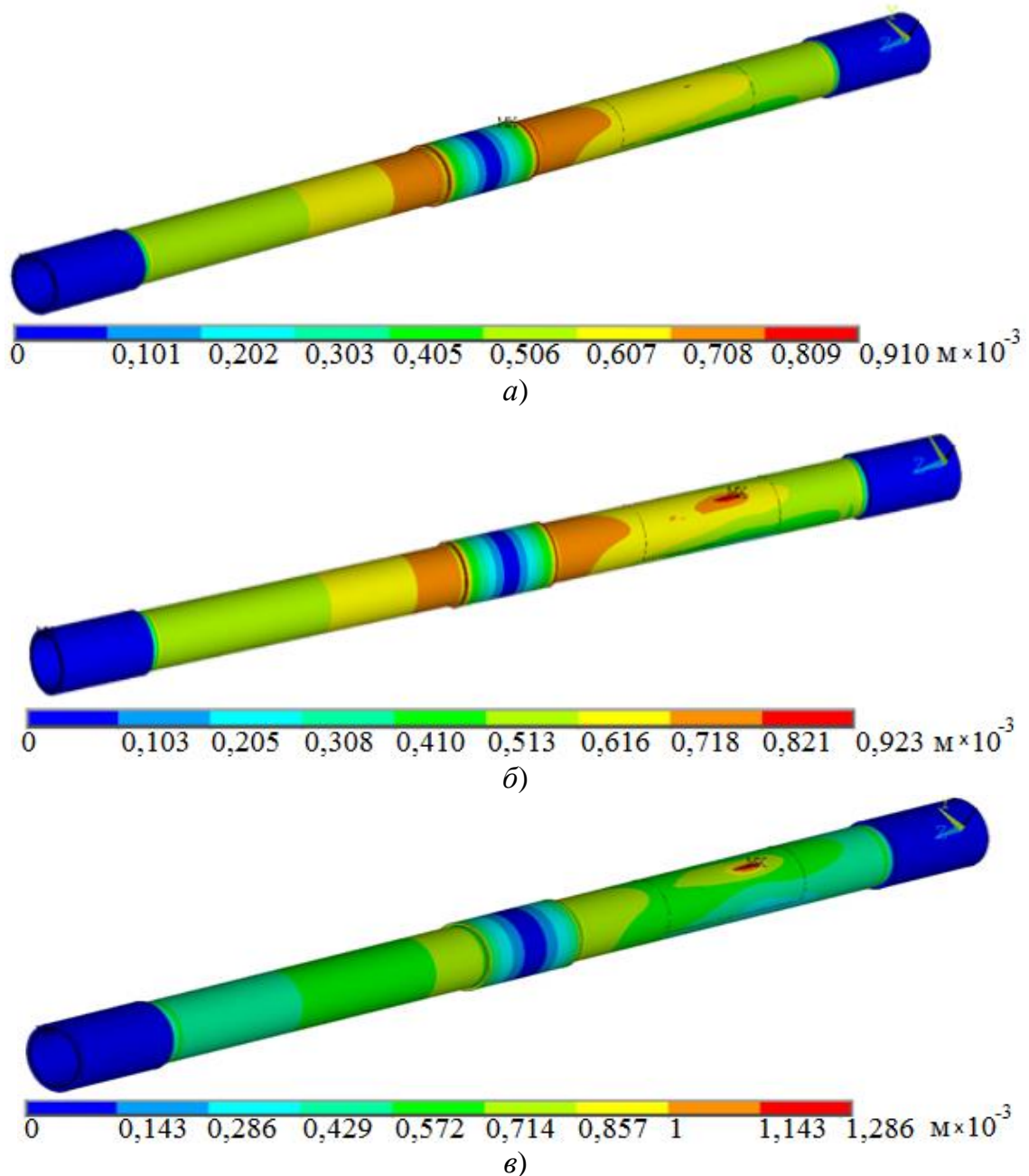


Рис. 2.10. Розподіл переміщень для НПР з дефектом довжиною 5 мм та глибиною 0,2 мм (а), а також довжиною 100 мм по основі глибиною 0,2 мм (б) та 0,7 мм (в)

Разом із тим дефект великої довжини незалежно від його глибини суттєво змінює розподіл переміщень та викликає їх локалізацію по берегам дефекту. На рис. 2.10 представлено картини розподілу переміщень для дефектів з довжиною 100 мм. Кількісний аналіз показує, що при дефекті малої глибини незважаючи на наявність якісних змін у розподілі переміщень

(виникнення зони локалізації) кількісні відмінності від розподілу переміщень для НПР без дефекту відрізняються не суттєво в межах 2%. При збільшенні глибини дефекту до 70% від товщини рукава переміщення локалізуються більш виражено, а їх максимальні значення збільшуються на 40% і становлять 1,3 мм у порівнянні до 0,9 мм.

На рис. 2.11 – рис. 2.12 представлені розподіли головних напружень в області дефекту, що має різні розміри.

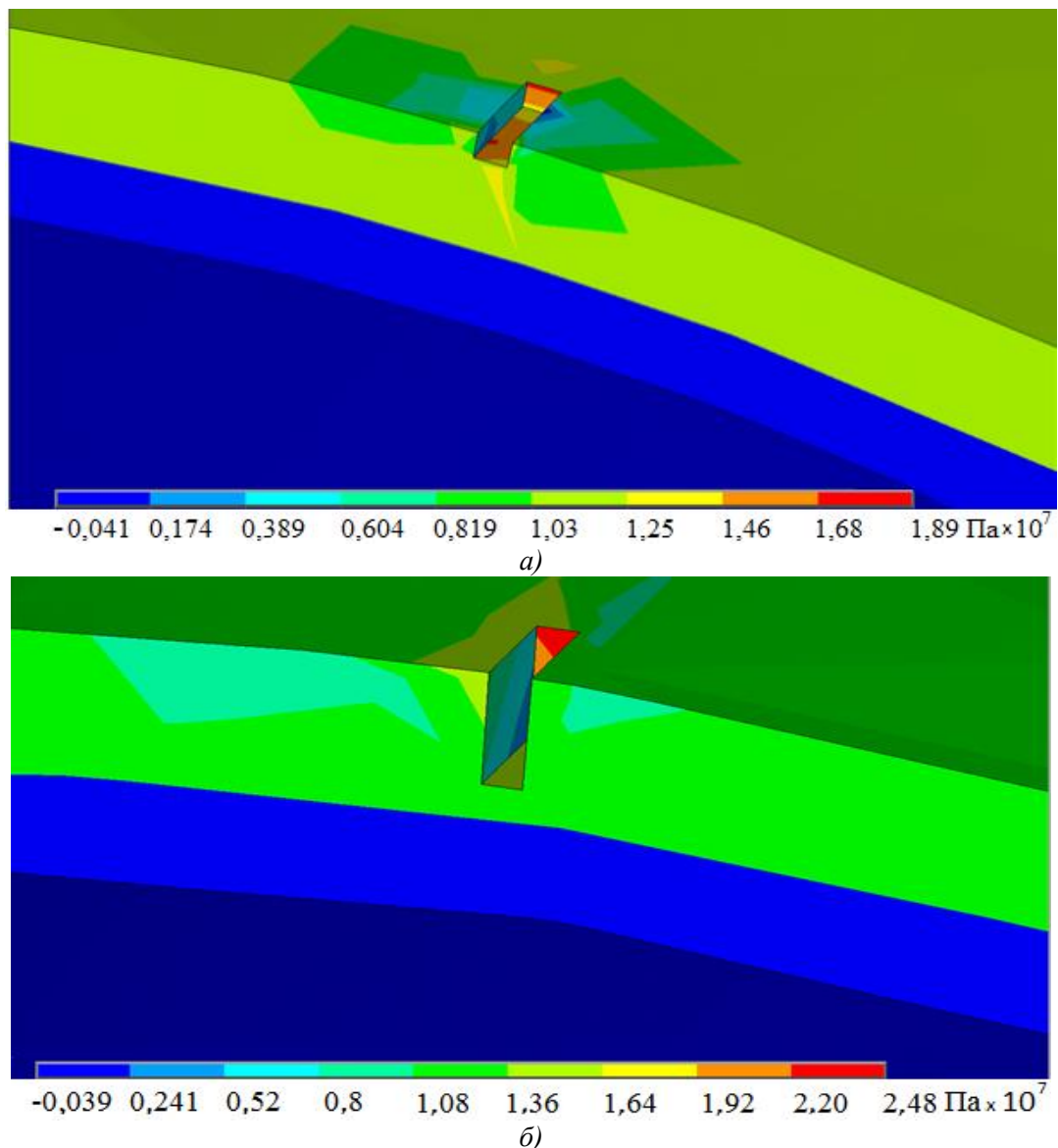


Рис. 2.11. Головні напруження фрагменту НПР при гідравлічних випробуваннях в районі дефекту, що має довжину 5 мм по основі та різну глибину: 0,2 мм (а) та 0,7 мм (б)

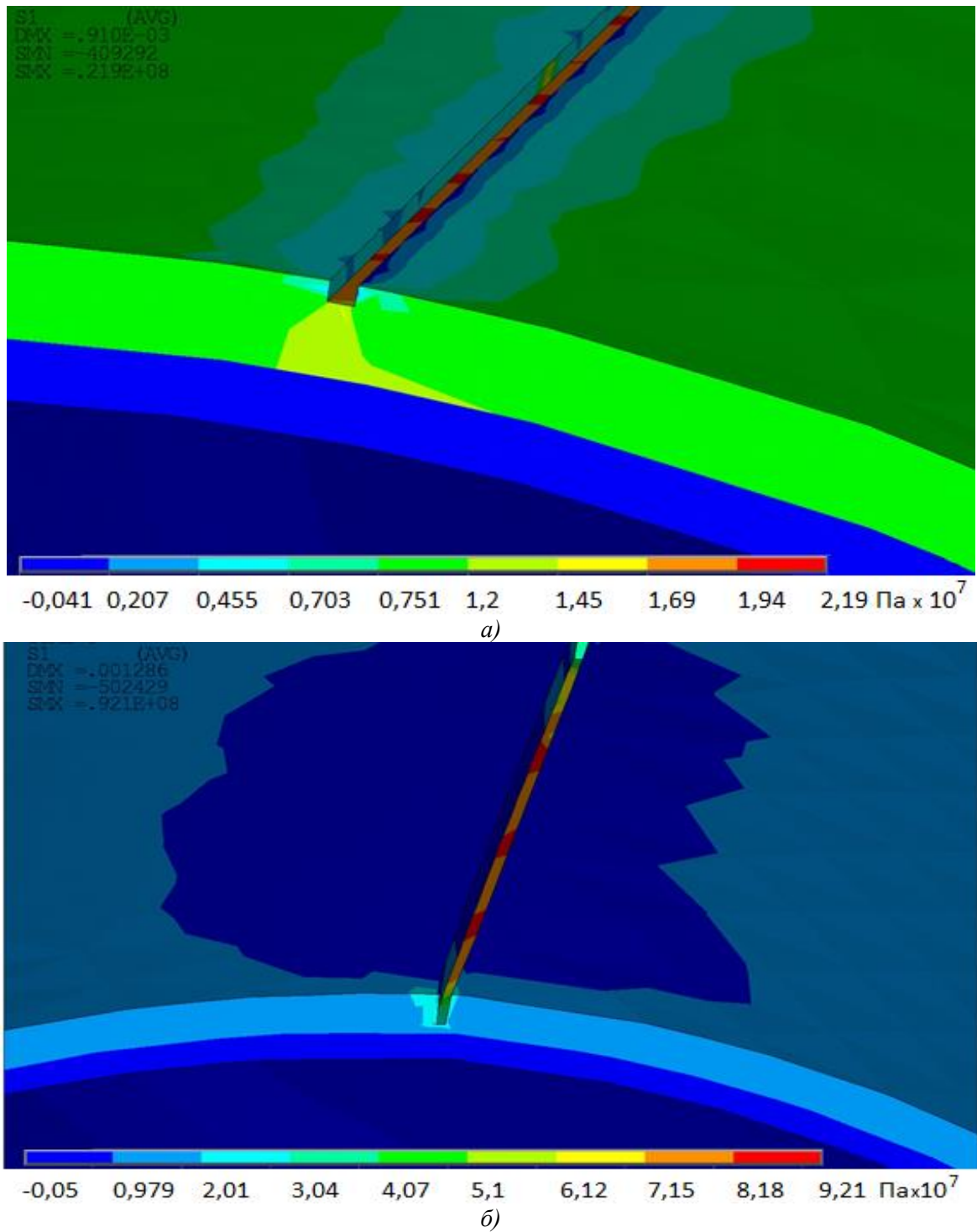


Рис. 2.12. Головні напруження фрагменту НПР при гідравлічних випробуваннях в районі дефекту, що має довжину 100 мм по основі та різну глибину: 0,2 мм (а) та 0,7 мм (б)

Аналіз результатів показує, що в НПР з дефектом формується суттєва концентрація напружень в області самого дефекту. Так, для дефекту з довжиною 5 мм та глибиною 0,2 мм та 0,7 мм максимальні напруження

досягають відповідно, 18,9 МПа та 24,9 МПа (порівняно з 10,6 МПа при відсутності дефекту). Для дефекту з великою довжиною (100 мм) концентрація напружень ще більша – 21,9 МПа та 92 МПа для малої та великої глибини, відповідно. Тому подальші дослідження має сенс проводити при малій глибині дефекту.

2.4. Розрахункове дослідження впливу розмірів дефекту на кут закручування напірних пожежних рукавів

Відповідно до задачі дослідження проведені чисельні розрахунки зміни кута закручування НІР в залежності від розміру відповідного дефекту [67].

Результати розрахунків зміни кута закручування НІР в залежності від довжини та напрямку дефекту при глибині 0,2 мм наведені в таблиці 2.1 та на рис. 2.13 – 2.16.

Таблиця 2.1

Зміна кута закручування НІР в залежності від розміру та напрямку дефекту

№	Довжина де- фекту, мм при глибині 0,2 мм	Кут закручування, град			
		Рукав типу «Т», Ø 51 мм		Рукав типу «Т», Ø 77 мм	
		Дефект по основі	Дефект по утку	Дефект по основі	Дефект по утку
1.	0	62,4	65,84	26,71	26,95
2.	10	63,14	70,12	27,22	27,73
3.	20	65,10	72,61	28,05	28,25
4.	30	67,41	75,14	28,95	29,73
5.	40	69,18	77,72	30,06	30,31
6.	50	72,14	81,16	31,02	31,86
7.	60	75,11	83,25	32,12	33,34
8.	70	78,53	85,21	33,24	34,75
9.	80	83,21	89,05	34,45	36,25
10.	90	87,56	92,52	36,07	38,24
11.	100	92,38	95,14	37,38	40,12



Рис. 2.13. Розрахункова залежність кута закручування рукава \varnothing 51 мм від довжини дефекту по основі

Розрахунки проводились для найбільш поширених в експлуатації рукавів типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм, в умовах статичного навантаження від дії заданого крутного моменту.



Рис. 2.14. Розрахункова залежність кута закручування рукава \varnothing 51 мм від довжини дефекту по утку



Рис. 2.15. Розрахункова залежність кута закручування рукава $\varnothing 77$ мм від довжини дефекту по основі



Рис. 2.16. Розрахункова залежність кута закручування рукава $\varnothing 77$ мм від довжини дефекту по утку

В модель закладались експериментально визначені фізико-механічні властивості стабілізованого стану матеріалу НІР - значення поздовжнього (вдовж основи) та поперечного (вдовж утка) модулів пружності при розтяганні та модулю пружності при крученні при тиску 0,6 МПа.

Аналіз результатів математичного експерименту, тобто розрахунку зміни кута закручування НПР під дією фіксованого моменту в залежності від типу рукава, розміру та напрямку відповідного дефекту дозволив прийняти цей чинник в якості фактору, що може бути використаний для пошуку цього дефекту.

2.5. Висновки по другому розділу

1. У відповідності до прийнятих припущень модель напірного пожежного рукава розглядається як одношарова гнучка циліндрична оболонка, що має внутрішній діаметр d , товщину стінки δ і знаходиться під дією рівномірно розподіленого внутрішнього навантаження, що спричинене гідравлічним тиском P рідини всередині рукава. На оболонці в залежності від задач дослідження моделюються характерні дефекти різного напрямку та розміру, які, однак, не порушують герметичності системи.

2. Розроблена методом скінчених елементів модель НПР дозволяє з урахуванням експериментально визначених фізико-механічних властивостей рукавів досліджувати дискретні параметри їх напружено-деформованого стану.

3. Чисельні розрахунки НПР дозволили визначити відповідний чинник – кут закручування пожежного рукава під дією фіксованого моменту, величина якого в значній мірі залежить від наявності та розмірів дефекту рукава що може бути використано для пошуку цього дефекту.

4. Для найбільш поширених в експлуатації рукавів типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм проведені розрахунки залежності кутів закручування від довжини дефектів по основі та по утку в умовах статичного навантаження від дії заданого крутного моменту і побудовані відповідні графіки для наступного порівняння з результатами натурних випробувань.

5. Аналіз результатів показує, що в НПР з дефектом формується суттєва концентрація напружень в області самого дефекту. Так, для дефекту з довжиною 5 мм та глибиною 0,2 мм і 0,7 мм максимальні напруження досягають 18,9 МПа та 24,9 МПа, відповідно (порівняно з 10,6 МПа при відсутності дефекту). Для дефекту з великою довжиною (100 мм) концентрація напружень ще більша – 21,9 МПа та 92 МПа для малої та великої глибини, відповідно. Тому подальші дослідження має сенс проводити при малій глибині дефекту.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ

3.1. Визначення навантажень, що діють на напірні пожежні рукави в експлуатації

При використанні напірних рукавів на пожежі через них передається рідина під тиском, який є основним навантаженням силового каркасу НПР. Для наступних чисельних розрахунків напружено-деформованого стану та особливостей роботи НПР, як цілого, так і з дефектами проведено дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальної пожежі.

Для дослідження [67] використовувався штатний манометр автоцистерни, покази тиску якого фіксувались відеореєстратором (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Автоцистерна із встановленим відеореєстратором

З урахуванням [89] малості амплітуд ($\approx 0,08$ МПа) коливань тиску з частотою близько 2 Гц на даному етапі досліджень заміри тиску в рукавній лінії проводились з проміжком, що був встановлений шляхом його послідовного збільшення від 5 до 15 секунд і аналізу отриманих результатів, яким визначено оптимальне значення інтервалу замірів 15 секунд.

Зважаючи на те, що згідно з [43, 92] час роботи пожежного автомобіля без установки на вододжерело, з подачею одного ствола «А» або з двома стволами «Б» складає 5 хвилин, цей проміжок часу було вибрано як нормативний при проведенні вимірів. Дослідження були проведені на п'яти пожежах, тобто вибірка мала 100 значень тиску.

В результаті вимірювання тиску під час використання насосу на пожежі, були отримані числові значення зміни тиску, що наведені в додатку Д, а частковий фрагмент яких на рис. 3.2.

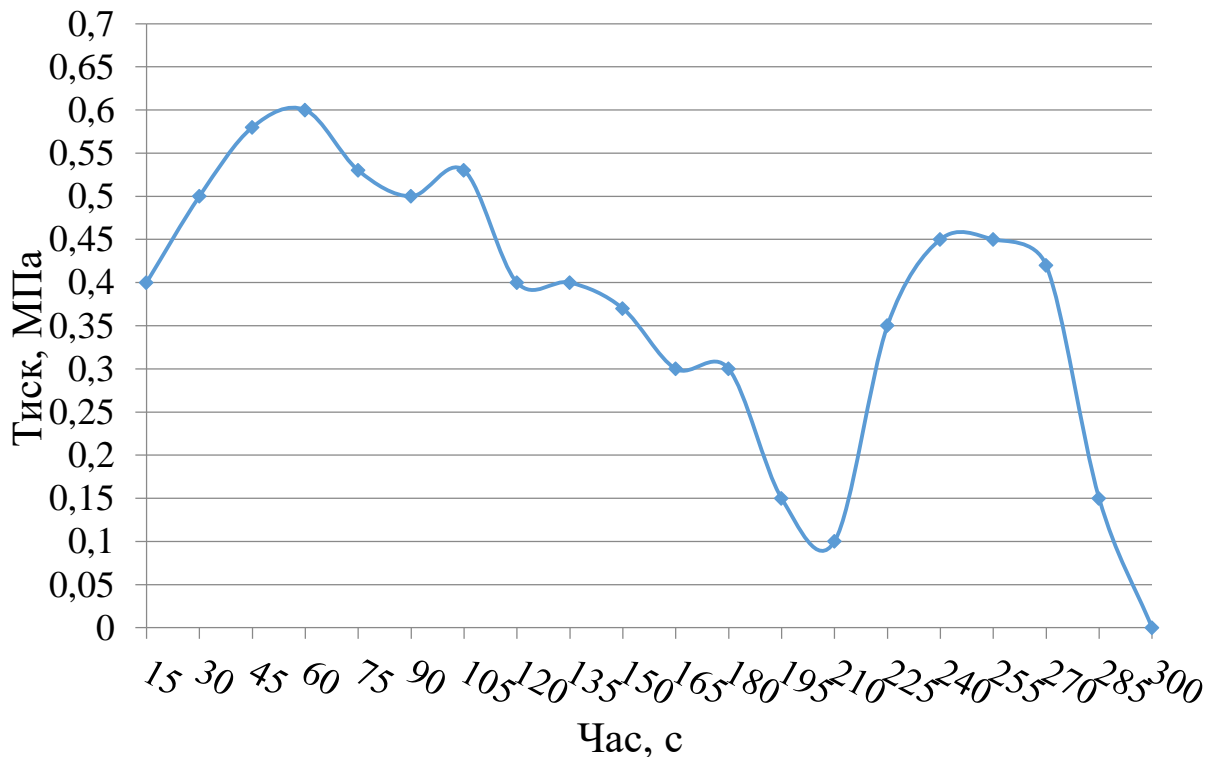


Рис. 3.2. Фрагмент розподілу зміни величини тиску в колекторі від часу використання насосу на пожежі

Так згідно із графіком зміни величини тиску від часу на початку роботи тиск в напірному колекторі складає 0,4 МПа, на 30 секунді тиск збільшується до 0,5 МПа, і в продовж хвилини зростає до 0,6 МПа. Збільшення тиску до 0,6 МПа обумовлено роботами з ліквідації пожежі. На початку 1 хвилини тиск зменшується до 0,58 МПа с другої хвилини тиск подає до 0,1 МПа. З початком третьої хвилини тиск знову зростає до 0,45 МПа, після чого тиск падає до 0,15 МПа і далі до нуля.

Після проведення замірів тиску проводилась обробка дослідних даних методами математичної статистики.

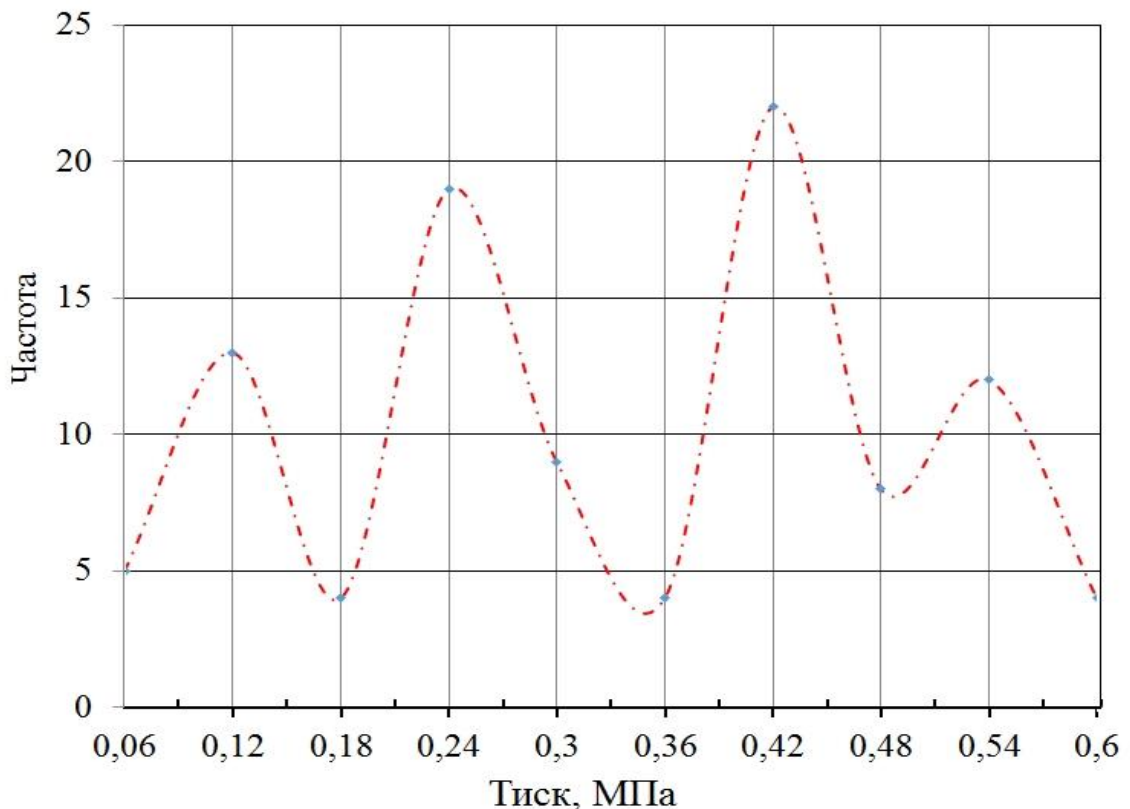


Рис. 3.3. Крива розподілення вимірювань по тиску

Таким чином при числових розрахунках характеристик роботи НІР, як цілого так і з дефектами, в якості силового навантаження приймаємо наступні експериментально визначені значення тиску - середнє експлуатаційне – 0,31 МПа, максимальнє експлуатаційне – 0,6 МПа, максимальнє випробувальнє – 2,4 МПа [81].

3.2. Визначення фізико-механічних властивостей пожежних рукавів для розрахункового дослідження їх напружено-деформованого стану

Для наступних чисельних розрахунків напружено-деформованого стану та відповідних параметрів роботи НПР, як цілих, так і з дефектами проведено [48-53] визначення фізико-механічних властивостей пожежних рукавів, зокрема їх жорсткості, в умовах статичного навантаження.

З урахуванням особливостей фізичної моделі, згідно до якої напірний пожежний рукав розглядається як одношарова гнучка циліндрична оболонка, що знаходиться під дією внутрішнього тиску необхідно визначити:

- модуль пружності при розтяганні матеріалу НПР у поздовжньому (вздовж основи) напрямку;
- модуль пружності при розтяганні матеріалу НПР у поперечному (вздовж утка) напрямку;
- модуль пружності при зсуві матеріалу НПР з випробувань на кручення.

Згідно із задачами дослідження визначення фізико-механічних властивостей проводилось для двох найбільш вживаних типорозмірів пожежних рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм виробництва фірми «Набат», які знаходились один рік (85 годин бойового використання) в експлуатації.

3.2.1. Визначення модуля пружності матеріалу напірних пожежних рукавів при розтяганні у поздовжньому (вздовж основи) напрямку

а) Пожежний рукав типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм [50, 53, 98]

Дослідний зразок (рис. 3.4) рукава типу «Т» діаметром 51 мм, випробувальною довжиною $\ell=160$ мм та товщиною $\delta = 1,5$ мм, було закріплено відповідними пристроями на дослідній машині [69, 109].



- 1 – фрагмент рукава;
- 2 – кріпильні пристрої;
- 3 – хомути.

Рис. 3.4. Випробувальний зразок пожежного рукава діаметром 51 мм

Для проведення відповідних робіт було використано дослідну установку ДМ – 30 М (рис. 3.5).

Проведення тарировки штатного динамометра дослідної установки проводилось шляхом послідовного навантаження із використанням зразкового динамометра і наступною побудовою відповідних характеристик та визначенням необхідних коефіцієнтів.

Навантаження проводилось з постійним кроком (1 мм) подовження зразка з фіксацією відповідного зусилля (кН).

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава з випробувальною довжиною 160 мм. Максимальна величина деформації становила $\Delta l_1^{\max} = 20 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_1^{\max} = 4,68$ кН.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 8 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_2^{\max} = 8,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_2^{\max} = 4,32$ кН.

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



Рис. 3.5. Дослідна машина ДМ-30М із встановленим зразком рукава

Числові параметри наступних режимів навантаження (3–5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного.

Максимальна величина їх деформації становила $\Delta l_{3-5}^{\text{max}} = 8,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_{3-5}^{\text{max}} = 5,12$ кН.

Залишкова деформація фрагменту після розвантаження була відсутня, тобто $\Delta l_{3-5}^{\text{зал}} = 0$.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати випробувань поздовжньої жорсткості рукава діаметром 51 мм

Деформація, мм	Навантаження, кН				
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4	Режим 5
0	0,00	–	–	–	–
1	0,1	–	–	–	–
2	0,2	–	–	–	–
3	0,4	–	–	–	–
4	0,5	–	–	–	–
5	0,7	–	–	–	–
6	0,9	–	–	–	–
7	1,1	–	–	–	–
8	1,3	0,00	–	–	–
9	1,6	0,7	–	–	–
10	1,8	1,4	–	–	–
11	2,1	1,9	–	–	–
12	2,3	2,4	0,00	0,00	0,00
13	2,5	2,9	0,8	0,7	0,8
14	2,9	3,5	1,6	1,4	1,4
15	3,1	3,9	2,2	2,1	2,2
16	3,4	4,3	2,8	2,6	2,9
17	3,6	–	3,4	3,4	3,5
18	4,1	–	4	4	4
19	4,3	–	4,4	4,4	4,4
20	4,68	–	5,1	5,1	5,1
$C_i = F_i^{\max} / \Delta l_i^{\max}$	234 кН/м	540 кН/м	639 кН/м	640 кН/м	640 кН/м

Графіки, які відповідають результатам випробувань наведені на рис. 3.6 де:

- графік 1 відповідає початковому режиму навантаження недеформованого фрагменту пожежного рукава;
- графік 2 – режиму повторного навантаження, який проведено через дві хвилини після першого;

– графік 3–5 відповідає наступним трьом режимам навантаження, які проведені з аналогічними часовими інтервалами і практично не відрізняються один від одного за числовими параметрами, що дозволило їх усереднити.

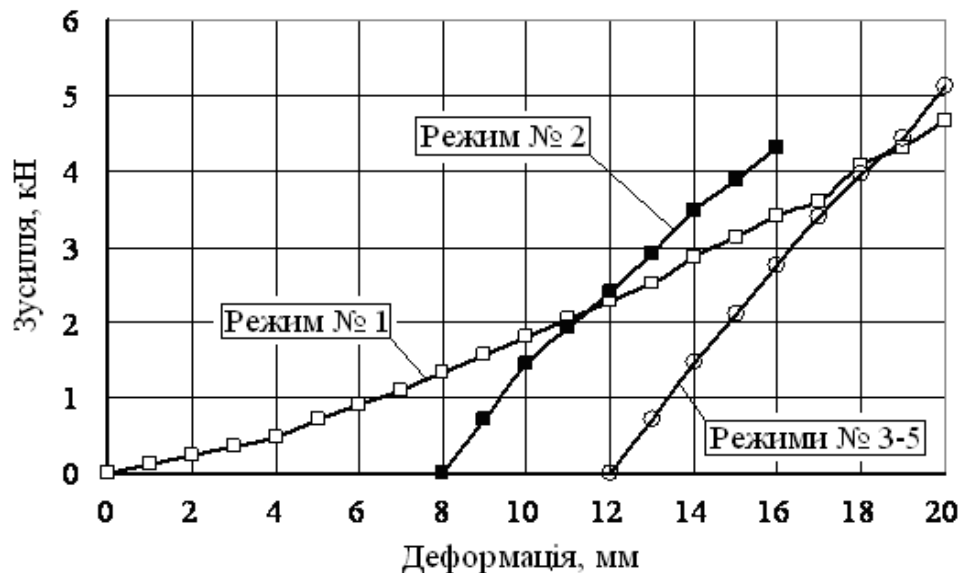


Рис. 3.6. Графіки навантажень випробувального зразка пожежного рукава діаметром 51 мм

б) Пожежний рукав типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм [49, 52, 66]

Дослідний зразок пожежного рукава (рис. 3.7) типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм, випробувальною довжиною $\ell=110$ мм, загальною товщиною $\delta = 2,7$ мм і товщиною шарів тканинного каркасу $\delta_T = 1,2$ мм і гуми $\delta_T = 1,5$ мм, було закріплено відповідними пристроями на дослідній машині і проведено цикл випробувань з його навантаження [55].

Навантаження проводилось з постійним кроком (1 мм) подовження зразка із фіксацією відповідного зусилля (кН). Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава з випробувальною довжиною 110 мм. Максимальна величина деформації

становила $\Delta l_1^{\max} = 10 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_1^{\max} = 7,08$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 4 \cdot 10^{-3}$ м.



Рис. 3.7. Випробувальний зразок пожежного рукава діаметром 77 мм

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_2^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_2^{\max} = 9,84$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_2^{\text{зал}} = 3,0 \cdot 10^{-3}$ м.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_3^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_3^{\max} = 12,3$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_3^{\text{зал}} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Числові параметри наступних двох режимів навантаження (4–5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного. Їх максимальна величина деформації становила $\Delta l_{4-5}^{\max} = 10,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F_{4-5}^{\max} \approx 12,3$ кН.

Залишкова деформація фрагменту після розвантаження становила $\Delta l_{4-5}^{\text{зал}} = 0$.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати випробувань поздовжньої жорсткості рукава діаметром 77 мм

Дефор- мація, мм	Навантаження, кН				
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4	Режим 5
0	0,0	–	–	–	–
1	0,3	–	–	–	–
2	0,8	–	–	–	–
3	1,4	–	–	–	–
4	2	0,0	–	–	–
5	2,7	0,7	–	–	–
6	3,5	1,7	–	–	–
7	4,3	2,8	0,0	–	–
8	5,2	4,1	1,2	–	–
9	6,1	5,5	2,3	0,0	0,0
10	7,1	6,6	3,5	1,2	1,2
11	–	7,6	5,2	2,3	2,2
12	–	8,4	6,7	3,5	3,4
13	–	9,1	8,3	5,2	5,2
14	–	9,8	9,7	6,7	6,7
15	–	–	10,7	8,3	8,3
16	–	–	11,5	9,7	9,8
17	–	–	12,3	10,7	10,7
18	–	–	–	11,5	11,5
19	–	–	–	12,3	12,3
$C_i = F_i^{\max} / \Delta l_i^{\max}$	708 кН/м	984 кН/м	1230 кН/м	1230 кН/м	1233 кН/м

Графіки (рис.3.8) відповідають результатам випробувань:

- графік 1 відповідає початковому режиму навантаження недеформованого фрагменту пожежного рукава;
- графік 2 – режиму повторного навантаження, який проведено через дві хвилини після першого;
- графік 3 – режиму третього навантаження, який проведено через дві хвилини після другого;

– графік 4–5 відповідає наступним двом режимам навантаження, які проведені з аналогічними часовими інтервалами. Режими практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити результати вимірів.

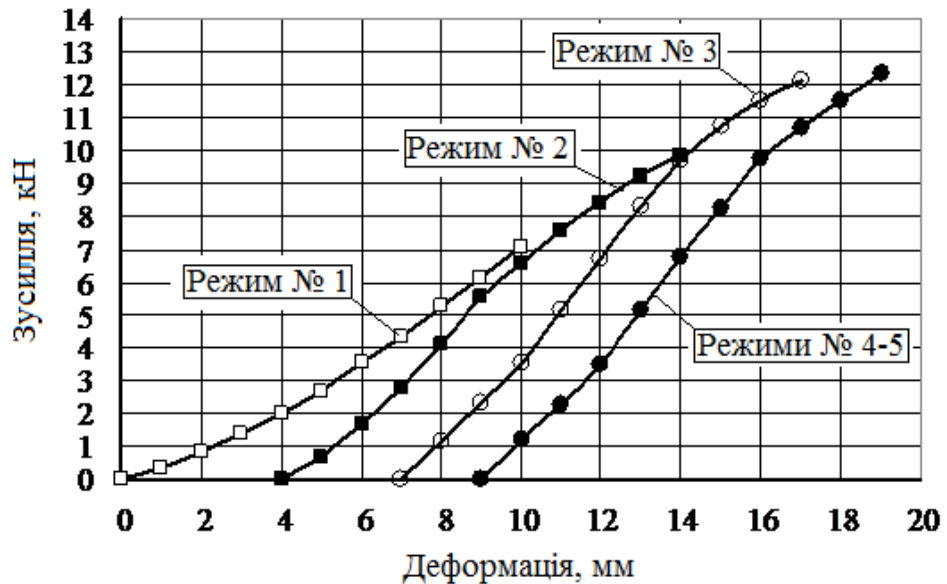


Рис. 3.8. Графіки навантажень випробувального зразка пожежного рукава діаметром 77 мм

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією досліджених фрагментів пожежних рукавів дозволяє визначити їх усереднену жорсткість у поздовжньому напрямку (табл. 3.1 – 3.2), а згодом і модулі пружності (k_x) їх матеріалу.

3.2.2. Визначення модуля пружності матеріалу напірних пожежних рукавів при розтяганні у поперечному (вздовж утка) напрямку

а) Пожежний рукав типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм [48, 69]

Проведення робіт з визначення поперечної жорсткості матеріалу НПР виконувалось за методикою, яка аналогічна тій, що використовувалась при дослідженні поздовжньої жорсткості рукавів.

Дослідний зразок (фрагмент) матеріалу (рис. 3.9), який було відокремлено від пожежного рукава типу «Т» діаметром $d = 51$ мм, мав випробувальну довжину $\ell = 65$ мм, ширину $b = 100$ мм та загальну товщину $\delta = 1,5$ мм. Зразок було закріплено відповідними пристроями на дослідній машині і проведено цикл випробувань з його навантаження.

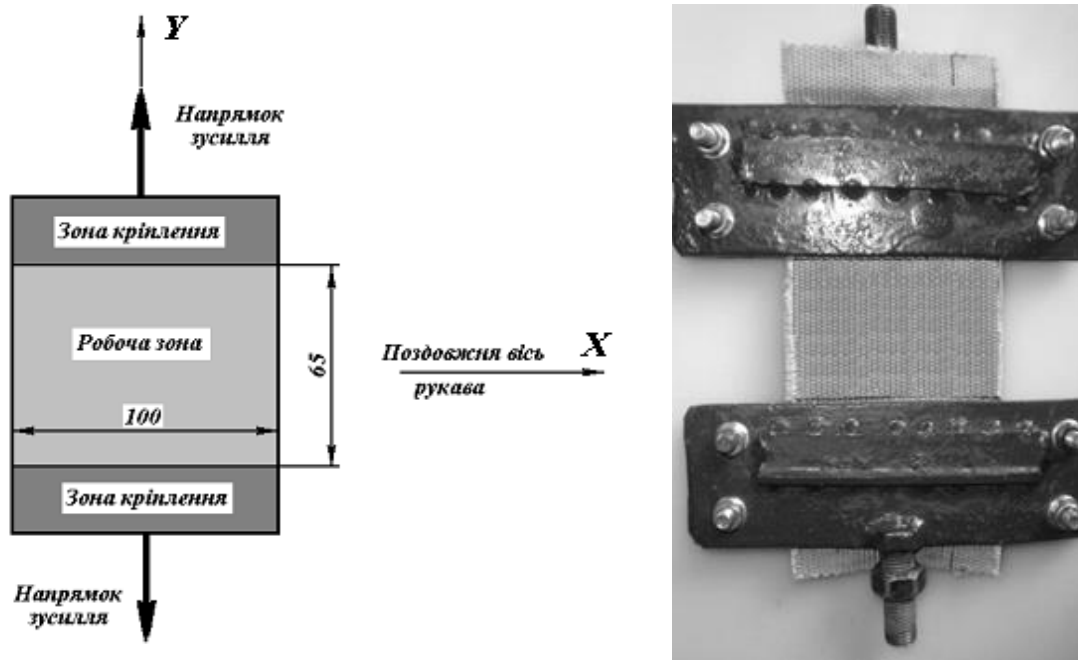


Рис. 3.9. Випробувальний зразок матеріалу пожежного рукава діаметром 51 мм

Навантаження проводилось з постійним кроком (0,5 мм) подовження зразка, із фіксацією відповідного зусилля (кН). Максимальна величина деформації для всіх режимів навантаження була прийнята постійною і становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м. Результати випробувань поперечної жорсткості рукава наведені в таблиці 3.3.

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом матеріалу пожежного рукава довжиною 65 мм. Максимальна величина деформації $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м відповідала навантаженню $F_1^{\max} = 1,8$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

Таблиця 3.3

Результати випробувань поперечної жорсткості рукава діаметром 51 мм

Деформація, мм	Навантаження, кН			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4 – 6
0	0,0	–	–	–
0,5	0,2	–	–	–
1,0	0,5	0,0	–	–
1,5	0,9	0,4	0,0	–
2,0	1,2	0,9	0,2	0,0
2,5	1,4	1,1	0,6	0,3
3,0	1,7	1,5	1	0,7
3,5	1,8	1,8	1,4	1,1
4,0	–	2	1,7	1,5
4,5	–	2,2	2	1,8
5,0	–	–	2,2	2,1
5,5	–	–	–	2,4
$C_i = F_i^{\max} / \Delta l_i^{\max}$	514 кН/м	617 кН/м	631 кН/м	671 кН/м

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_2^{\max} = 2,16$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_2^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_3^{\max} = 2,21$ кН. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_3^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Параметри наступних трьох режимів навантаження (4 – 6), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила $\Delta l^{\max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при

навантаженні $F_{4-6}^{\max} = 2,35$ кН. Залишкова деформація фрагменту після розвантаження була практично відсутня, тобто $\Delta l_{4-6}^{\text{зал}} \cong 0$. Графіки, які відповідають результатам випробувань наведені на рис. 3.10.

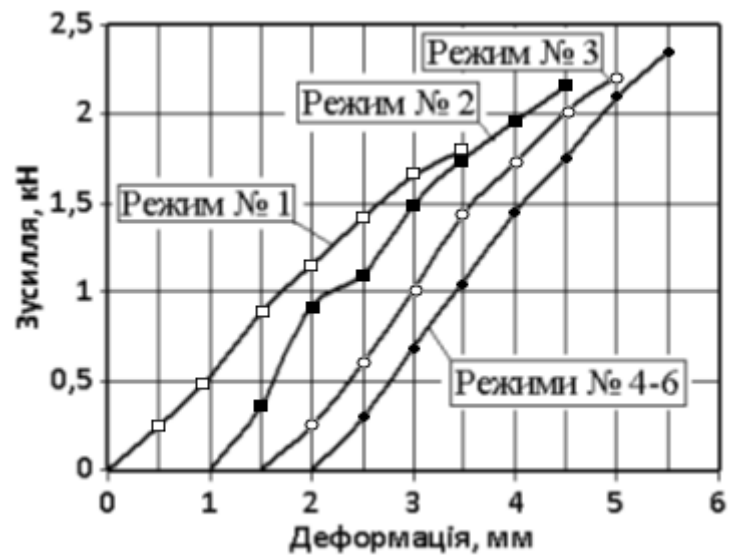


Рис. 3.10. Графіки навантажень випробувального зразка пожежного рукава діаметром 51 мм

На рисунку: графік 1 відповідає початковому режиму навантаження недеформованого фрагменту пожежного рукава;

– графік 2 – режиму повторного навантаження, яке проведено через дві хвилини після першого;

– графік 3 – режиму третього навантаження, яке проведено через дві хвилини після другого;

– графік 4 – 6 відповідає усередненим значенням наступних трьох режимів навантаження, які проведені з аналогічними часовими інтервалами і практично не відрізняються один від одного за числовими параметрами.

б) Пожежний рукав типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм [54]

Дослідний зразок (фрагмент) матеріалу, який було відокремлено від

пожежного рукава типу «Т» діаметром $d = 77$ мм, мав випробувальну довжину $\ell = 75$ мм, ширину $b = 100$ мм, загальну товщину $\delta = 2,7$ мм. товщину шару тканинного каркасу $\delta_T = 1,2$ мм і шару гуми $\delta_G = 1,5$ мм. Зразок було закріплено відповідними пристроями на дослідній машині і проведено цикл випробувань з його навантаження. Навантаження проводилось з постійним кроком (0,5 мм) подовження із фіксацією відповідного зусилля (кН). Результати випробувань наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Результати випробувань поперечної жорсткості рукава діаметром 77 мм

Деформація, мм	Навантаження, кН			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4 – 6
0	0,0	–	–	–
0,5	0,5	–	–	–
1,0	0,9	–	–	–
1,5	1,2	0,0	–	–
2,0	1,4	0,2	0,0	–
2,5	1,8	0,7	0,2	0,0
3,0	2,1	1,3	0,7	0,4
3,5	2,4	2,1	1,1	0,9
4,0	2,8	2,4	1,8	1,4
4,5	3,2	3,1	2,4	2,1
5,0	3,4	3,4	3,1	2,9
5,5	3,7	3,64	3,5	3,2
6,0	4,2	3,9	3,7	3,6
$C_i = F_i^{\max} / \Delta l_i^{\max}$	694 кН/м	859 кН/м	930 кН/м	1030 кН/м

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом рукава. Максимальна величина деформації $\Delta l_1^{\max} = 6,0 \cdot 10^{-3}$ м відповідала навантаженню $F_1^{\max} = 4,164$ кН. Після розвантаження залишкова

деформація фрагменту становила $\Delta l_1^{\text{зал}} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_2^{\text{max}} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_2^{\text{max}} = 3,864$ кН.

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

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta l_3^{\text{max}} = 4,0 \cdot 10^{-3}$ м при навантаженні $F_3^{\text{max}} = 3,720$ кН.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta l_3^{\text{зал}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Параметри наступних трьох режимів навантаження (4 – 6), які було проведено з аналогічними часовими інтервалами, практично не відрізняються, що дозволило усереднити їх значення.

Максимальна усереднена величина деформації становила $\Delta l_{(4-6)}^{\text{max}} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ м при усередненому навантаженні $F_{(4-6)}^{\text{max}} = 3,600$ кН. Залишкова деформація фрагменту після розвантаження була практично відсутня, тобто $\Delta l_{(4-6)}^{\text{зал}} \cong 0$.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією досліджених фрагментів пожежних рукавів дозволяє визначити їх усереднену жорсткість (табл. 3.5 – 3.6), а згодом і модулі пружності (k_y) їх матеріалу у поперечному напрямку.

Графіки, які відповідають результатам випробувань наведені на рис. 3.11.

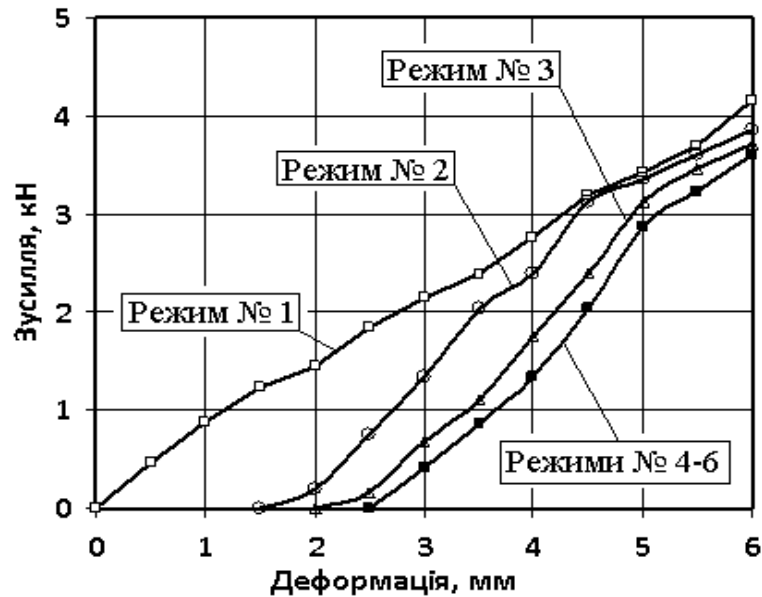


Рис. 3.11. Графіки навантажень фрагменту пожежного рукава діаметром 77 мм

3.2.3. Визначення модуля пружності матеріалу напірних пожежних рукавів при зсуві з випробувань на кручення

а) Пожежний рукав типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм [119]

Для проведення відповідних робіт було використано дослідну установку [75], схема якої наведена на рис. 3.12 [70].

Дослідний фрагмент пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром $d = 51$ мм, товщиною стінки $\delta = 1,5$ мм і випробувальною довжиною $L = 0,985$ м, було закріплено у вертикальному положенні відповідними пристроями і проведено цикл випробувань з його закручування відносно поздовжньої осі на деякий кут φ із кроком 60° при дії крутного моменту M_k , який дорівнює добутку силового навантаження F (визначається динамометром) на довжину $R = 0,281$ м важеля.

Дослідження проводились при внутрішньому тиску (P) в рукаві $P_1 = 0,2$ МПа, $P_2 = 0,4$ МПа та $P_3 = 0,6$ МПа, що забезпечувався компресором, з п'ятикратним повторення навантаження (режими 1-5). Результати

випробувань при $P_1 = 0,2$ МПа наведені в таблиці 3.5 [99].



Рис. 3.12. Схема дослідної установки

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_1^{\max} = 540^\circ$ при навантаженні $M_1^{\max} = 12,1$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_1^{\text{зал}} = 180^\circ$.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_2^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_2^{\max} = 14,3$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_2^{\text{зал}} = 60^\circ$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_3^{\max} = 480^\circ$ при навантаженні $M_3^{\max} = 16,6$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація

фрагменту становила $\Delta\varphi_3^{\text{зал}} = 60^\circ$.

Числові параметри наступних режимів навантаження (4–5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\text{max}} = 480^\circ$ при навантаженні $M_{4-5}^{\text{max}} = 17,5$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\text{зал}} = 60^\circ$.

Таблиця 3.5

Результати випробувань пожежного рукава із внутрішнім діаметром 51 мм

Кут закручування φ , град	Тиск у рукаві, $P_1 = 0,2$ МПа			
	Крутний момент M_k , Нм			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-5
0	0,0	-	-	-
60	1,8	-	-	-
120	2,7	-	-	-
180	3,7	0,0	-	-
240	5,1	2,9	0,0	-
300	6,6	4,6	2,9	0,0
360	7,9	6,2	4,3	3,3
420	9,6	7,7	6,1	4,8
480	11,0	9,4	7,7	6,1
540	12,1	11,3	9,4	7,6
600	-	14,3	12,1	9,6
660	-	-	14,8	13,3
720	-	-	16,6	15,9
780	-	-	-	17,5
$C_i = \frac{M_i^{\text{max}}}{\Delta\varphi_i^{\text{max}}}$	0,023 Нм/град	0,034 Нм/град	0,035 Нм/град	0,037 Нм/град

Графіки, які відповідають результатам випробувань при тиску у рукаві $P_1 = 0,2$ МПа, наведені на рис. 3.13.

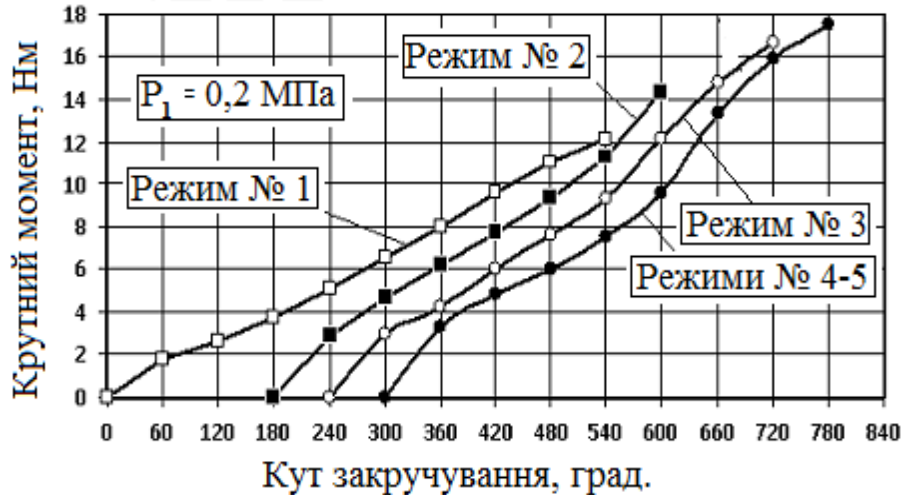


Рис. 3.13. Графіки навантажень випробувального фрагменту пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві $P_1 = 0,2$ МПа)

Визначення модуля пружності матеріалу НПП при зсуві з випробувань на кручення при $P_2 = 0,4$ МПа проведені за аналогічною методикою. Результати випробувань наведені в таблиці 3.6.

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_1^{\max} = 480^\circ$ при навантаженні $M_1^{\max} = 18,2$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_2^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_2^{\max} = 20,1$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_2^{\text{зал}} = 60^\circ$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_3^{\max} = 360^\circ$ при

навантаженні $M_3^{\max} = 19,5$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту була майже відсутня, тобто $\Delta\varphi_3^{\text{зал}} \cong 0^\circ$.

Числові параметри наступних режимів навантаження (4–5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\max} = 360^\circ$ при навантаженні $M_{4-5}^{\max} = 18,8$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту відсутня, тобто $\Delta\varphi_{4-5}^{\text{зал}} = 0$.

Таблиця 3.6

Результати випробувань пожежного рукава із внутрішнім діаметром 51 мм

Кут закручування φ , град	Тиск у рукаві, $P_2 = 0,4$ МПа			
	Крутний момент M_K , Нм			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-5
0	0,00	-	-	-
60	3,50	-	-	-
120	4,82	0,00	-	-
180	6,49	4,25	0,00	0,00
240	8,28	6,62	4,77	5,33
300	10,0	8,19	6,37	6,89
360	13,2	10,7	7,99	8,93
420	15,3	13,3	11,7	11,5
480	18,2	17,6	16,0	15,1
540	-	20,1	19,5	18,8
$C_i = \frac{M_i^{\max}}{\Delta\varphi_i^{\max}}$	0,038 Нм/град	0,0479 Нм/град	0,0542 Нм/град	0,0522 Нм/град

Графіки, які відповідають результатам випробувань при тиску у рукаві $P_2 = 0,4$ МПа, наведені на рис. 3.14. Аналіз графіків свідчить, що пружні властивості фрагменту при закручуванні спочатку зростають, а на режимах 2-

5 стабілізуються і майже не відрізняються.

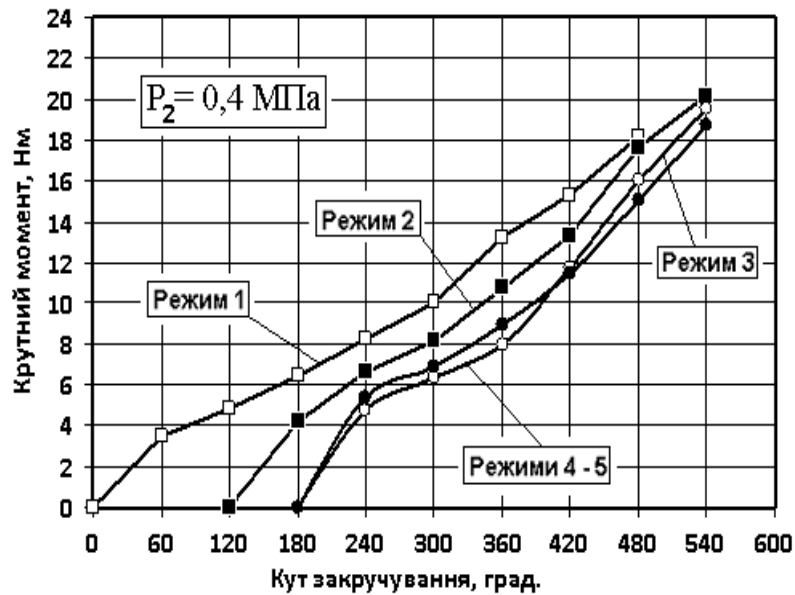


Рис. 3.14. Графіки навантажень випробувального фрагменту пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві $P_2 = 0,4$ МПа)

Визначення модуля пружності матеріалу НПР при зсуві з випробувань на кручення при $P_3 = 0,6$ МПа проведені за аналогічною методикою. Результати випробувань наведені в таблиці 3.7

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_1^{\max} = 480^\circ$ при навантаженні $M_1^{\max} = 18,8$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_2^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_2^{\max} = 20,3$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту була майже відсутня, тобто становила $\Delta\varphi_2^{\text{зал}} \cong 0$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_3^{\max} = 420^\circ$ при

навантаженні $M_3^{\max} = 21,6$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_3^{\text{зал}} = 0$.

Числові параметри наступних режимів навантаження (4–5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення.

Таблиця 3.7

Результати випробувань пожежного рукава із внутрішнім діаметром 51 мм

Кут закручу- вання φ , град	Тиск у рукаві, $P_3 = 0,6$ МПа			
	Крутний момент M_K , Нм			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-5
0	0,00	-	-	-
60	4,01	-	-	-
120	5,4	0,00	0,00	0,00
180	7,00	5,8	5,7	5,80
240	8,8	6,9	7,3	7,6
300	10,5	9,6	9,10	9,06
360	12,8	12,2	11,5	11,9
420	14,9	14,7	13,9	14,1
480	18,8	18,2	17,9	17,9
540	-	20,3	21,6	22,1
$C_i = \frac{M_i^{\max}}{\Delta\varphi_i^{\max}}$	0,039 Нм/град	0,048 Нм/град	0,052 Нм/град	0,053 Нм/град

Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_{4-5}^{\max} = 22,1$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\text{зал}} = 0$.

Графіки, які відповідають результатам випробувань при тиску у рукаві $P_3 = 0,6$ МПа, наведені на рис. 3.15.

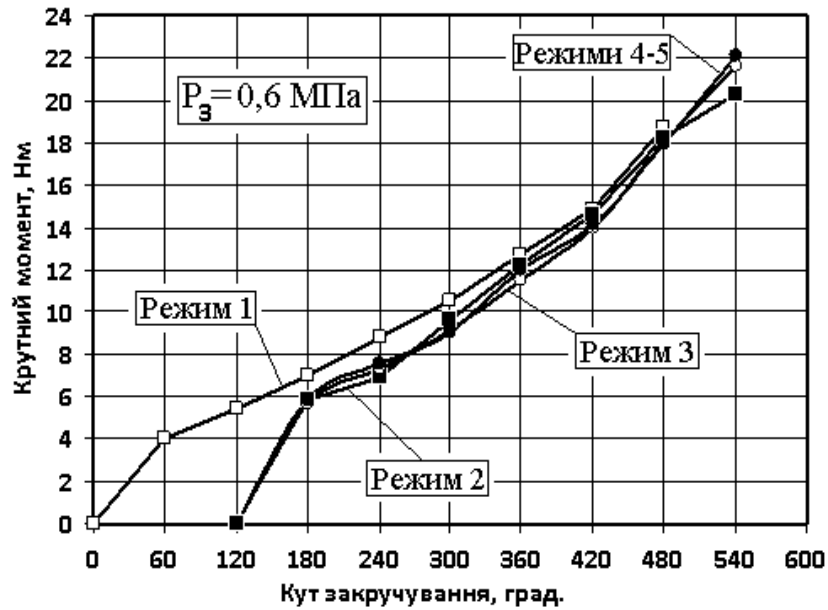


Рис. 3.15. Графіки навантажень випробувального фрагменту пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві $P_3 = 0,6$ МПа)

б) Пожежний рукав типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм.

Визначення модуля зсуву з випробувань на кручення НПР типу «Т» із внутрішнім діаметром 77 мм проведено за аналогічною методикою. Дослідний фрагмент рукава з внутрішнім діаметром $d = 77$ мм, загальною товщиною стінки $\delta = 2,7$ мм, товщиною шару тканинного каркасу $\delta_T = 1,2$ мм і шару гуми $\delta_r = 1,5$ мм - мав випробувальну довжину $L = 0,980$ м. Фрагмент було закріплено у вертикальному положенні відповідними пристроями і проведено цикл випробувань з його закручування відносно поздовжньої осі на деякий кут φ із кроком 60° при дії крутного моменту M_k , який дорівнює добутку силового навантаження F (визначається динамометром) на довжину $R = 0,281$ м важеля.

Дослідження проводились при внутрішньому тиску (P) в рукаві $P_1 = 0,2$ МПа, $P_2 = 0,4$ МПа та $P_3 = 0,6$ МПа, який забезпечувався компресором, з п'ятикратним повторення навантаження (режими 1-5).

Результати випробувань при $P_1 = 0,2$ МПа наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Результати випробувань пожежного рукава із внутрішнім діаметром 77 мм

Кут закручу- вання φ , град	Тиск у рукаві, $P_1 = 0,2$ МПа			
	Крутний момент M_k , Нм			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-5
0	0,00	-	-	-
60	2,59	-	-	-
120	3,77	-	-	-
180	5,25	0,00	-	-
240	7,25	4,31	0,00	-
300	9,34	6,59	4,58	0,00
360	11,3	8,87	6,53	5,33
420	13,65	11,05	9,32	7,65
480	15,65	13,34	11,77	9,63
540	17,20	16,15	14,41	12,08
600	-	20,40	18,61	15,25
660	-	-	22,75	21,20
720	-	-	25,52	25,34
780	-	-	-	27,90
$C_i = \frac{M_i^{\max}}{\Delta\varphi_i^{\max}}$	0,0319 Нм/град	0,0486 Нм/град	0,0532 Нм/град	0,0581 Нм/град

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_1^{\max} = 540^\circ$ при навантаженні $M_1^{\max} = 17,2$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_1^{\text{зал}} = 180^\circ$.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_2^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_2^{\max} = 20,4$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_2^{\text{зал}} = 60^\circ$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини

після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_3^{\max} = 480^\circ$ при навантаженні $M_3^{\max} = 25,52$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_3^{\text{зал}} = 60^\circ$.

Графіки, які відповідають результатам випробувань при тиску у рукаві $P_1 = 0,2$ МПа, наведені на рис. 3.16.

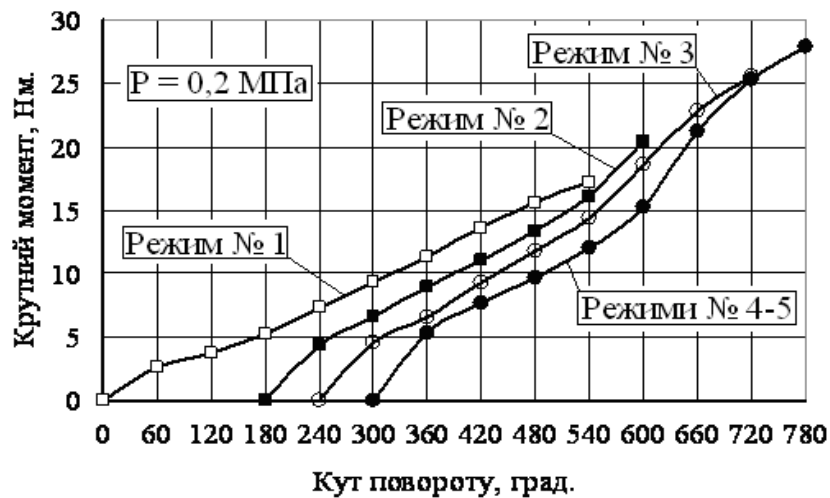


Рис. 3.16. Графіки навантажень випробувального фрагменту пожежного рукава при крученні (тиск $P_1 = 0,2$ МПа)

Якщо прийняти у першому наближенні залежність між навантаженням та деформацією фрагменту пожежного рукава при крученні лінійною, можна визначити його усереднену кутову жорсткість.

Визначення модуля пружності матеріалу НПР при зсуві з випробувань на кручення при $P_2 = 0,4$ МПа проведені за аналогічною методикою. Дослідження проводились на п'яти режимах.

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_1^{\max} = 480^\circ$ при навантаженні $M_1^{\max} = 26,92$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_2^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_2^{\max} = 29,8$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_2^{\text{зал}} = 60^\circ$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_3^{\max} = 360^\circ$ при навантаженні $M_3^{\max} = 28,9$ Нм.

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту була майже відсутня, тобто $\Delta\varphi_3^{\text{зал}} \cong 0^\circ$.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Результати випробувань при $P_2 = 0,4$ МПа

Кут закручу- вання φ , град	Тиск у рукаві, $P_2 = 0,4$ МПа			
	Крутний момент M , Нм			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-5
0	0,00	-	-	-
60	5,2	-	-	-
120	7,1	0,00	-	-
180	9,6	6,3	0,00	0,00
240	12,2	9,8	7,30	8,3
300	14,9	12,1	9,8	10,7
360	19,5	15,8	12,2	13,8
420	22,7	19,6	17,9	18,05
480	26,9	26,1	24,6	23,5
540	-	29,8	28,9	29,5
$C_i = \frac{M_i^{\max}}{\Delta\varphi_i^{\max}}$	0,056 Нм/град	0,071 Нм/град	0,081 Нм/град	0,082 Нм/град

Числові параметри наступних режимів навантаження (4–5), які було

проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення.

Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\max} = 360^\circ$ при навантаженні $M_{4-5}^{\max} = 29,53$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту відсутня, тобто $\Delta\varphi_{4-5}^{\text{зал}} = 0$.

Графіки, які відповідають результатам випробувань при тиску у рукаві $P_2 = 0,4$ МПа, наведені на рис. 3.17.

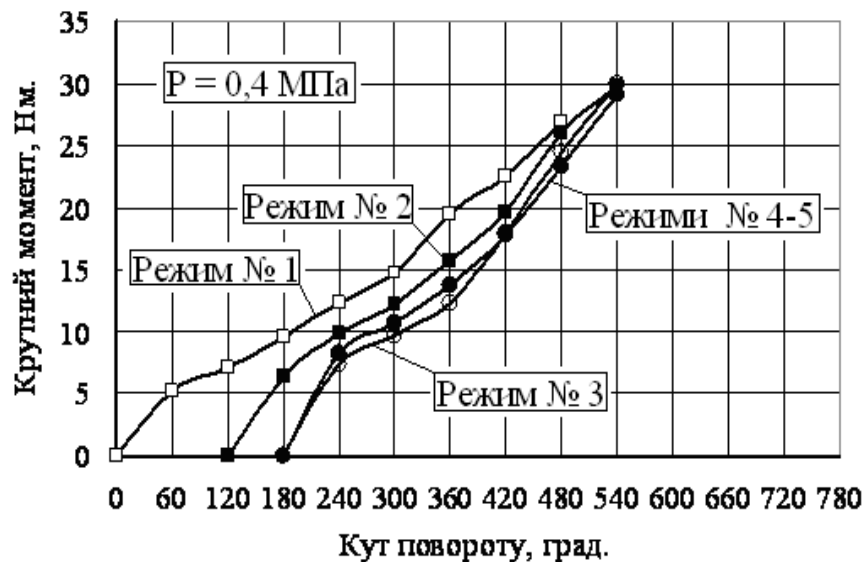


Рис. 3.17. Графіки навантажень випробувального фрагменту пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві $P_2 = 0,4$ МПа)

Аналіз графіків свідчить, що пружні властивості фрагменту при закручуванні спочатку зростають, а на режимах 2-5 стабілізуються і майже не відрізняються. Якщо прийняти у першому наближенні залежність між навантаженням та деформацією фрагменту НПР при крученні лінійною, можна визначити його усереднену кутову жорсткість (таблиця 3.9).

Визначення модуля пружності матеріалу НПР при зсуві з випробувань на кручення при $P_3 = 0,6$ МПа проведені за аналогічною методикою.

Початковий (1) режим навантаження проводився з недеформованим

фрагментом пожежного рукава. Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_1^{\max} = 480^\circ$ при навантаженні $M_1^{\max} = 29,95$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_1^{\text{зал}} = 120^\circ$.

При повторному навантаженні (2), яке було проведено через дві хвилини після першого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_2^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_2^{\max} = 32,4$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту була майже відсутня, тобто $\Delta\varphi_2^{\text{зал}} \cong 0$.

При третьому навантаженні (3), яке було проведено через дві хвилини після другого, максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_3^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_3^{\max} = 34,47$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_3^{\text{зал}} = 0$.

Результати випробувань наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Результати випробувань при $P_3 = 0,6$ МПа

Кут закручування φ , град	Тиск у рукаві, $P_3 = 0,6$ МПа			
	Крутний момент M , Нм			
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режими 4-5
0	0,00	-	-	-
60	6,4	-	-	-
120	8,6	0,00	0,00	0,00
180	11,2	9,3	9,01	9,2
240	14,0	11,1	11,7	12,1
300	16,7	15,3	14,5	14,6
360	20,4	19,4	18,4	18,9
420	23,7	23,4	22,2	22,5
480	29,9	28,9	28,5	28,7
540	-	32,4	34,5	35,2
$C_i = \frac{M_i^{\max}}{\Delta\varphi_i^{\max}}$	0,062 Нм/град	0,077 Нм/град	0,082 Нм/град	0,084 Нм/град

Числові параметри наступних режимів навантаження (4–5), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити їх значення.

Максимальна величина деформації становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\max} = 420^\circ$ при навантаженні $M_{4-5}^{\max} = 35,24$ Нм. Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta\varphi_{4-5}^{\text{зал}} = 0$.

Графіки, які відповідають результатам випробувань при тиску у рукаві $P_3 = 0,6$ МПа, наведені на рис. 3.18.

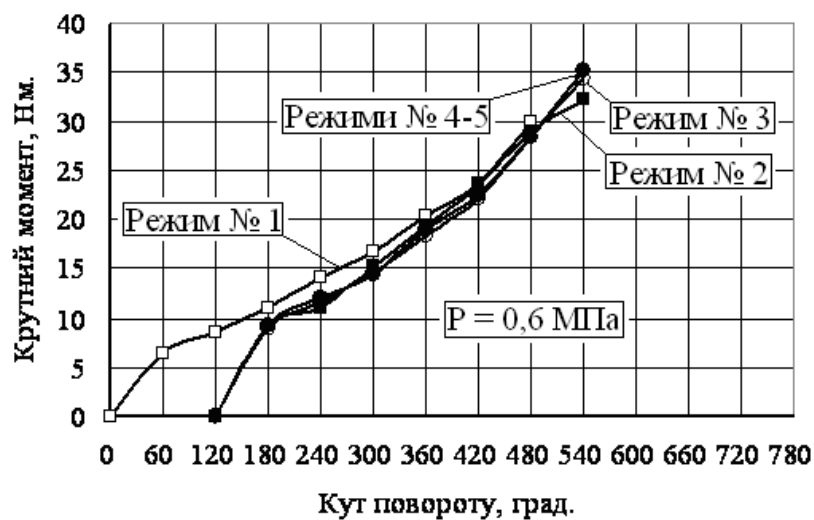


Рис. 3.18. Графіки навантажень випробувального фрагменту пожежного рукава при крученні (тиск у рукаві $P_3 = 0,6$ МПа)

Аналіз графіків (рис. 3.13 – 3.18) свідчить, що пружні властивості фрагментів НПР при закручуванні спочатку зростають, а потім стабілізуються і практично не відрізняються.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією досліджених фрагментів пожежних рукавів дозволяє визначити їх усереднену кутову жорсткість (табл. 3.5 – 3.10), а згодом і модуль пружності при зсуві (k_φ) їх матеріалу.

3.2.4. Аналіз результатів випробувань та розрахунок пружних властивостей матеріалів напірних пожежних рукавів

Аналіз графіків (рис. 3.4 – 3.18) та таблиць (3.1 – 3.10) свідчить, що фізико-механічні властивості НПР, зокрема, поздовжньої (вздовж основи) та поперечної (вздовж утка) жорсткості при розтяганні та жорсткості при крученні матеріалів найбільш поширених в експлуатації рукавів типу «Т» із внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм в умовах статичного навантаження, що визначені математичною обробкою результатів серії відповідних експериментів, вельми залежать від «історії» їх навантаження, тобто на перших двох, трьох режимах випробувань модулі пружності збільшувалися і лише потім на наступних – стабілізувалися, при суттєвому зменшенні залишкових деформацій, що наближає поведінку матеріалу пожежних рукавів до пружного.

Майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагментів пожежних рукавів дозволяє визначити (згідно до прийнятих в дослідженні припущень при побудові фізичної моделі) модулі пружності (k) їх матеріалу [21, 39].

У поздовжньому напрямку

$$k_x = \frac{F^{\max} \cdot \ell}{\pi \cdot (\Delta \ell^{\max}) (d + \delta) \cdot \delta}, \quad (3.1)$$

де: k_x – модуль пружності матеріалу рукавів у поздовжньому напрямку, Па;

F^{\max} – максимальна діюча сила, Н;

ℓ – довжина фрагменту рукава, м;

$\Delta \ell^{\max}$ – максимальна поздовжня деформація фрагменту рукава, м;

d – внутрішній діаметр рукава, м;

δ – товщина стінки рукава відповідно до прийнятих припущень, м.
У поперечному напрямку

$$k_Y = \frac{F^{\max} \cdot \ell}{(\Delta \ell^{\max}) \cdot b \cdot \delta}, \quad (3.2)$$

де: k_Y – модуль пружності матеріалу рукавів у поперечному напрямку, Па;

b – ширина фрагменту матеріалу рукава, м;

При крученні [95]

$$k_\phi = \frac{M^{\max} L}{\Delta \phi^{\max} I_P}, \quad (3.3)$$

де: k_ϕ – модуль пружності матеріалу рукавів при зсуві, Па;

M^{\max} – максимальний крутний момент, Нм;

L – довжина випробувального фрагменту пожежного рукава, м;

$\Delta \phi^{\max}$ – максимальний кут закручування фрагменту пожежного рукава,

рад;

I_P – полярний момент інерції перерізу рукава, м⁴:

$$I_P = \frac{\pi((d + 2\delta)^4 - d^4)}{32}, \quad (3.4)$$

де: d – внутрішній діаметр рукава, м;

δ – товщина стінки рукава відповідно до прийнятих припущень, м.

Результати розрахунків відповідних модулів пружності для стабілізованого стану матеріалу НПР, згідно (3.1 – 3.4) наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Фізико-механічні властивості матеріалу НПР

Модуль пружності матеріалу НПР	Рукав типу «Т», з внутрішнім діаметром d	
	d = 51 мм	d = 77 мм
Поздовжній (k_x), МПа	284	441
Поперечний (k_y), МПа	397	643
При зсуві (k_ϕ), МПа (тиск 0,6 МПа)	17	9,35

3.3. Експериментальні дослідження впливу розмірів дефекту на кут закручування напірних пожежних рукавів

3.3.1. Розробка обладнання та методики проведення експериментальних досліджень напірних пожежних рукавів

Проведені теоретичні дослідження та розрахунки на математичній моделі напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів як цілих так і при наявності дефектів дали змогу встановити реальний показник – кут закручування, що дає змогу розробити методику та сконструювати відповідний пристрій для експериментального визначення наявності та місця розташування прихованих дефектів НПР.

3.3.1.1. Розробка дослідного зразка установки для випробувань напірних пожежних рукавів

З урахуванням проведених теоретичних досліджень на математичній моделі напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів як цілих так і при наявності дефектів та особливостей експлуатації і технічного обслуговування НПР був розроблений дослідний зразок установки для їх випробування [80].

Принципова схема пристрою представлена на рис. 3.19. До рами установки (1) приєднуються два циліндричні затискачі (6) з гумовими накладками, які утримують правий та лівий краї досліджуваної частини напірного пожежного рукава (3) від прокручування.

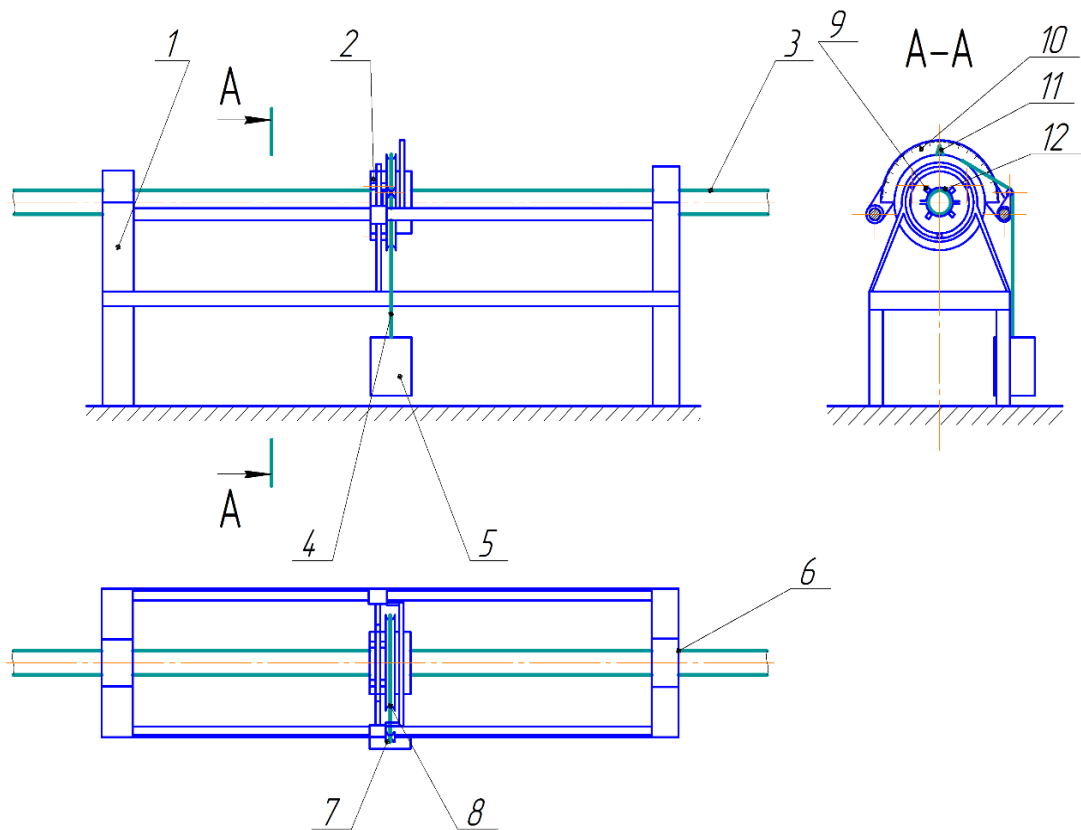


Рис. 3.19. Схема дослідної установки для визначення кута закручування пожежних напірних рукавів: 1 – рама установки; 2 – головний активний корпус; 3 – зразок напірного пожежного рукава; 4 – трос; 5 – вантаж; 6 – циліндричні затискачі; 7 – опора кочення; 8 – направляюча тросу; 9 – фіксатори; 10 – вимірювач деформації; 11 – стрілка-показчик; 12 – затискач

Головний активний корпус (2), що знаходиться в центральній частині пристрою, призначений для навантаження і, відповідно, повороту середини досліджуваної частини напірного пожежного рукава фіксованим крутним моментом за допомогою затискача (12) з гумовими накладками, який

закріплено на головному активному корпусі та затискує рухому центральну частину НПР за допомогою фіксаторів (9).

Навантаження крутним моментом відбувається за допомогою вантажу (5), троса (4) та напрямної (8).

Головний активний корпус це не тільки вузол навантаження напірного пожежного рукава крутним моментом, він також призначений для вимірювання кута закручування НПР, який фіксується стрілкою-показчиком (11) на відповідній шкалі вимірювача деформації (10).

Вимірювач деформації виконано у вигляді диску зі шкалою вимірювання кута закручування, який закріплено до рами установки біля головного активного корпусу.

До рами установки (1) прикріплено одну опору кочення (7) для троса, яка виконана у виді ролика, вісь якого перпендикулярна до напрямку троса. Підшипники попереджують прогин досліджуваної центральної частини НПР.

Для дослідження напірних пожежних рукавів різних типорозмірів використовуються затискачі різного діаметру, які приєднуються до головного активного корпусу фіксаторами (9).

3.3.1.2. Розробка методики дослідження впливу розмірів дефекту на зміну кута закручування напірних пожежних рукавів

Метою дослідження є визначення зміни кута закручування (φ) напірних пожежних рукавів діаметром 51 та 77 мм в залежності від тиску (P) води (або повітря) в рукаві та довжини дефекту (L_d). Відповідно метою експерименту було одержання залежності $\varphi = f(L_d, P)$, для визначення якої проведено експеримент, з визначення кута закручування досліджуваної ділянки НПР під дією відповідного навантаження – фіксованого крутного

моменту. Дослідження проводилось на дослідній установці рис. 3.19, в наступній послідовності:

- затискач (12) фіксується на досліджуваній частині НПР (3);
- затискач з НПР встановлюється в головний активний корпус (2);
- за допомогою насосу (на рисунку не вказаний) зразок НПР заповнюється водою до визначеного програмою експерименту тиску (P);
- обидва краї зразку НПР фіксуються циліндричними затискачами (6);
- до тросу вузла навантаження крученням - головного активного корпусу (2) підвішується вантаж (5);
- фіксується кут закручування зразка НПР.

Розроблений спосіб випробувань НПР та відповідний пристрій захищені патентом України на корисну модель [80] (додаток Б).

При плануванні досліджень та обробці отриманих результатів експериментів з визначення кутів закручування напірних пожежних рукавів неушкоджених та при наявності дефектів різної довжини використано математичний метод планування експерименту.

Оскільки в випробуваннях досліджувався вплив тільки двох факторів, то був поставлений експеримент типу 2^2 [5, 47]. Для побудови полінома другого порядку використано метод, який запропоновано Г.Є.П. Боксом и К.Б. Вильсоном [108].

Значення тиску в рукаві варіювалося від 0,2 МПа – найменший тиск в НПР до 0,6 МПа - найбільший тиск.

Нижній рівень довжини дефекту становив 0 мм, що обумовлено необхідністю простежити зміну кута закручування на новому рукаві. Максимальна довжина дефекту - 100 мм.

Для проведення дослідження складено план повного двофакторного експерименту. Рівні варіювання чинників наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Рівні варіювання чинників

Інтервал варіювання та рівень чинників	Тиск в рукаві	Довжина дефекту, мм
	P, МПа	L _д , мм
Нульовий рівень $x_i = 0$	0,4	50
Інтервал варіювання	0,2	50
Нижній рівень $x_i = -1$	0,2	0
Верхній рівень $x_i = +1$	0,6	100
Кодове позначення	x_1	x_2

3.3.2. Результати експериментального дослідження впливу розмірів дефекту на зміну кута закручування напірних пожежних рукавів

Відповідно до мети дослідження випробування для визначення залежності $\varphi = f(L_d, P)$, проводились для двох найбільш розповсюджених типорозмірів напірних пожежних рукавів типу «Г» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм.

Таблиця 3.13

Результати дослідження НІР діаметром 51 мм – дефект по основі

№ досліду	Планування		Результат					
	x_1	x_2	y_1°	y_2°	y_3°	y_4°	y_5°	\bar{y}_o
1	+1	+1	78	79	81	82	80	80
2	+1	-1	71	71	74	75	76	73,4
3	-1	+1	125	127	128	128	127	127
4	-1	-1	119	120	121	120	121	120,2
5	0	0	90	92	92	93	93	92
6	+1	0	78	77	77	75	75	76,4
7	-1	0	122	123	126	125	125	124,4
8	0	+1	108	110	111	111	110	110
9	0	-1	85	86	89	89	89	87,7

У таблицях 3.13 та 3.14 наведено план-матрицю і результати досліджень для напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм для випадків дефекту по основі та по утку, відповідно [67].

Таблиця 3.14

Результати дослідження НПР діаметром 51 мм - дефект по утку

№ дослідю	Планування		Результат					\bar{y}_y
	x_1	x_2	y_1^y	y_2^y	y_3^y	y_4^y	y_5^y	
1	+1	+1	84	85	86	85	85	85
2	+1	-1	71	71	74	75	76	73,4
3	-1	+1	134	135	134	136	135	134,8
4	-1	-1	119	120	121	120	121	120,2
5	0	0	99	98	102	101	100	100
6	+1	0	82	83	83	84	83	83
7	-1	0	129	129	130	130	130	129,6
8	0	+1	110	111	111	112	112	111,2
9	0	-1	85	86	89	89	89	87,7

В результаті обробки результатів дослідження отримано рівняння регресії у кодованих значеннях чинників для випадків дефектів по основі та по утку:

$$y_{51}^o = 95,16 - 23,63x_1 + 5,95x_2 + 3,67x_1^2 + 2,12x_2^2 - 0,05x_1x_2; \quad (3.1)$$

$$y_{51}^y = 101,07 - 23,87x_1 + 8,28x_2 + 4,7x_1^2 - 2,15x_2^2 - 0,75x_1x_2. \quad (3.2)$$

Для того, щоб отримати рівняння в натуральних значеннях чинників, використані рівняння [5, 47, 108]:

$$x_1 = \frac{P - x_{1_0}}{\Delta x_1}; \quad (3.3)$$

$$x_2 = \frac{L_d - x_{2_0}}{\Delta x_2}, \quad (3.4)$$

де x_{1_0} та x_{2_0} - значення відповідного чиннику на нульовому рівні (таблиця 3.1), а Δx_1 та Δx_2 - їхні інтервали варіювання за тією ж таблицею.

В результаті розрахунків отримаємо рівняння:

$$\varphi_{51}^{\circ} = 91,75P^2 + 0,000848L_d^2 - 191,3P + 0,0362L_d - 0,005P L_d + 153,17 \quad (3.5)$$

$$\varphi_{51}^y = 117,5P^2 - 0,00086L_d^2 - 209,6P + 0,282L_d - 0,075PL_d + 155,68 \quad (3.6)$$

де: P – тиск в рукаві, МПа; L_d – довжина дефекту, мм

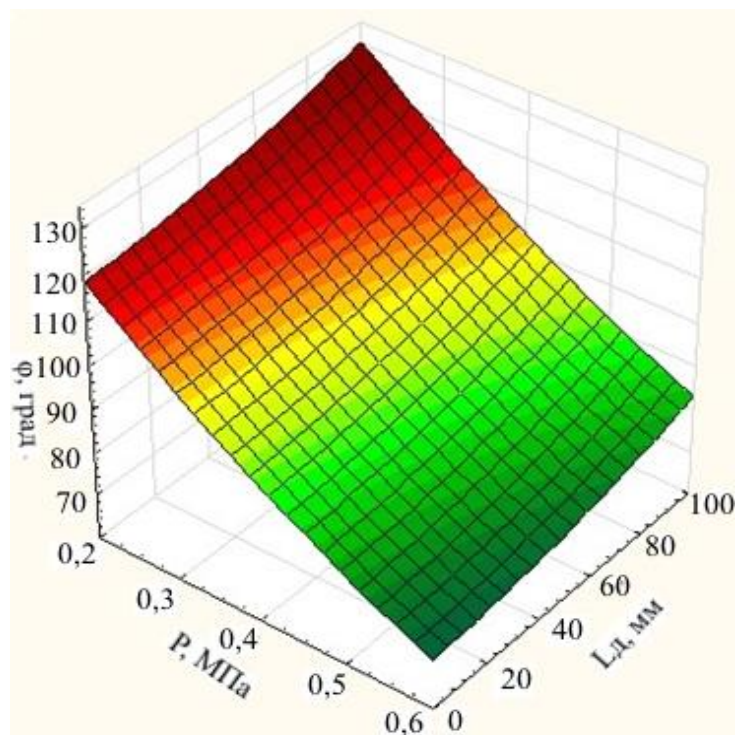


Рис. 3.20. Залежність кута закручування φ_{51}° від тиску в рукаві P та довжини дефекту по основі L_d для НПР $\varnothing 51$ мм

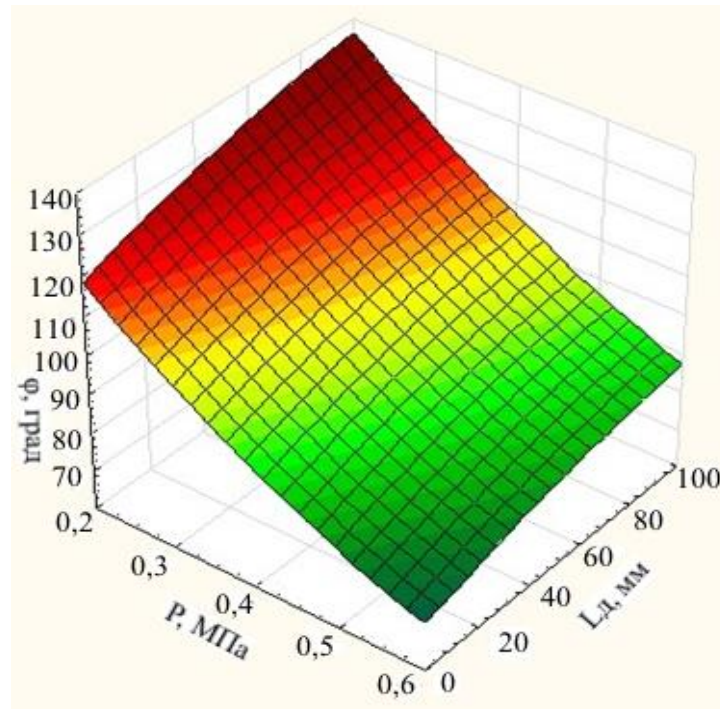


Рис. 3.21. Залежність кута закручування φ_{51}^y від тиску в рукаві P та довжини дефекту по утку L_d для НПР $\varnothing 51$ мм

Відповідні поверхні відгуку залежності зміни кута закручування φ напірного пожежного рукава діаметром 51 мм від довжини дефекту L_d та тиску в рукаві P наведені для випадків дефекту по основі на рис. 3.20, а по утку на рис. 3.21.

Аналізуючи отримані поверхні відгуку залежності зміни кута закручування напірного пожежного рукава діаметром 51 мм від тиску в рукаві можна зробити висновок, що вона має практично лінійний характер.

Це дає змогу зробити висновок, що тиск у рукаві діаметром 51 мм не впливає на характер зміни кута закручування рукава φ від довжини дефекту L_d , як по основі, так і по утку, тому для практичного застосування доцільно використовувати для дослідження рукавів тиск $P=0,6$ МПа, який можна вільно отримати за будь-яких умов.

Враховуючи це, можна записати:

$$\varphi_{51}^o = 71,42 + 0,000848L_d^2 + 0,0332L_d \quad (3.7)$$

$$\varphi_{51}^y = 72,22 - 0,00086L_d^2 + 0,237L_d \quad (3.8)$$

Залежність кута закручування від довжини дефекту при постійному тиску $P=0,6$ МПа, яка визначена рівняннями 3.7 та 3.8, наведена на рис. 3.22 та 3.23, відповідно для основи і утка.

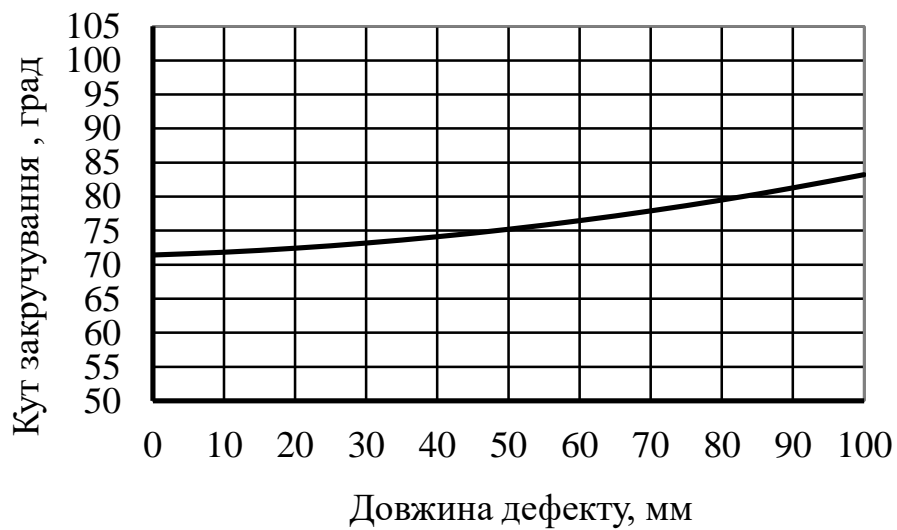


Рис. 3.22. Експериментальна залежність (рівняння 3.7) кута закручування рукава $\varnothing 51$ мм від довжини дефекту по основі



Рис. 3.23. Експериментальна залежність (рівняння 3.8) кута закручування рукава $\varnothing 51$ мм від довжини дефекту по утку

У таблицях 3.15 та 3.16 наведено план-матрицю і результати досліджень для рукава Ø 77 мм для випадків дефектів по основі та по утку.

Таблиця 3.15

Результати дослідження НІР Ø 77 мм - дефект по основі

Дослід	Планування		Результат					
	x_1	x_2	y_1°	y_2°	y_3°	y_4°	y_5°	\bar{y}
1	+1	+1	33	35	32	34	33	33,4
2	+1	-1	29	30	29	31	32	30,2
3	-1	+1	54	56	56	57	57	56
4	-1	-1	52	53	52	51	55	52,6
5	0	0	38	38	40	39	40	39
6	+1	0	30	33	32	33	32	32
7	-1	0	51	55	55	53	56	54
8	0	+1	46	45	47	44	45	45,4
9	0	-1	35	36	35	37	36	35,8

Таблиця 3.16

Результати дослідження НІР Ø 77 мм - дефект по утку

Дослід	Планування		Результат					
	x_1	x_2	y_1^y	y_2^y	y_3^y	y_4^y	y_5^y	\bar{y}
1	+1	+1	34	37	36	37	37	36,2
2	+1	-1	29	30	29	31	32	30,2
3	-1	+1	54	56	59	58	58	57
4	-1	-1	52	53	52	51	55	52,6
5	0	0	38	41	40	42	39	40
6	+1	0	33	34	32	33	33	33
7	-1	0	54	55	56	54	56	55
8	0	+1	46	49	48	49	48	48
9	0	-1	35	36	35	37	36	35,8

У результаті обробки результатів дослідження отримані рівняння регресії у кодованих значеннях чинників для випадку дефекту по основі та по утку:

$$y_{77}^o = 39,69 - 11,17x_1 + 2,7x_2 + 2,97x_1^2 + 0,57x_2^2 - 0,05x_1x_2; \quad (3.9)$$

$$y_{77}^y = 40,84 - 10,87x_1 + 3,77x_2 + 2,73x_1^2 + 0,63x_2^2 + 0,4x_1x_2. \quad (3.10)$$

Для того, щоб отримати рівняння в натуральних значеннях чинників, використані рівняння (3.3-3.4). В результаті розрахунків отримані рівняння:

$$\varphi_{77}^o = 74,17P^2 + 0,00022L_d^2 - 114,92P + 0,033L_d - 0,005PL_d + 71,66; \quad (3.12)$$

$$\varphi_{77}^y = 68,33P^2 + 0,00025L_d^2 - 110,99P + 0,034L_d + 0,04PL_d + 71,18. \quad (3.13)$$

Поверхні відгуку залежності зміни кута закручування φ НІР діаметром 77 мм від довжини дефекту L_d та тиску в рукаві P для випадків дефекту по основі наведені на рисунку 3.24, а по утку на рисунку 3.25.

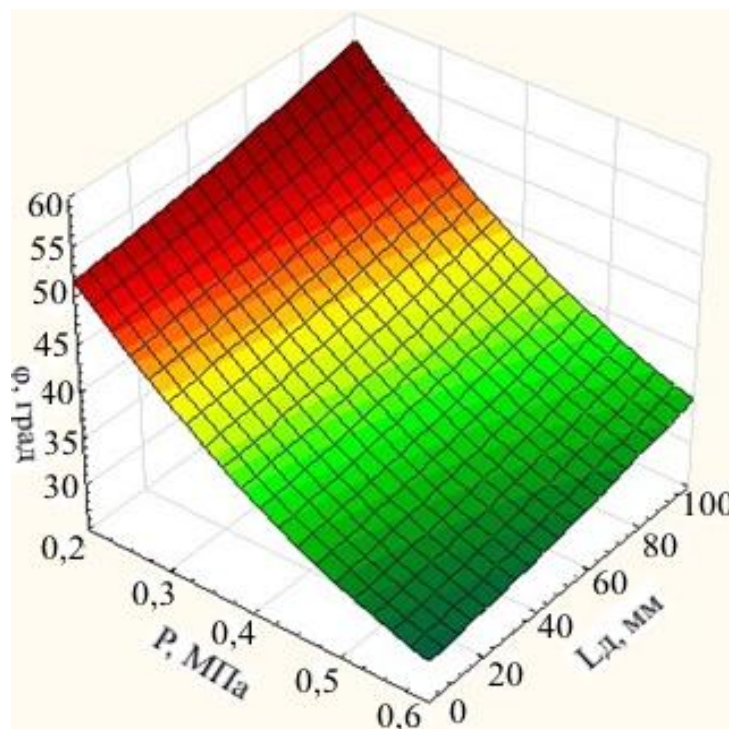


Рис. 3.24. Залежність кута закручування φ_{77}^o від тиску в рукаві P та довжини дефекту по основі L_d для НІР $\varnothing 77$ мм

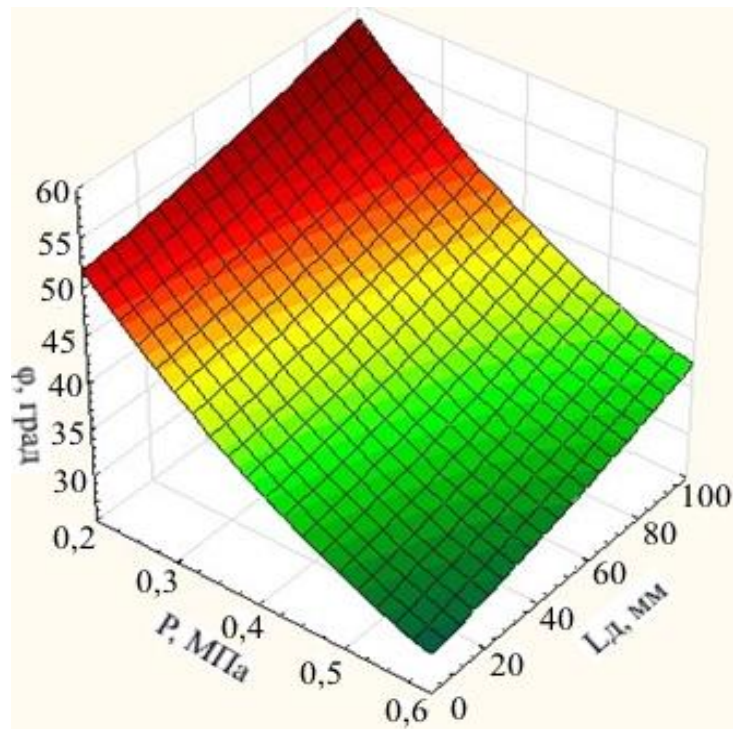


Рис. 3.25. Залежність кута закручування φ_{77}^y від тиску в рукаві P та довжини дефекту по утку L_d для НПР $\varnothing 77$ мм

Аналіз досліджень проведених для рукава діаметром 77 мм підтвердили, що зміна кута закручування рукава від тиску в ньому має практично лінійний характер.

Це дає змогу зробити висновок, що тиск у НПР діаметром 77 мм не впливає на характер зміни кута закручування φ рукава від довжини дефекту L_d , як по основі, так і по утку, тому для практичного застосування доцільно використовувати для дослідження тиск $P=0,6$ МПа, який можна вільно отримати за будь-яких умов. Враховуючи це, для тиску $P=0,6$ МПа можна записати:

$$\varphi_{77}^o = 29,41 + 0,00022L_d^2 + 0,03L_d \quad (3.13)$$

$$\varphi_{77}^y = 29,18 + 0,00025L_d^2 + 0,058L_d \quad (3.14)$$

Залежність кута закручування від довжини дефекту при постійному тиску $P=0,6$ МПа, яка визначена рівняннями (3.13, 3.14), наведена на рисунках 3.26 та 3.27, відповідно для основи і утка.



Рис. 3.26. Експериментальна залежність (рівняння 3.13) кута закручування рукава $\varnothing 77$ мм від довжини дефекту по основи

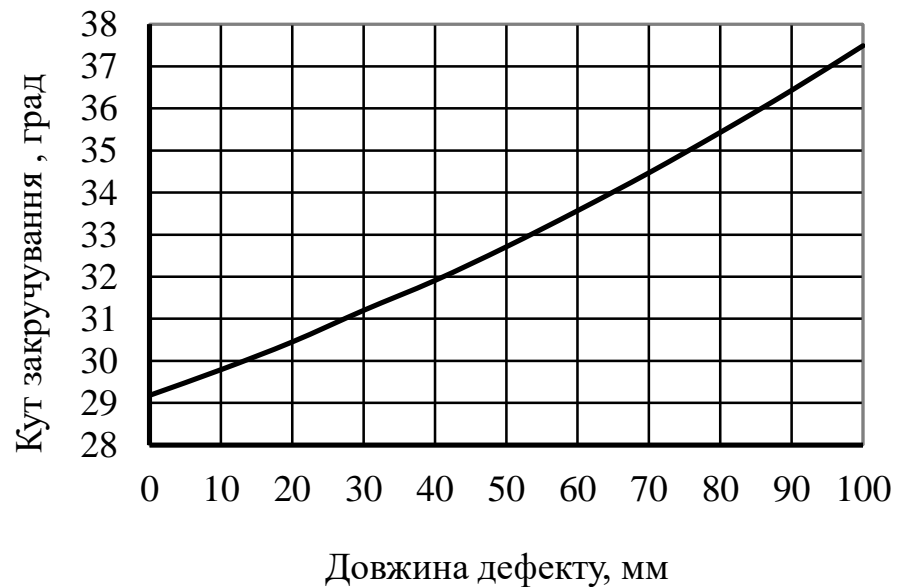


Рис. 3.27. Експериментальна залежність (рівняння 3.14) кута закручування рукава $\varnothing 77$ мм від довжини дефекту по утку

3.4. Перевірка адекватності математичної моделі результатами експериментальних досліджень

Адекватність математичної моделі визначається порівнянням результатів теоретичних розрахунків з даними натурних випробувань.

Експериментально визначені залежності кутів закручування ділянок рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм від довжини дефектів при постійному тиску $P=0,6$ МПа під дією фіксованого моменту, які наведені на рисунках 3.22, 3.23, 3.26, 3.27 [67].

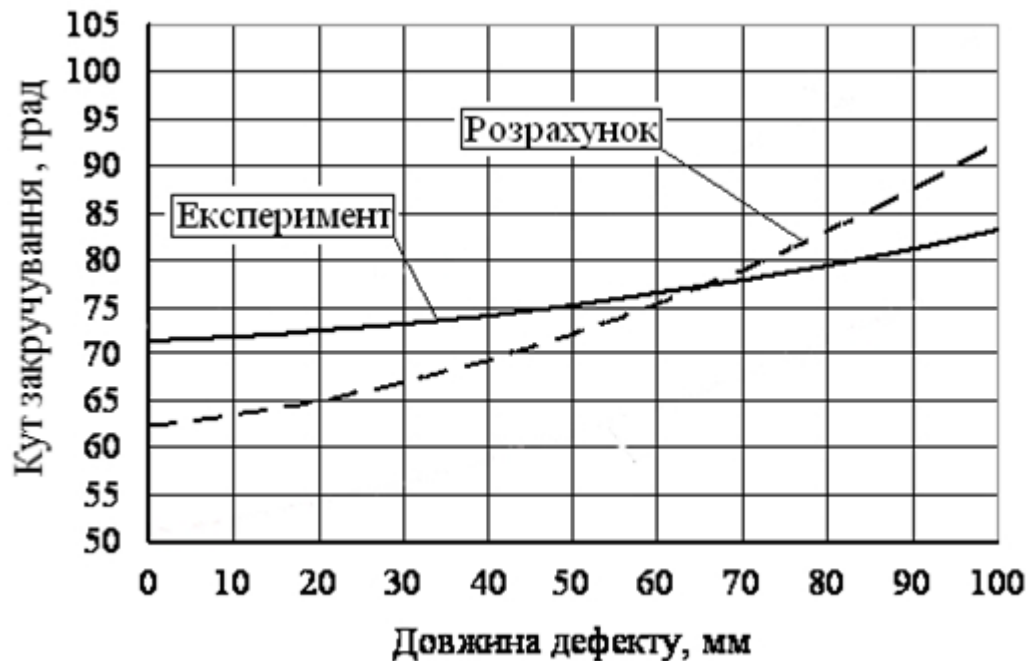


Рис. 3.28. Перевірка адекватності математичної моделі НПР Ø 51 мм результатами експериментальних досліджень (дефект по основі)

Відповідно для основи і утка та результати аналогічних залежностей, що отримані розрахунками на математичній моделі (рис. 2.13 – 2.16) співпадають за характером, тобто збільшуються при зростанні величини

дефекту (рис. 3.28 – 3.31), а кількісно відрізняються на 6,23 – 14,22 відсотків (таблиця 3.17)

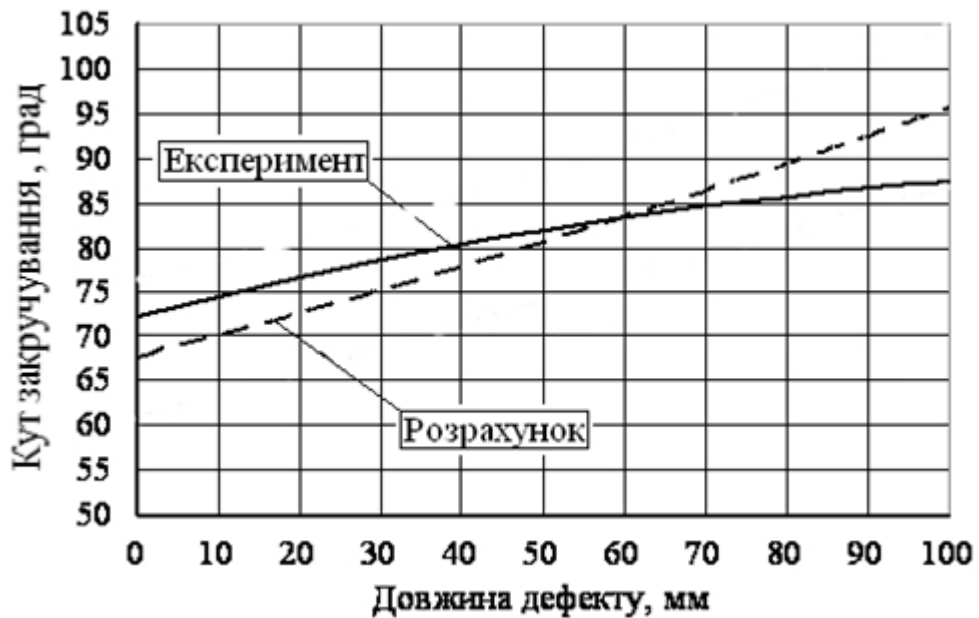


Рис. 3.29. Перевірка адекватності математичної моделі НПР Ø 51 мм результатами експериментальних досліджень (дефект по утку)

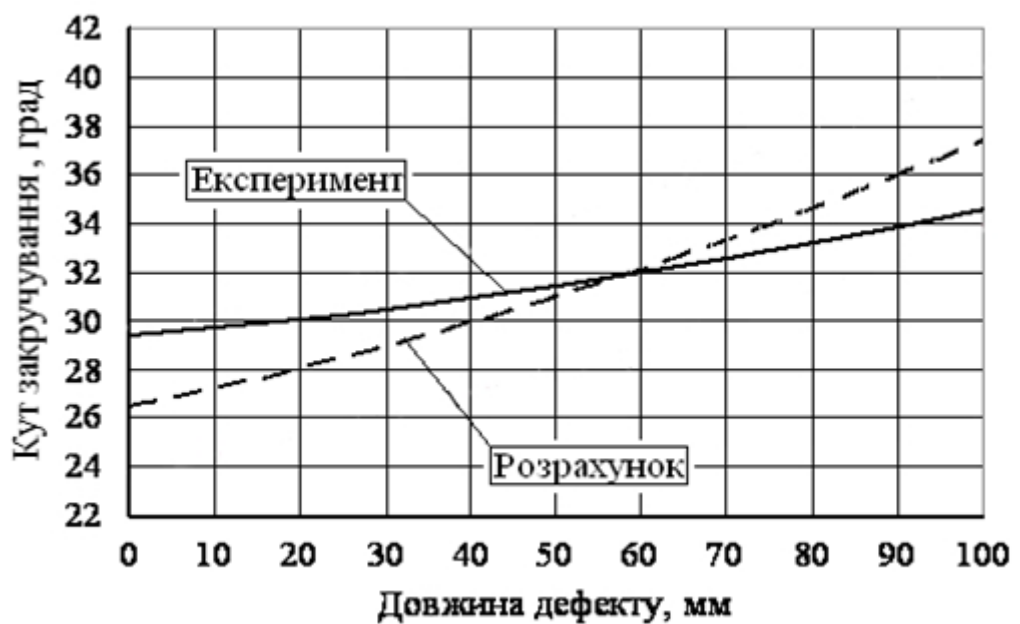


Рис. 3.30. Перевірка адекватності математичної моделі НПР Ø 77 мм результатами експериментальних досліджень (дефект по основі)

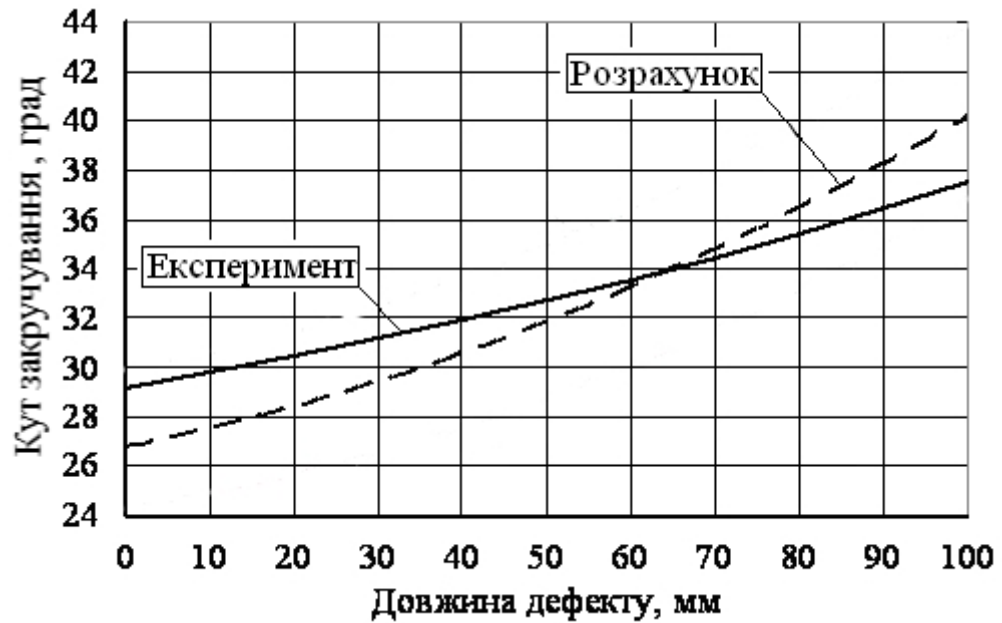


Рис. 3.31. Перевірка адекватності математичної моделі НПР Ø 77 мм результатами експериментальних досліджень (дефект по утку)

Таблиця 3.17

Кількісна оцінка відмінностей результатів теоретичних та експериментальних досліджень

Рукав	Дефект Довжина, мм	По основі			По утку		
		Кут закручування, град.		Відмінність %	Кут закручування, град.		Відмінність %
		Розрахунок	Експеримент		Розрахунок	Експеримент	
Тип «Т» Ø 51 мм	0	62,5	71,4	14,2	67,7	72,2	6,2
	100	92,4	83,2	9,9	95,1	87,3	8,2
Тип «Т» Ø 77 мм	0	26,7	29,4	10,1	26,9	29,2	8,3
	100	37,4	34,6	7,4	40,1	37,5	6,6

Аналіз даних таблиці 3.17 демонструє що наявність дефекту призводить до збільшення кута закручування на 16 – 28%.

3.5. Висновки по третьому розділу

1. Статистична обробка результатів дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальних пожеж установила його відповідні значення - середнє експлуатаційне – 0,31 МПа та максимальнє експлуатаційне – 0,6 МПа, які разом із максимальним випробувальним за ДСТУ – 2,4 МПа визначили для наступних розрахунків параметри силового навантаження НПР.

2. Встановлено, що фізико-механічні властивості НПР, зокрема, модулі пружності їх матеріалу, що визначені математичною обробкою результатів серії відповідних експериментів, вельми залежать від «історії» їх навантаження, тобто на перших двох, трьох режимах випробувань модулі пружності збільшувалися і лише потім на наступних – стабілізувалися, при суттєвому зменшенні залишкових деформацій, що наближає поведінку матеріалу пожежних рукавів до пружного. Відповідно, майже лінійна залежність між навантаженням та деформацією фрагментів пожежних рукавів на стабілізованих режимах, дозволяє визначити модулі пружності їх матеріалу (табл. 3.11), необхідних для конкретизації чисельних розрахунків.

3. Чисельні розрахунки з урахуванням експериментально визначених фізико-механічних властивостей НПР дозволили визначити відповідний чинник – кут закручування пожежного рукава під дією фіксованого моменту, величина якого в значній мірі залежить від наявності та розмірів дефекту рукава, що може бути використано для пошуку цього дефекту.

4. Розроблено дослідний зразок установки для випробувань напірних пожежних рукавів та методика проведення відповідних експериментальних досліджень.

5. Визначено, що тиск у НПР не впливає на характер зміни кута закручування рукава від довжини дефекту, як по основі, так і по утку, тому

для практичного застосування доцільно використовувати для дослідження тиск $P = 0,6$ МПа.

6. Розроблений випробувальний пристрій дозволяє методом послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР під дією фіксованого крутного моменту визначити ділянки, де кут закручування суттєво збільшується. Наявність дефекту призводить до збільшення кута закручування на 16 – 28%.

7. Визначено, що відмінність між розрахунковими та експериментальними результатами визначення зміни кута закручування рукава від довжини дефекту, як по основі, так і по утку становить від 6,2% до 14,2%, тобто доведена адекватність математичної моделі і, відповідно, допустимість припущень, які були зроблені при її створенні.

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ

4.1. Розробка пропозицій для випробувань напірних пожежних рукавів і пошуку місця розташування дефекту із застосуванням розробленої установки

Проведені теоретичні дослідження та розрахунки на математичній моделі напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів як цілих, так і при наявності дефектів встановили показчик – кут їх закручування, який дає можливість експериментального визначення наявності та місця розташування прихованих дефектів НПР на установці наведеній на рис. 4.1 і рис. 4.2.

Експериментальні дослідження на спеціально сконструйованому пристрої проведені за розробленою методикою підтвердили результати теоретичних досліджень, тобто практично довели можливість експериментального визначення наявності прихованих дефектів в рукавах.

Прототип випробувального пристрою, який захищено патентом [80] (Додаток Б), дозволяє методом послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР під дією фіксованого крутного моменту, визначити ділянки, де кут закручування суттєво збільшується, що свідчить про наявність на ній дефекту.

Проведення випробувань НПР на пошук прихованих дефектів варто проводити водночас із плановими перевірками їх на герметичність.

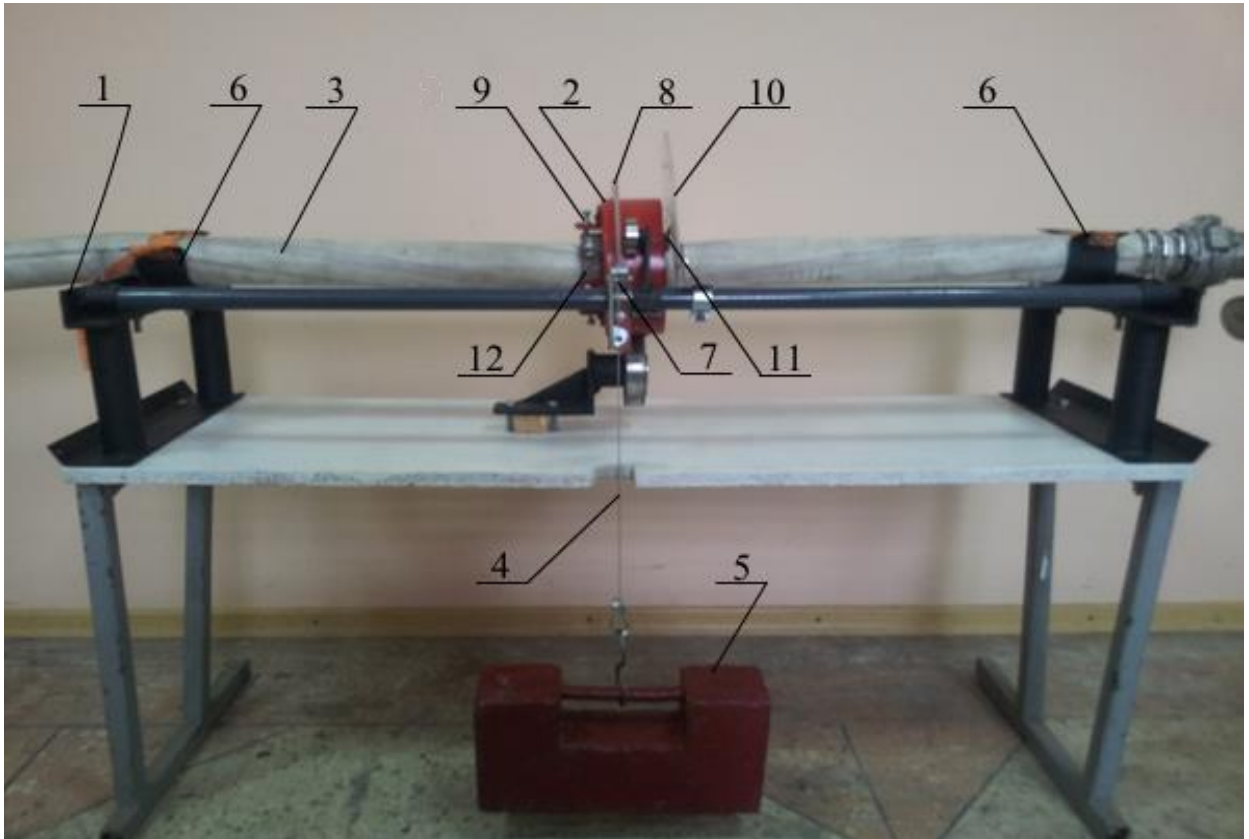


Рис. 4.1. Дослідна установка для визначення кута закручування пожежних напірних рукавів: 1 – рама установки; 2 – головний активний корпус; 3 – зразок напірного пожежного рукава; 4 – трос; 5 – вантаж; 6 – циліндричні затискачі; 7 – опора кочення; 8 – направляюча тросу; 9 – фіксатори; 10 – вимірювач деформації; 11 – стрілка-показчик; 12 – затискач.

Вимоги до засобів вимірювань та випробувального устаткування

- вимір тиску в середині рукава проводити манометром класу точності 1,0 (допустима похибка не більше $\pm 0,01$ МПа);
- час заповнення рукава визначати за допомогою секундоміра, який забезпечує допустиму похибку вимірювань ± 1 с;
- у місцях з'єднання рукавів з арматурою повинна забезпечуватися герметичність;
- стенд для випробування рукавів (рис. 4.1., 4.2.) повинен містити корпус установки 1 довжиною 1 м, затискач 12, який фіксується на рукаві 3,

пристрій для кріплення рукава 6, активний корпус 2 зі стрілкою 11 та фіксаторами 9, опору кочення 7, шкала 10, трос 4, направляючу тросу 8 та вантаж 5;

- пристрої для кріплення рукава та затискач повинні відповідати діаметру рукава та мати гумову накладку, яка служить для усунення прослизання;

- діаметр активного корпусу $210 \text{ мм} \pm 10 \text{ мм}$;

- активний корпус, вимірювач деформації та пристрій для кріплення рукава повинні бути співвісними;

- вимірювач деформації встановлюється паралельно осі рукава.

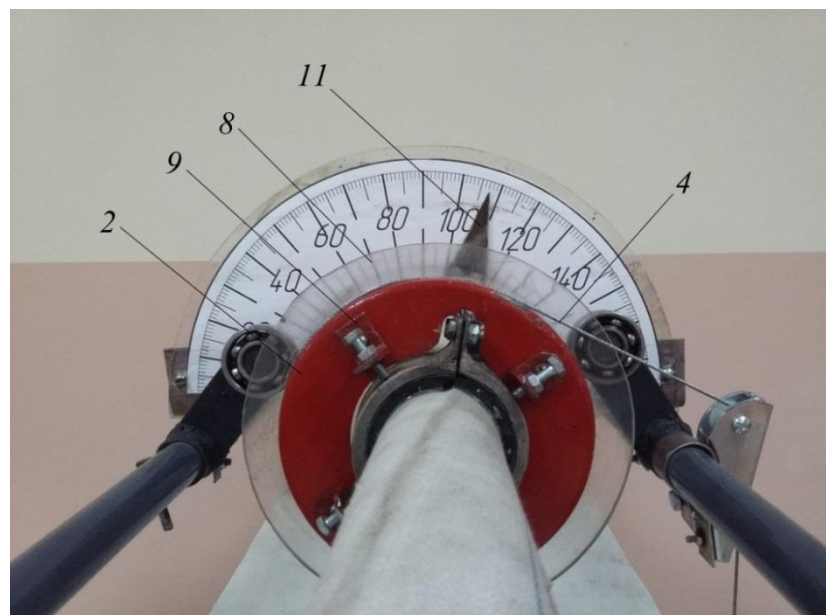


Рис. 4.2. Головний активний корпус: 2 – корпус; 4 – трос; 8 – направляюча тросу; 9 – фіксатори; 11 – стрілка.

Випробування необхідно проводити при стабілізованому стані матеріалу тканинного шару НПР, для цього доцільно кілька разів повільно підвищувати до нормативного, а потім зменшувати тиск в рукаві.

4.1.1. Методика діагностування прихованих дефектів у напірних пожежних рукавах

Дослідження із використанням запропонованого випробувального пристрою (рис. 4.1) доцільно проводити в наступній послідовності:

- затискач (12) фіксується на досліджуваній частині НПР (3);
- затискач з НПР встановлюється в головний активний корпус (2);
- НПР заповнюється водою до визначеного методикою тиску;
- обидва краї досліджуваної частини НПР фіксуються циліндричними затискачами (6);
- до тросу вузла навантаження крученням - головного активного корпусу (2) підвішується вантаж (5);
- фіксується кут закручування зразка НПР;
- вантаж (5) знімається;
- тиск в НПР зменшується;
- обидва краї досліджуваної частини НПР вивільняються від циліндричних затискачів (6);
- затискач (12) з НПР вивільняється із головного активного корпусу (2);
- затискач (12) знімається з НПР і фіксується на наступній частині НПР;
- цикл випробувань повторюється.

4.1.2. Методика визначення місця розташування дефектів в напірних пожежних рукавах

Аналіз результатів послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР під дією фіксованого крутного моменту визначає ділянки, де кут закручування суттєво збільшується, що свідчить про наявність на них дефектів.

Обмеженість відповідної ділянки, яка визначається розмірами випробувального пристрою, значно полегшує подальше знаходження дефектів.

Методика визначення місця розташування дефектів в напірних пожежних рукавах впроваджена в Український науково-дослідний інститут цивільного захисту.

4.2. Перевірка можливості використання запропонованого способу визначення працездатності пожежних рукавів

Проведені експериментальні дослідження, які виконані для конкретних зразків НПР (діаметром 51 та 77 мм) довели ефективність пошуку їх дефектів запропонованим способом. Для з'ясування можливості його використання для рукавів інших виробників з різними термінами експлуатації проведені теоретичні розрахунки кутів закручування деякої вибірки основних пожежних рукавів з дефектами.

4.2.1. Визначення пружних властивостей матеріалів деякої вибірки основних напірних пожежних рукавів

Зважаючи на суттєву нестабільність фізико-механічних характеристик пружності матеріалу напірних пожежних рукавів, які залежать від типу рукава і технології його виробництва, від «історії» та умов навантаження, вологості матеріалу, терміну експлуатації тощо, доцільно провести їх визначення для деякої вибірки фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм (рис. 4.3.) та 77 мм (рис. 4.4.) виробництва різних підприємств, як нових, так і бувших у вжитку з довільними термінами експлуатації, відокремлених від різних ділянок НПР.



Рис. 4.3. Фрагменти рукавів типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм

Визначення фізико-механічних характеристик пружності матеріалу напірних пожежних рукавів проводилось для вибірки з 18 фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм виробництва фірм «Набат», «5ELEM» та «BEZALIN», як нових, так і бувших у вжитку 1 рік, або виведених з експлуатації, які були відокремлені від середньої частини НІР та біля його напівгайки. Виміри проводились чотири рази після кількох циклів навантаження-розвантаження, тобто для стабілізованого стану рукавів з наступним розрахунком відповідних модулів пружності.



Рис. 4.4. Фрагменти рукавів типу «Т» з внутрішнім діаметром 77 мм

Результати, які були отримані в результаті досліджень, що були проведені за наведеними вище методиками наведені для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм в додатку Г таблиця Г.1, а для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 77 мм в таблиці Г.2,

де відповідні значення характеристик пружності відсортовані по зростанню.

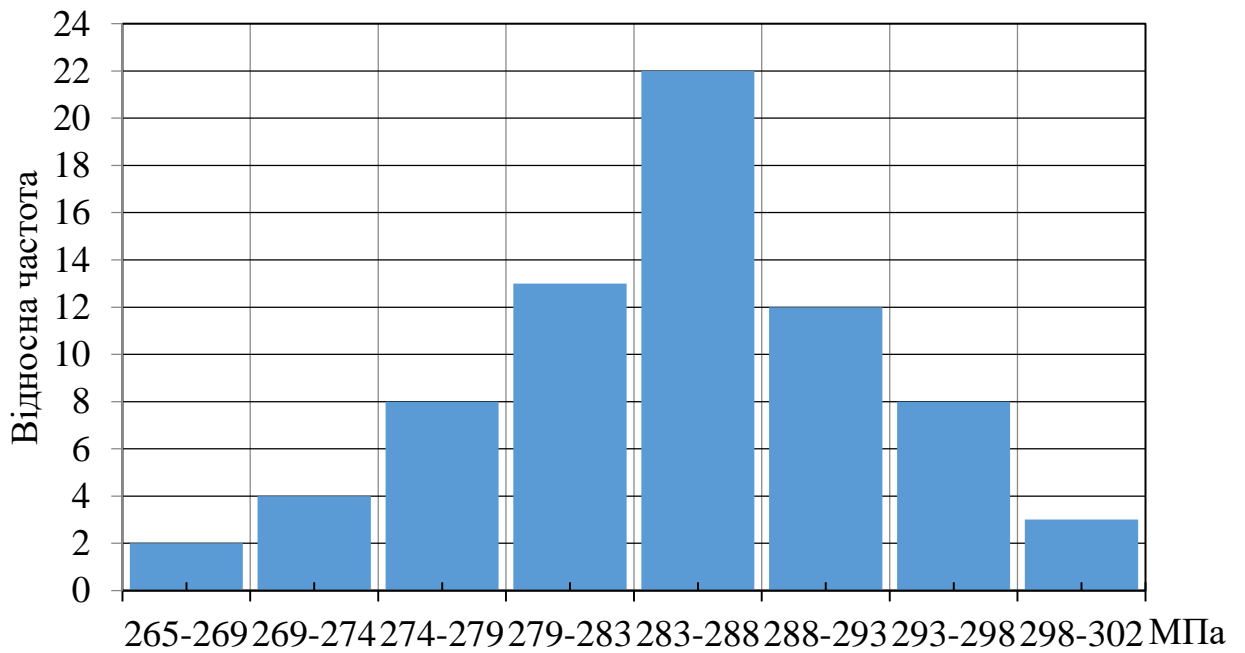


Рис. 4.5. Гістограма розподілення поздовжніх (k_x) модулів пружності фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм

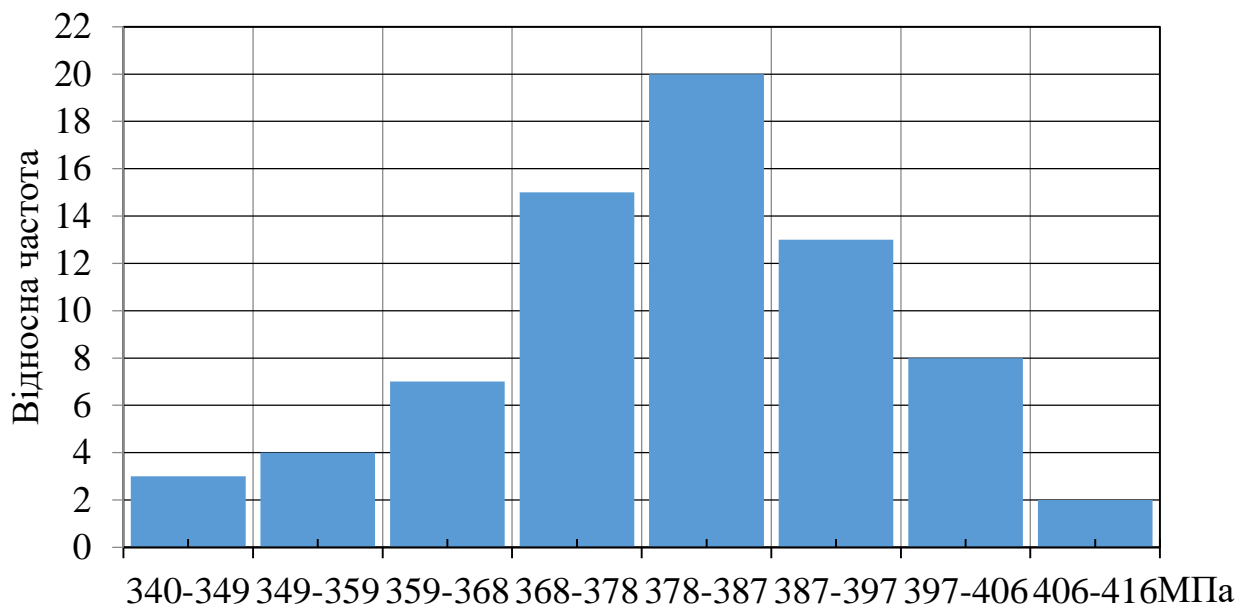


Рис. 4.6. Гістограма розподілення поперечних (k_y) модулів пружності фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм

Результати обробки методами математичної статистики даних, які були

отримані в результаті досліджень, наведені для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм на рис. 4.5 – 4.7 і в таблиці 4.1, а для рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 77 мм на рис. 4.8 - 4.10 та в таблиці 4.2.

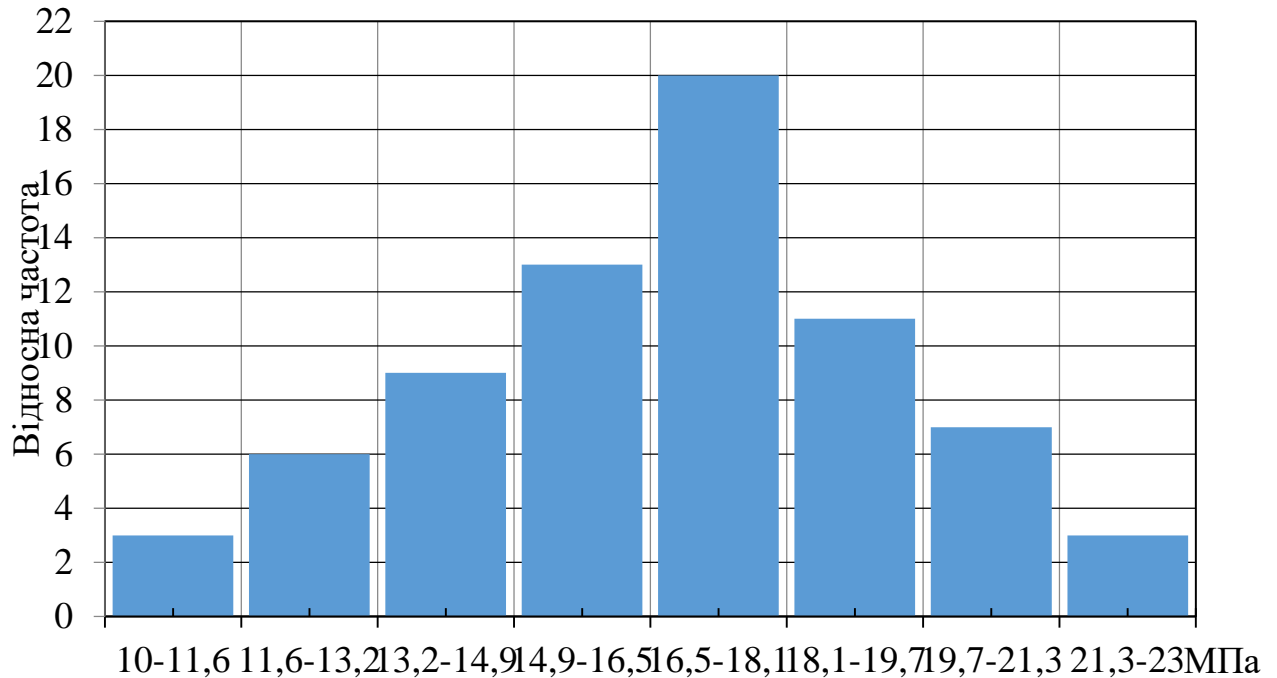


Рис. 4.7. Гістограма розподілення модулів пружності при крученні (k_{ϕ}) фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм

Таблиця 4.1

Результати статистичної обробки експериментальних значень модулів пружності для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм

Статистичний параметр	Модулі пружності		
	Поздовжній, (k_x)	Поперечний, (k_y)	При зсуві, (k_{ϕ})
Середнє значення вибірки, МПа	285,5	380,9	16,7
Медіана вибірки, МПа	286,4	382,5	17,1
Мода вибірки, МПа	270	381	18
Дисперсія вибірки, МПа ²	61,4	241	7,9
Стандартне відхилення, МПа	7,8	15,5	2,8
Мін розрах. знач. (-3σ), МПа	262,1	334,3	8,3
Мак розрах. знач. ($+3\sigma$), МПа	309,1	427,5	25,2

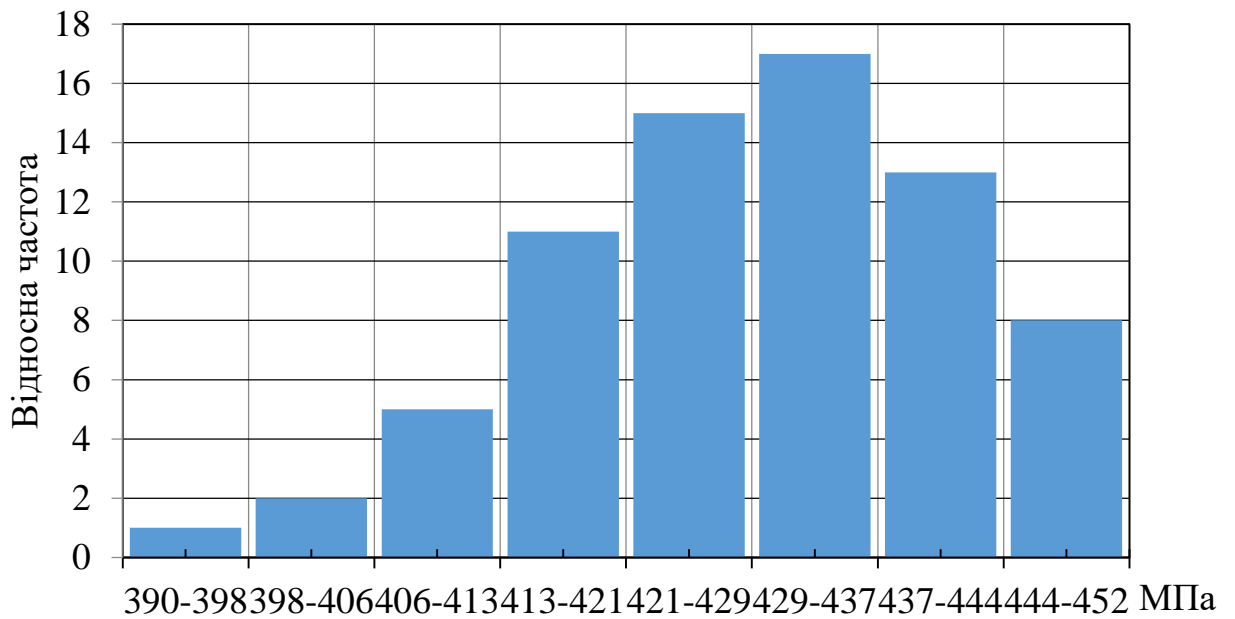


Рис. 4.8. Гістограма розподілення поздовжніх (k_x)модулів пружності фрагментів рукавів типу «Г» з внутрішніми діаметрами 77 мм

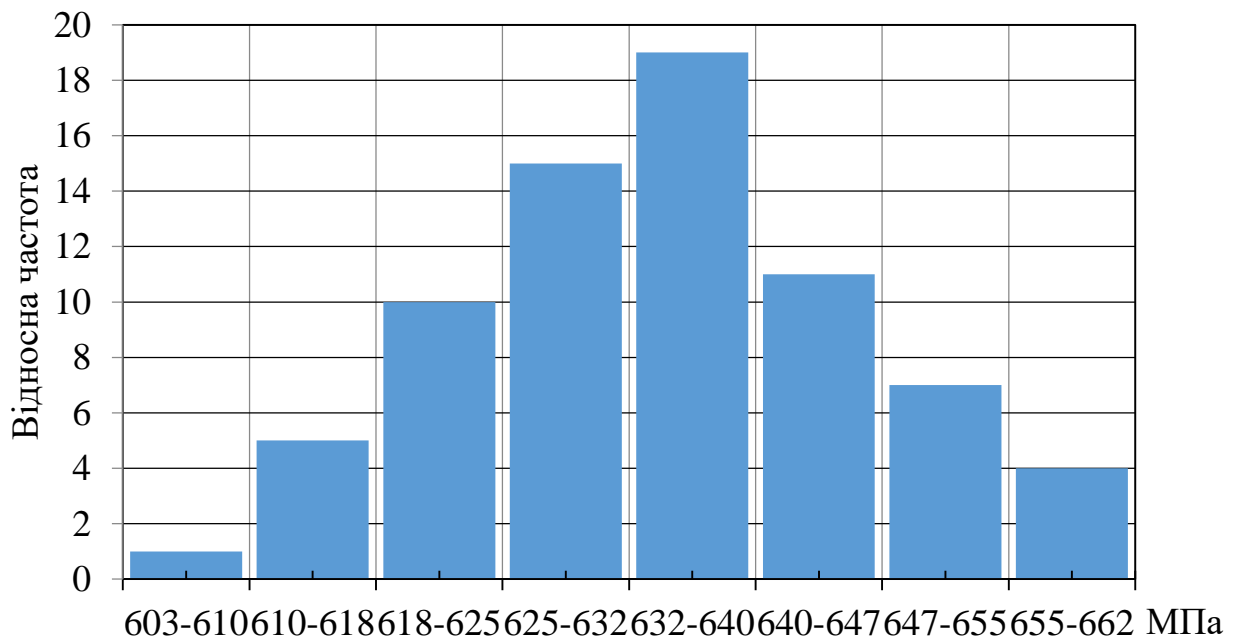


Рис. 4.9. Гістограма розподілення поперечних (k_y) модулів пружності фрагментів рукавів типу «Г» з внутрішніми діаметрами 77 мм

Для наступних розрахунків на математичній моделі НДС пожежних рукавів доцільно визначити діапазон мінімальних та максимальних ($\pm 3\sigma$)

розрахункових значень в якому знаходяться 99,73% відповідних модулів пружності, визначених статистичною обробкою експериментальних досліджень деякої вибірки основних типів НПР (таблиця 4.3).

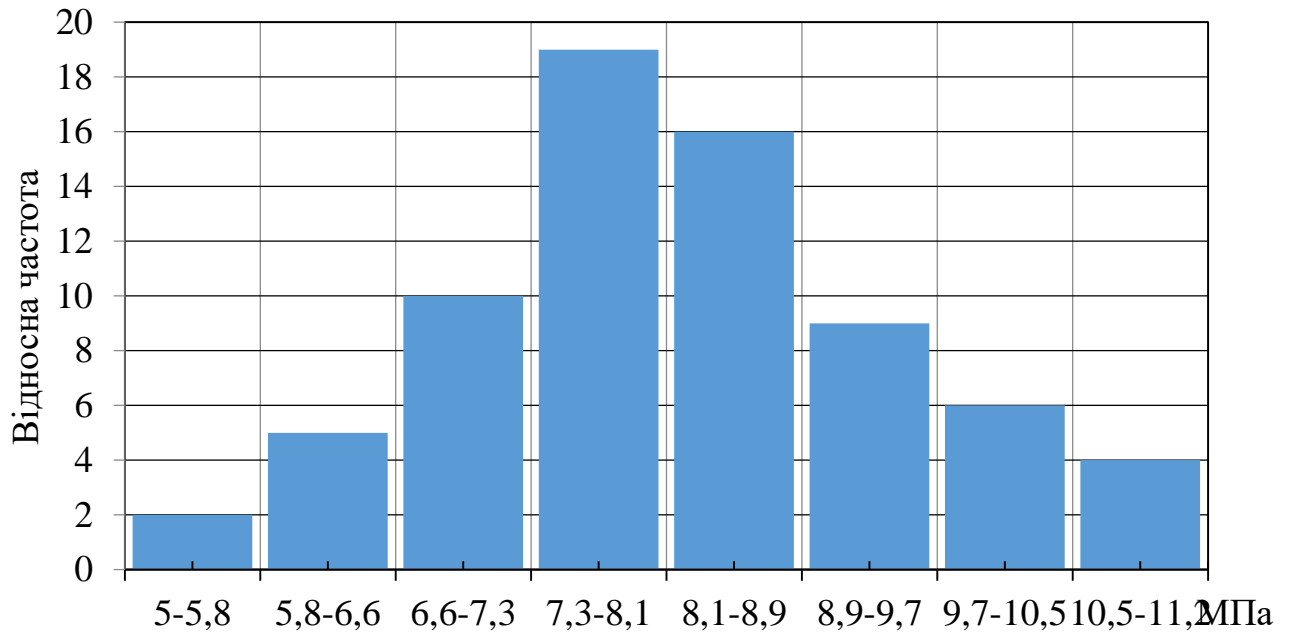


Рис. 4.10. Гістограма розподілення модулів пружності при крученні (k_{φ}) фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 77 мм

Таблиця 4.2

Результати статистичної обробки експериментальних значень модулів пружності для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 77 мм

Статистичний параметр	Модулі пружності		
	Поздовжній, (k_X)	Поперечний, (k_Y)	При зсуві, (k_{φ})
Середнє значення вибірки, МПа	429,2	634,5	8,3
Медіана вибірки, МПа	429,7	634,7	8,2
Мода вибірки, МПа	415	611	9
Дисперсія вибірки, МПа ²	166,1	164,4	1,8
Стандартне відхилення, МПа	12,9	12,8	1,4
Мін розрах. знач. (-3σ), МПа	390,6	596,1	4,2
Мах розрах. знач. ($+3\sigma$), МПа	467,9	673	12,3

4.2.2. Розрахункове дослідження впливу розмірів дефекту на кут закручування деякої вибірки основних типів напірних пожежних рукавів

Розрахункове визначення на математичній моделі залежності кутів закручування ділянок рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм від довжини дефектів при постійному тиску $P=0,6$ МПа під дією фіксованого моменту.

Таблиця 4.3

Фізико-механічні властивості матеріалу НПР

Модуль пружності матеріалу НПР	Рукав типу «Т», з внутрішнім діаметром d					
	$d = 51$ мм			$d = 77$ мм		
	Експериментальні значення					
	Min (-3 σ)	Номінальне	Max (+3 σ)	Min (-3 σ)	Номінальне	Max (+3 σ)
Поздовжній (k_X), МПа	262,01	284	309,1	390,6	441	467,9
Поперечний (k_Y), МПа	334,3	397	427,5	596,1	643	673
При зсуві (k_ϕ), МПа	8,3	17	25,2	4,2	9,4	12,3

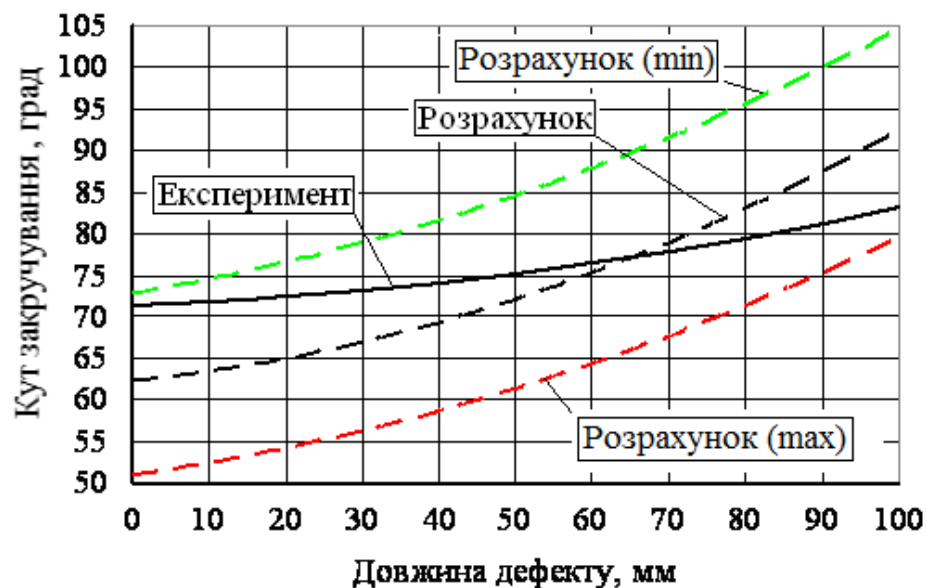


Рис. 4.11. Перевірка можливості використання запропонованого способу визначення працездатності НПР $\varnothing 51$ мм (дефект по основі)

Відповідно для основи і утка при мінімальних та максимальних значеннях (таблиця 4.3) відповідних модулів пружності, визначених статистичною обробкою експериментальних досліджень деякої вибірки основних НПР

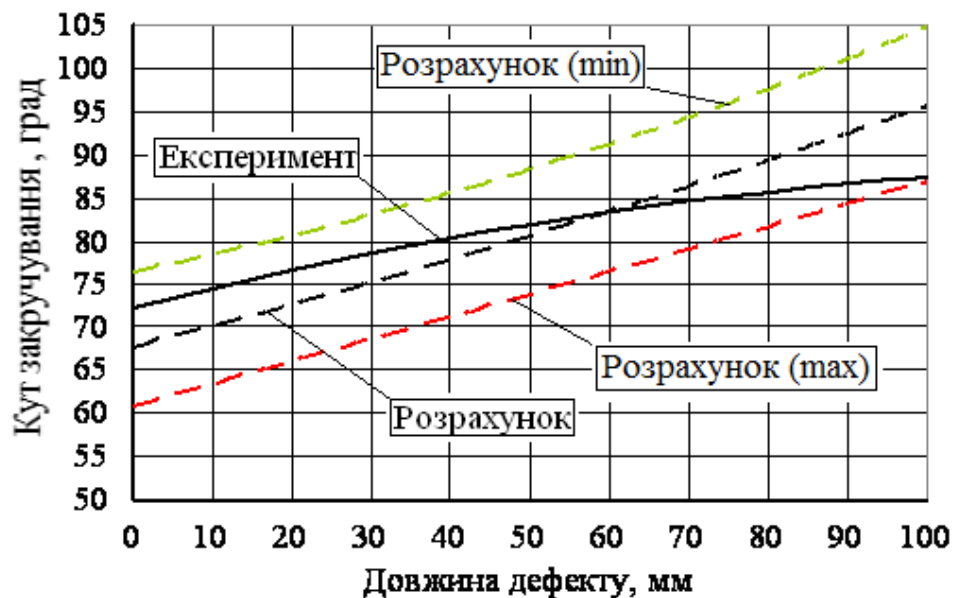


Рис. 4.12. Перевірка можливості використання запропонованого способу визначення працездатності НПР Ø 51 мм (дефект по утку)

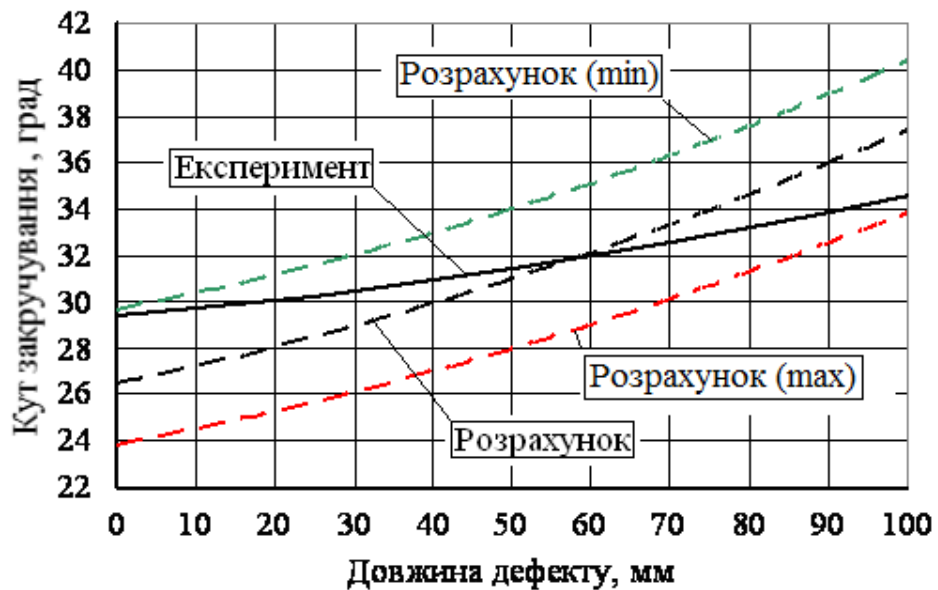


Рис. 4.13. Перевірка можливості використання запропонованого способу визначення працездатності НПР Ø 77 мм (дефект по основі)

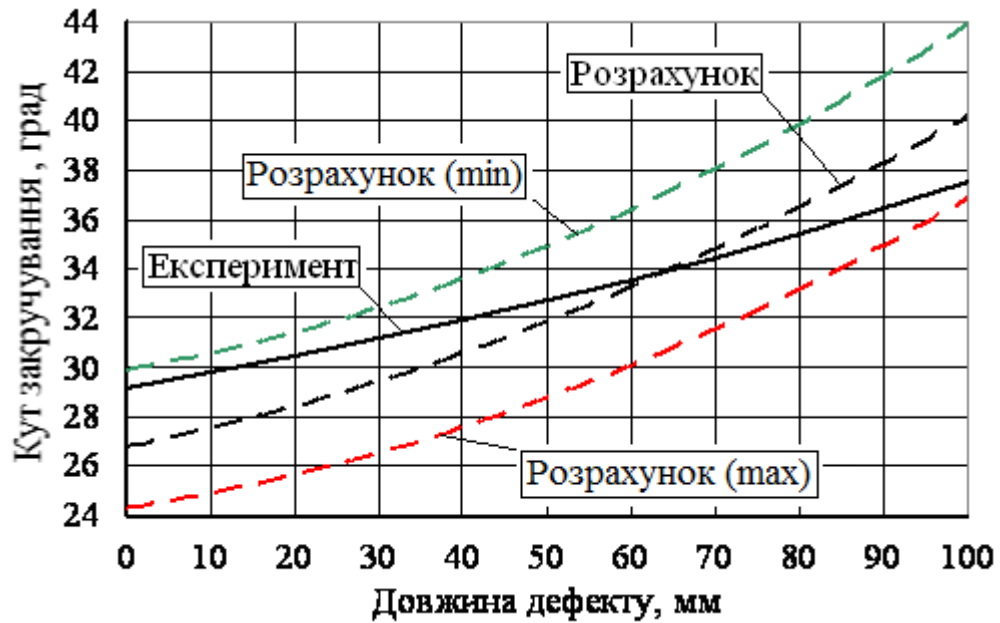


Рис. 4.14. Перевірка можливості використання запропонованого способу визначення працездатності НПП Ø 77 (дефект по утку)

Аналіз проведених розрахунків та їх порівняння з експериментальними та попередніми розрахунковими даними (рис. 4.11 – 4.14) підтвердили, що навіть при значному збільшенні або зменшенні відповідних модулів пружності, змінюються лише кількісні показники досліджуваних величин, а їх якісний характер залишається незмінним.

Вказане доводить можливість експериментального визначення наявності прихованих дефектів в рукавах з довільними пружними характеристиками, тобто незалежно від їх типу, виробника та стану.

4.3. Визначення ефективності запропонованого методу випробувань напірних пожежних рукавів

Доведена вище можливість використання запропонованого методу випробувань НПП для пошуку прихованих дефектів потребує визначення його доцільності та ефективності.

Відповідні дослідження були проведені на базі 26 Державної пожежно-рятувальної частини Новобаварського районного відділу у м. Харків Головного управління ДСНС України у Харківській області у період з липня 2014 по червень 2015 року (Додаток Ж) шляхом спостереження за двома групами НІР, що знаходились в оперативному розрахунку.

Обидві групи рукавів були однакові за основними характеристиками - типу, внутрішнім діаметром, фірмами-виробниками, з тотожними термінами експлуатації.

Рукави обидвох груп після кожного застосування проходили штатне обслуговування (огляд, миття, висушування та при необхідності ремонт і штатне випробування), після чого НІР (30 рукавів) першої групи (експериментальної) проходили додаткову перевірку з використанням запропонованої методики пошуку прихованих дефектів.

З рукавами другої групи (30 рукавів), яка була визначена як контрольна, додаткова перевірка з використанням запропонованої методики випробувань не проводилась і вони ставились в оперативний розрахунок.

Таблиця 4.4

Класифікація дефектів за розміром

Дефект		Кількість
Свіщі		56
Поріз по основі, довжина, мм	100 і біл.	2
	70	5
	50	10
	30	14
	10	30
Поріз по утку, довжина, мм	100 і біл.	–
	70	3
	50	2
	30	5
	10	10
Пропали		17

За наслідками випробувань експериментальної групи у випадку виявлення дефектів, вони класифікувались (таблиця 4.4) і проводився відповідний ремонт з наступним штатним випробуванням і постановкою в оперативний розрахунок.

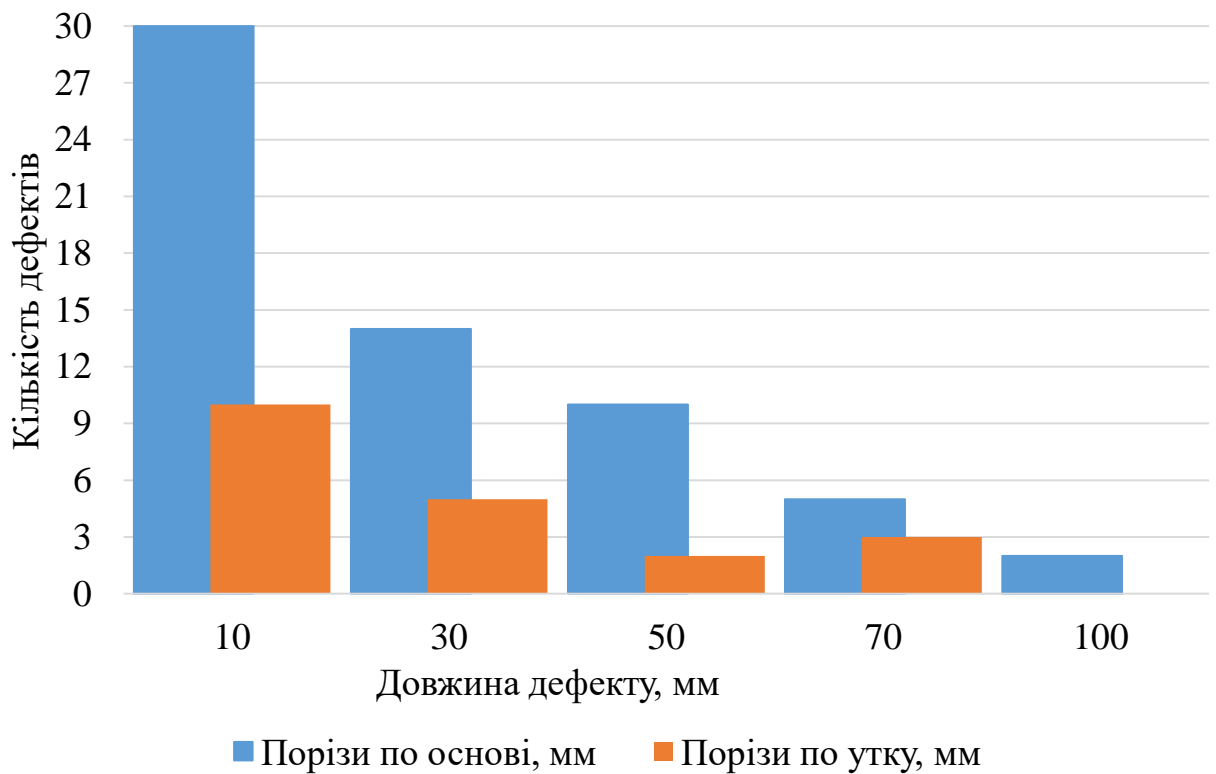


Рис. 4.15. Гістограма розподілення показників дефектів за розміром та напрямом

Аналіз наступного використання рукавів (таблиця 4.5) встановив, що НІР експериментальної групи мали на 12% менше виходів із ладу на пожежах, ніж рукави контрольної групи (зриви головок - не враховувались), що доводить доцільність та ефективність використання запропонованого методу випробувань НІР для пошуку прихованих дефектів.

Таблиця 4.5

Аналіз використання рукавів

Кількість використань рукавів контрольної та експериментальної груп за рік	
657	
Контрольна група (30 рукавів)	Експериментальна група (30 рукавів)
Кількість використань рукавів	
648	654
Кількість дефектів знайдених в ході штатного обслуговування рукавів після використання	
59	67
Кількість дефектів знайдених в ході додаткового обстеження за запропонованою методикою в експериментальній групі	
–	34
Кількість відмов рукавів при наступних використаннях	
117	103

Таким чином доведено доцільність застосування запропонованого методу оскільки при цьому підвищується достовірність результатів випробувань.

4.4. Висновки по четвертому розділу

1. Розроблений випробувальний пристрій дозволяє методом послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР під дією фіксованого крутного моменту визначити ділянки, де кут закручування суттєво збільшується, що дозволяє визначити місце розташування прихованих дефектів в напірних пожежних рукавах.

2. Прототип випробувального пристрою для діагностування прихованих дефектів у напірних пожежних рукавах оформлено у вигляді патенту України на корисну модель (Пат. № 108407).

3. Методика визначення місця розташування дефектів в напірних пожежних рукавах впроваджена в Український науково-дослідний інститут цивільного захисту.

4. Зважаючи на суттєву нестабільність фізико-механічних характеристик пружності матеріалу напірних пожежних рукавів, які залежать від типу рукава і технології його виробництва, від «історії» та умов навантаження, вологості матеріалу, терміну експлуатації тощо, проведено їх експериментальне визначення для фрагментів рукавів типу «Т» з внутрішніми діаметрами 51 мм та 77 мм виробництва різних підприємств, як нових, так і бувших у вжитку з довільними термінами експлуатації, відокремлених від різних ділянок НПР. Статистична обробка результатів визначила в діапазоні $\pm 3\sigma$ мінімальні та максимальні значення (табл. 4.3) модулів пружності матеріалів НПР.

5. Доказано, що навіть при значному збільшенні або зменшенні відповідних модулів пружності, змінюються лише кількісні розрахункові показники досліджуваних величин, зокрема, кута закручування рукава, а їх якісний характер залишається незмінним, тобто доведена можливість експериментального визначення наявності прихованих дефектів в рукавах з довільними пружними характеристиками, тобто незалежно від їх типу та стану.

6. Використання запропонованого методу випробувань НПР для пошуку прихованих дефектів дозволило зменшити на 12% кількість виходів рукавів із ладу при використанні, що доводить його доцільність та ефективність.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведені результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі підвищення достовірності результатів випробувань напірних пожежних рукавів за наявності в них прихованих дефектів. При цьому одержано такі основні результати.

1. Виявлено, що існуючий метод гідравлічних випробувань НПР не забезпечує достатній рівень достовірності результатів. Аналіз даних з експлуатації напірних рукавів показав, що в ході випробувань виявляться лише 75% пошкоджених рукавів, а решта відмов трапляється під час експлуатації. Гідравлічні випробування визначають лише цілісність та герметичність рукавів в цілому і не дають змогу встановити наявність та місцезнаходження дефектів.

2. Розроблено розрахункову модель напружено-деформованого стану напірних пожежних рукавів та виконано чисельне моделювання щодо впливу наявності прихованих дефектів на деформування рукавів.

Характерні дефекти змодельовано у вигляді розрізів у повздовжньому та поперечному напрямках для двох значень глибини. Виявлено, що вже за глибини розрізу 0,2 мм має місце вплив дефекту на кут закручування НПР. В НПР з дефектом формується суттєва концентрація напружень в області самого дефекту. Так для дефекту з довжиною 5 мм і глибиною 0,2 мм та 0,7 мм максимальні напруження досягають 18,9 МПа та 24,9 МПа відповідно (порівняно з 10,6 МПа якщо немає дефекту). Для дефекту з великою довжиною (100 мм) концентрація напружень ще більша – 21,9 МПа та 92 МПа для малої та великої глибини, відповідно.

3. Статистична обробка результатів дослідження зміни тиску в рукавній лінії під час гасіння реальних пожеж, установила його відповідні значення – середнє експлуатаційне – 0,31 МПа та максимальне експлуатаційне –

0,6 МПа, які визначили параметри силового навантаження напірних пожежних рукавів.

Експериментально встановлено, що фізико-механічні властивості НПР, зокрема, модулі пружності їх матеріалу, залежать від «історії» їх навантаження – на перших двох-трьох режимах випробувань модулі пружності збільшувалися і лише потім, на наступних, стабілізувалися. У разі суттєвого зменшення залишкових деформацій, що наближає поведінку матеріалу пожежних рукавів до пружної.

4. Чисельні розрахунки з урахуванням експериментально визначених фізико-механічних властивостей НПР дозволили визначити відповідний чинник – кут закручування пожежного рукава під дією фіксованого моменту, величина якого значною мірою залежить від наявності та розмірів дефекту рукава, що може бути використано для пошуку цього дефекту.

Визначено, що відмінність між розрахунковими та експериментальними результатами визначення зміни кута закручування рукава від довжини дефекту як по основі, так і по утку становить від 6,2 % до 14,2 %, тобто доведено адекватність математичної моделі.

5. Розроблений випробувальний пристрій дозволяє методом послідовних вимірів кутів закручування окремих частин НПР під дією фіксованого крутного моменту визначити ділянки, де кут закручування суттєво збільшується. Наявність дефекту призводить до збільшення кута закручування на 16 – 28 %.

6. Використання запропонованого методу дозволило підвищити достовірність результатів випробувань напірних пожежних рукавів на 12 % порівняно з нормативними гідравлічними випробуваннями, що доводить доцільність та ефективність цього методу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Ю.А. Влияние изменения температуры окружающей среды на результаты испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом / А.С. Борисова, Е.А. Тищенко, Ю.А. Абрамов // - Проблемы пожарной безопасности, 2015. – Вып. 37. – С. 32-35.
2. Абрамов Ю.О. Визначення параметрів формування теплового потоку при проведенні об'єктових випробувань теплових пожежних сповіщувачів / Ю.О. Абрамов, Я.Ю. Кальченко // - Проблемы пожарной безопасности, 2017. – Вып. 37. – С. 3-9.
3. Абросимов Ю.Г. Гидравлика и противопожарное водоснабжение / Ю.Г. Абросимов, А.И. Иванов, А.А. Качалов, и др. – М., 2003. – 391 с.
4. Абросимов Ю.Г. Гидравлические сопротивления в системах подачи воды на пожаротушение / Ю.Г. Абросимов, Е.В. Коваль // Вестник Академии ГПС МЧС России. - 2006. - № 5. - С. 25-28.
5. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер. – Наука, 1976. –159 с.
6. Алешков М.В. Анализ работоспособности насосно-рукавных систем обеспечения тушения пожаров на критически важных объектах экономики России в условиях внешних экстремальных воздействий // Научно-технич. сборник соискателей докторов и адъюнтов академии ГПС МЧС России. – 2012. – № 3 – С. 3-20.
7. Алешков М.В. Вопросы обеспечения работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в зимних условиях / М.В. Алешков, М.Д. Безбородько // Актуальные проблемы тактики тушения пожаров, совершенствование пожарной техники. — М.: ВИПТИШ МВД СССР, 1992. — С. 48 – 53.

8. Алешков М.В. Обеспечение работоспособности насосно-рукавных систем пожарных автомобилей в условиях низких температур / М.В. Алешков, В.В. Роевко [и др.] //Тез. докл. научно-практич. Конф.: Современные проблемы тушения пожаров. – М.: МИПБ МВД РФ, 1999. С. 257-260.

9. Алешков М.В. Повышение работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в условиях низких температур: спец. 05.26.01 “Техника безопасности и противопожарная техника” / М.В. Алешков. – Москва, 1990. – 22 с.

10. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2012 року. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://undicz.dsns.gov.ua/files/Статистика/2012/AD_12_12.pdf.

11. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2013 року. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://undicz.dsns.gov.ua/files/Статистика/2013/AD_12_13.pdf.

12. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2014 року. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://undicz.dsns.gov.ua/files/Статистика/2014/AD_12_14.pdf.

13. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2015 року. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://undicz.dsns.gov.ua/files/Статистика//2015/AD_12_15.pdf.

14. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2016 року. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://undicz.dsns.gov.ua/files/2017/2/2/AD_12_2016.pdf.

15. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.

16. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов /К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.

17. Безбородько М.Д. Пожарная техника: Учебник / Под. ред. М.Д. Безбородько. – 2-е изд. перераб. и дополн. – М. : ВНИИПО МВД СССР, 1989. – 336 с.
18. Безбородько М.Д. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004.-550 с.
19. Безуглов О.Є. Пожежні рукава та рукавне обладнання: Практичний посібник. / Укладачі: О.Є. Безуглов, О.М. Коленов –Х.: УЦЗУ, 2007. – 79 с.
20. Бидерман В.Л., Механика тонкостенных конструкций. Статика. / В.Л. Бидерман – М., 1977. – 488 с.
21. Варданыян Г.С. Сопротивеление материалов с основами теории упругости и пластичности: Учебник / Под ред. Г.С. Варданыян – М.: Издательство АСВ, 1995. – 568 с.
22. Верзилин М.М. Актуальные проблемы и задачи в области совершенствования эксплуатации и оснащения подразделений ФПС новыми видами пожарной техники для успешного тушения пожаров на современном этапе / М.М. Верзилин // Средства спасения. - М.: Противопожарная защита. Издательский Дом ВДПО, Ноябрь 2009. - С. 100.
23. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир, 1984. - 428 с.
24. Гуліда Е.М. Визначення показників надійності пожежної техніки методом статистичного моделювання / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан, Л.Ф. Дзюба // Пожежна безпека. - Львів: ЛДУБЖД, 2006. - №8. – С.116 – 121.
25. Гуліда Е.М. Експериментальне дослідження технічних параметрів вібраційного лафетного ствола / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Пожежна безпека. - Львів: ЛПБ, 2005. - №7. – С. 66 – 73.
26. Дмитриченко А.С Исследование гидравлических характеристик современных пожарных рукавов / А.С Дмитриченко, А.С. Ковеня, В.И. Яковчук // Пожарная безопасность - 95: Тез. докл. XII Всерос. науч.-

практ. конф., Балашиха, 1-2 ноября 1995 г. / ВНИИПО МВД РФ - Москва, 1995 - С. 206-208.

27. Дмитриченко А.С. Определение гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов / А.С. Дмитриченко, В.И. Яковчук // Пожарная безопасность - история, состояние, перспективы: Тез. доклада XIV Международной науч.-практ. конф. Балашиха, 2-3 июля 1997 г. / ВНИИПО МВД РФ - Москва, 1997. - С. 147-148.

28. Дмитриченко А.С., Гидравлические параметры напорных пожарных рукавов / А.С. Дмитриченко, В.И. Яковчук // Пожарная безопасность: Тез. докл. II Межд. науч.-практ. конф., Минск 1997 г., / РНПЦ ПБ -Минск, 1997. - С. 34-36.

29. Дмитриченко А.С., Экспериментальные исследования по определению изменения диаметра и длины пожарных рукавов в зависимости от внутреннего давления / А.С. Дмитриченко, В.И. Яковчук // Пожарная безопасность - история, состояние, перспективы: Тез. докл. XIV Межд. науч.-практ. конф. Балашиха, 2-3 июля 1997 г. / ВНИИПО МВД РФ - Москва, 1997. -С. 145-146.

30. Добровольский А.А. Пожарная техника / А.А. Добровольский, Ф.Ф. Переслицких – К., 1981. – 239 с.

31. Дусанюк Ж.П. Імітаційні дослідження впливу параметрів рукава високого тиску на його жорсткість / Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк, О.В. Карватко // Вісник ВПІ. -2010. -№3. - С.80-84

32. Дусанюк Ж.П. Модернізація конструкції стенда для випробування рукавів високого тиску / Ж.П. Дусанюк, С.В. Репінський, М.В. Гоменюк // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017.

33. Експлуатація, ремонт та технічне обслуговування пожежних рукавів: Навчальний посібник./ Укладач С.С. Постемський – Вінниця: ВУППІ, 2000. – 27 с.

34. Елфимова М.В. Актуальные проблемы обслуживания пожарных рукавов/ М.В. Елфимова, Г.Ф. Архипов // Проблемы управления рисками в техносфере. - 2011. № 3 (19). СПб.: Изд. УГПС МЧС России. - С. 35-40.

35. Елфимова М.В. Обслуживание пожарных рукавов / М.В. Елфимова // вестник Восточно-Сибирского института МВД России – 2010. Вып. № 3 (54) – С. 55-61.

36. Елфимова М.В. Разработка мобильного комплекса по оперативному восстановлению готовности пожарных подразделений за счёт термовакуумной сушки рукавов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец.05.26.03 – “пожарная и промышленная безопасность” / М.В. Елфимова, Санкт-Петербург: 2013. – 23 с.

37. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541с.

38. Иванов А.Ф. Пожарная техника / [А.Ф. Иванов, П.П. Алексеев, М.Д. Безбородько, и др.] – М., 1988. – 415 с.

39. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности: Учебник для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство». – М.: Изд. АСВ, 2004. – 424 с.

40. Ковалишин В.В. Випробування піноутворювачів типу Барс, виготовлених в Україні / В.В. Ковалишин, Вол.В. Ковалишин, М.П. Сорочич, В.Л. Петровський // 18 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників ІДУуСЦЗ. Київ: 2016. – С. 162-166.

41. Ковалишин В.В. Випробування сигналізатора небезпечного рівня густини теплового потоку для захисного одягу пожежників (СТП-02) / В.В. Ковалишин // - Пожежна безпека: теорія і практика, № 17. 2014. – С. 45-52

42. Ковальшин В.В. Испытания персонального сигнализатора опасного уровня плотности теплового потока для защитной одежды пожарных / В.В. Ковальшин, В.В. Ковальшин, Р.Л. Пелех // - Вестник

Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. – Минск. 2 (20) КИИ, 2014. – С. 53-61.

43. Коротинський П.А. Довідник керівника гасіння пожежі / П.А. Коротинський, С.П. Савинський, С.В. Волошко та ін. – К. Український НДЦЗ, 2016. –320 с.

44. Коханенко В.Б. Дослідження механічних властивостей армуючого каркасу пожежного рукава діаметром 77 мм / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: збірник тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2015. – С. 81-83.

45. Коханенко В.Б. К вопросу надежности пожарных рукавов / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко, А.Н. Ларин, В.В. Ефименко // Вестник Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан № 4 (12) – Кокшетау: КТИ МЧС РК, 2013. – С. 42-46.

46. Коханенко В.Б. К вопросу эксплуатации пожарных напорных рукавов / В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко // Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції. Частина 1, – Х.: НУЦЗУ 2014. – С. 149-150.

47. Кузнецова Е.В. Экспериментальная механика / Е.В. Кузнецова // учебно-методическое пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2009. - 43 с.

48. Ларин А.Н. Определение поперечной жёсткости пожарных рукавов диаметром 51 мм / А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Чрезвычайные ситуации: Образование и наука: междунар. науч.-практ. журнал. – Гомель, ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2016, ТОМ 11, № 1. – С. 22-26.

49. Ларин А.Н. Определение продольной жесткости пожарного рукава диаметром 77 мм / А.Н. Ларин, Г.А. Чернобай, С.Ю. Назаренко // сб.

ст. по материалам V Международной науч.-практ. конф. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2014. – С. 368-372.

50. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості рукавів з внутрішнім діаметром 51 мм, якими оснащуються пожежні потяги / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2014. – № 37. – С. 151-156.

51. 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 ХП «Новітні рішення в сучасних технологіях». – Х., 2015. – № 39 (1148). – С. 41-46.

52. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2014. – Вып. 35. – С. 133-138.

53. Ларін О.М. Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу "Т" з внутрішнім діаметром 51 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2015. – Вып. 37. – С. 135-141.

54. Ларін О.М. Визначення поперечної жорсткості пожежного рукава діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко, В.О. Липовий // Проблеми пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2016. – Вып. 40. – С. 129-133.

55. Ларін О.М. Планування проведення експерименту на визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава діаметром 77 мм / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: збірник тез

Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – С. 127-129.

56. Легостаєв А.Д. Метод скінченних елементів: Конспект лекцій. – К.:КНУБА, 2004. – 112с.

57. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1980. – 512 с.

58. Лящук Р.Г. Эксплуатация и ремонт пожарных рукавов / Лящук Р.Г. – М.: 1964. – 96 с.

59. Максимов Б.А. Обоснование централизованной системы эксплуатации пожарных напорных рукавов и разработка методики ее расчета: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.26.01 “Техника безопасности и противопожарная техника” / Б.А. Максимов. – Москва, 1984. – 20 с.

60. 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.

61. Мичко А.А. Експериментальні дослідження за методикою полігонних випробувань оцінювання термозахисних властивостей захисного одягу пожежників / А.С. Лин, А.А. Мичко, А.В. Ивахов // Пожежна безпека. - 2012. - №21. - С.105-110

62. Морозов Е.М. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения / Е.М. Морозов, А. Ю. Муйземнек, А. С. Шадский. – М.: Ленанд, 2010. – 456 с.

63. Муляр Ю.І. Вибір параметрів стенда для ресурсних випробувань рукавів високого тиску / Ю.І. Муляр // Вісник машинобудування та транспорту №1, 2015. – С. 96-102

64. Муляр Ю.І. Експериментальні дослідження довговічності рукавів високого тиску / Ю.І. Муляр, В.О. Глушич, Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк // Вибрации в технике и технологиях. 2002. - №2 - С. 34-38

65. Муляр Ю.І. Математична модель гідроприводу стенду для випробування на довговічність рукавів високого тиску результати її дослідження / Ю.І. Муляр, О.В. Купчик // Вісник ВПІ. - 2008. - №3. - С. 73-78

66. Назаренко С.Ю. Визначення механічних властивостей пожежного рукава типу "Т" діаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко // Проблемы пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2014. – Вып. 36. – С. 174-179.

67. Назаренко С.Ю. Експериментальне визначення кута закручування напірного пожежного рукава, що має дефект / С.Ю. Назаренко, О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, С.А. Виноградов // Проблемы пожарной безопасности: збірник наукових праць. – Х.: НУЦЗУ – 2017. – Вып. 41. – С. 117-123.

68. Назаренко С.Ю. Исследование продольной жесткости внутреннего резинового шара пожарных рукавов диаметром 77 мм / С.Ю. Назаренко, Г.А. Чернобай // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) "Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы" – Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2016. – С. 150-152.

69. Назаренко С.Ю. Планирование проведения эксперимента на определение поперечной жесткости пожарного рукава типа «Т» диаметром 51 мм. / С.Ю. Назаренко, В.Б. Коханенко // Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции молодых ученых курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) "Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы" – Минск, КИИ МЧС Республики Беларусь, 2015. – С. 122-123.

70. Назаренко С.Ю. Планирование эксперимента на определение упругих свойств пожарного рукава типа «Т» диаметром 51 мм при кручении / С.Ю. Назаренко // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации :

материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 19–20 мая 2016 г. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 243-244.

71. Наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 01.04.2013 року № 107 «Методичні рекомендації з експлуатації та ремонту пожежних рукавів» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/files/2013/4/3/rekomendation.pdf>

72. Наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 27.06.2013 року №432 «Настанова з експлуатації транспортних засобів в органах та підрозділах ДСНС України» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/files/2013/7/3/432_nast.pdf

73. Нгуен Ван Тху. Совершенствование эксплуатации пожарных напорных рукавов в СРВ: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.26.01 “Техника безопасности и противопожарная техника” / Нгуен Ван Тху О. – М., 1984. – 12 с.

74. Новожилов В.В. Основы нелинейной теории упругости / В.В. Новожилов. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 208 с.

75. Пат. 102364 Україна, МПК (2015.01) F15B 19/00. Спосіб випробування напірних пожежних рукавів / О.М. Ларін, С.А. Виноградов, В.Б. Коханенко, С.Ю. Назаренко, Г.О. Чернобай; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201504252, заяв. 30.04.2015; опубл. 26.10.2015, бюл. № 20.

76. Пат. 130859 РФ, МПК (2006.01) A62C 33/00. Напорный пожарный рукав / Степанов О.С., Чистобородов Г.И., Шомов П.А.; заявитель и патентообладатель Научно-техн. центр ООО "Промышленная энергетика". - № 2013112316/12, заяв. 19.03.2013; опубл. 10.08.2013 бюл. № 22.

77. Пат. 140574 РФ, МПК (2006.01) A62C 33/00. Напорный пожарный рукав / Степанов О.С., Чистобородов Г.И., Шомов П.А.; заявитель и патентообладатель Научно-техн. центр ООО "Промышленная энергетика". - № 2013152040/12, заяв. 21.11.2013; опубл. 10.05.2014 бюл. № 13.

78. Пат. 2013111431 РФ, МПК (2006.01) В29D 23/00. Способ изготовления напорного пожарного рукава на основе тканого чехла с внутренней гидроизоляционной камерой / Самян А.М.; заявитель и патентообладатель Самян А.М. - № 2013111431/05, заяв. 14.03.2013; опубл. 20.09.2014 бюл. № 26.

79. Пат. 2013119969 РФ, МПК (2006.01) А62С 33/00. Способ изготовления напорного пожарного рукава на основе тканого чехла / Самян А.М.; заявитель и патентообладатель Самян А.М. - № 2013119969/05, заяв. 30.04.2013; опубл. 10.11.2014 бюл. № 31.

80. Пат. 108407 Україна, МПК (2016.01) F15B 19/00. Спосіб випробування пожежних напірних рукавів / С.А. Виноградов, С.В. Васильєв, С.Ю. Назаренко, О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, А.Я. Калиновський, О.О. Ларін, заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201601226, заяв. 12.02.2016; опубл. 11.07.2016, бюл. № 3.

81. 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).

82. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман, К.К. Лихарев и др.; под ред. С.Д. Пономарева. – [2-е изд.]. – М.: МАШГИЗ. 1958, – 975 с.

83. Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять ДСТУ 2273–2006. [Чинний від 2007-04-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2006. — XII, 32 с. — (Національний стандарт України).

84. Пурдик В.П. Експериментальний стенд та методика визначення динамічних характеристик гнучких трубопроводів високого тиску / В.П. Пурдик, М.Ю. Поздняков // Вісник машинобудування та транспорту №1, 2015. – С. 96-102

85. Пурдик В.П. Модернізація стенда для дослідження динамічних характеристик гнучких рукавів високого тиску / В.П. Пурдик,

М.Ю. Поздняков // Вісник машинобудування та транспорту №2(4), 2016. – С. 84-91

86. Радоуцкий В.Ю. Пожарная техника: учеб. пособие. / В.Ю. Радоуцкий, Н.В. Нестерова, Ю.В. Ветрова //– Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 184 с.

87. Сабоннадьер Ж.К. Метод конечных элементов и САПР / Ж.К. Сабоннадьер, Ж. Л. Кулон. - М.: Мир, 1989. - 192 с

88. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности / В.И. Самуль.– М.: Высш. школа, 1970. – 288с

89. Слуцька О.М. Розроблення методичних рекомендацій з експлуатації та ремонту пожежних рукавів / О.М. Слуцька, М.Л. Якіменко// Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ, 2013. - №1 (27) - С. 106-112

90. Степанов О.С. Применение теории строения ткани для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.19.02 “Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья” / О.С. Степанов. – Иваново, 2012. – 20 с.

91. Терещнев В.В. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. / В.В. Терещнев, Н.И. Ульянов, В.А. Грачев // – М.: Центр Пропаганды, 2007. – 328 с.

92. Тетерин И.М. Тактические приемы. Схемы боевого развертывания и нормативы применения современных образцов пожарной и аварийно-спасательной техники: практическое пособие / И.М. Тетерин, М.В. Алешков, О.В. Двоенко и др.: под ред. А.П. Чуприяна. – М.: АГПС МЧС России, 2013. – 312 с.

93. Техніка пожежна. Рукава пожежні всмоктувальні та напірно-всмоктувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань ДСТУ 3931-

99. [Чинний від 2000-07-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2000, 32 с. — (Національний стандарт України).

94. Толок В.А. Метод конечных элементов. Теория, алгоритмы, реализация / В. А. Толок, В.В. Киричевский, С.И. Гоменюк и др. – К.: Наук. думка, 2003. – 256 с.

95. Торлин В.Н. Расчет карданной передачи автомобиля. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Автомобили» / Сост. В.Н. Торлин, Т.А. Рогозина, А.Г. Остренко, А.А. Ветрогон // . – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 52 с.

96. Хоанг З.Б. Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов и его снижение при введении в поток воды геля полиакриламида для тушения пожаров на объектах энергетики: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.26.03 “Пожарная и промышленная безопасность” / З.Б. Хоанг. – М. 2011. – 24 с.

97. Хоанг З.Б. Экспериментальная установка для исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов / З.Б. Хоанг // Интернет-журнал “Технологии техносферной безопасности” Выпуск №5 (октябрь 2009 г.)

98. Чернобай Г.О. Визначення жорсткості в повздожньому напрямку пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм // Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації.» – Львів, ЛДУ БЖД, 2016. – С. 462-464.

99. Чернобай Г.О. Визначення модулю пружності при крученні пожежного рукава типу «Т» діаметром 51 мм з внутрішньому тиску 0,2 МПа / Г.О. Чернобай, С.Ю. Назаренко // VII Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»: матеріали конференції. – Черкаси: ЧПБ, 2016. – С. 186-189.

100. Шабров Н. Н. Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей / Н.Н. Шабров. – Л.: Маш-ие, 1983. – 212 с.
101. Щербо А.Г. Основы теории упругости и пластичности: учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-700201 «Промышленное и гражданское строительство» / А.Г. Щербо // – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 240 с.
102. Яковенко Ю.Ф. Пожарно-техническое вооружение на пожарных автомобилях: частота использования и принципы размещения // ПАСС № 3. 2007. С. 14-18
103. Яковчук В.И. Гидравлические сопротивления гибких трубопроводов противопожарного водоснабжения: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.26.04 “Промышленная безопасность”/ В.И. Яковчук. – Минск, 2000. – 23 с.
104. Яковчук В.И. Исследования гидравлических сопротивлений гибких трубопроводов противопожарного водоснабжения / В.И. Яковчук // Материалы межд. 53-й науч.-техн. конф. БГПА, Минск, 2-6 февраля 1999. ч.3 - С. 123.
105. Яковчук В.И. Потери напора в пожарных рукавах / В.И. Яковчук // Материалы 54-й научн.-техн. конф. БГПА, Минск, 2000. - С.143.
106. Яковчук В.И. Экспериментальные исследования по определению гидравлических характеристик гибких трубопроводов / В.И. Яковчук // Технические вузы - республике: Тез. докл. межд. 52-ой науч.- практ. конф. БГПА Минск, 1997. Ч. 5 - С. 89.
107. Belytschko T. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures / T. Belytschko, W.K. Lin, B. Moran B.– Chicago: Northwestern University, 2001. – 668 p.
108. Box G.E.V. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions / G.E.O. Box, K.V. Wilson // Journal of the Riyal Statistical Society. – Series B. – 1951. 13, №1. – P. 1-45.

109. Chernobay G. Planning of carrying out experiment on determination of longitudinal rigidity of a fire hose of the type "t" in diameter of 51 mm / G. Chernobay, S. Nazarenko // *Материалы Международной научно-практической конференции. Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы.* – Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан», 2017. – С. 215-217.

110. Cho J. R. Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion / J. R. Cho, Y. H. Yoon, C. W. Seo, Y. G. Kim // *Finite Elements in Analysis and Design.* – 2015. – Vol. 100. – P. 65–76.

111. Cho J. R. Homogenization of braided fabric composite for reliable large deformation analysis of reinforced rubber hose / J. R. Cho, Y. B. Jee, W. J. Kim[et al.] // *Composites Part B: Engineering.* — 2013. — Vol. 53. — P. 112–120.

112. Cho J. R. Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods / J. R. Cho, Y.-H. Yoon // *Journal of Mechanical Science and Technology.*– 2016.– Vol. 30, No. 2. – P.789 –795.

113. Cho J. R. Nonlinear finite element analysis of swaging process for automobile power steering hose / J. R. Cho, J. I. Song, K. T. Noh, D. H. Jeon // *Journal of Materials Processing Technology.* – 2005. – Vol. 170, No. 1–2. – P. 50–57.

114. Cho J. R. Swaging process of power steering hose: its finite element analysis considering the stress relaxation / J. R. Cho, J. I. Song // *Journal of Materials Processing Technology.* – 2007. – Vol. 187. – P. 497–501.

115. Choosing hoselines for initial attack. Calif. Fire. Serv. 1990. – P.12-13. T. 10.

116. Fire-fighting hoses - Non-percolating layflat delivery hoses and hose assemblies for pumps and vehicles. DIN 14811-2008. [Existing from 2008-01-01].

— German.: German National Standard, 2008, 46 p. — (German National Standard).

117. Fire-fighting hoses. Semi-rigid hoses for fixed systems. BS EN 694: 2014. [Existing from 2014-08-31]. — Brussels. : European standard, 2014, 16 p. — (European standard).

118. Large diameter hose — on the fireground. Harvey Harold. «Fire Fight. Can.». 1988. T. 4.

119. Larin A.N. Definition of elastic properties of fire hoses of type "T" with a diameter of 51 mm under torsion / A.N. Larin, G.A. Chernobay, S.Y. Nazarenko, V.A. Lipovoy // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. — Warszawa, Polska, №8 2016 część 7. — P. 90-94.

120. Larin A.N. Experimental investigations of vibrations of centrifugal fire pump with the defect (unfastened shaft in a bearing seat) / I.L. Ushapivsky, A.N. Larin, A.A. Larin // Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. - 2014, Vol. 34 Issue 2. - . 133-141.

121. Lee G.-C. C. An experimental study and finite element analysis for finding leakage path in high pressure hose assembly / G.-C.C. Lee, H.-E.E. Kim, J.-W. W. Park[et al.] // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. — 2011. — Vol. 12, No. 3. — P. 537–542.

122. Pat. EP 2722076 A European Patent Application, IPC A62C 35/20. Fire hose / Martin, Aubrey Brendan: Angus Fire Armour Limited. - № EP20120188679, appl. 16.10.2012; Pub. Date: 23.04.2014.

123. Pat. US 2754848 A USA, IPC B29D 23/00. Fire hose and method of making / Camelio R.S., Knowland T.M.: Boston Woven Hose & Rubber Co. - № US08/440,683, appl. 11.06.1953; Pub. Date: 17.07.1956.

124. Pat. US 4153080 A USA, IPC F16L 11/02. Fire hose and method of making it / Murray W.S., Borden C.W. // Goodall Rubber Company. - № US08/440,683, appl. 13.04.1978; Pub. Date: 08.08.1979.

125. Pat. US 5047200 A USA, IPC B29D 23/00. Method of making a fire hose / Harcourt R.M.: Angus Fire Armour Limited. - № US08/440,683, appl. 01.05.1986; Pub. Date: 10.09.1991.

126. Pat. US 5593527 USA, IPC B29C 47/02. Double jacketed fire hose and a method for making a double jacketed fire hose / Schomaker J.B., Kirjk M., Ruffcorn D.A.: Snap-Tite, Inc. - № US08/440,683, appl. 15.05.1995; Pub. Date: 14.01.1997.

127. Purdik V.P. Test rig for experimental investigation of the dynamic characteristics of flexible pipelines / V.P. Purdik, M.Y. Pozdniakov // Научные труды Винницкого национального технического университета, №1. 2013. – С. 1-5

128. Noda N.-A. Fem analysis for sealing performance of hydraulic brake hose crimped portion and its life estimation / N.-A. Noda, S. Yoshimura, H. Kawahara, S. Tuyunaru // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series A. – 2008. – Vol. 74, No. 748. – P. 1538–1543.

ДОДАТКИ

Додаток А
ПАТЕНТ УКРАЇНИ 102364
«СПОСІБ ВИПРОБУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ НАПІРНИХ РУКАВІВ»

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 102364

СПОСІБ ВИПРОБУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ НАПІРНИХ РУКАВІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 26.10.2015.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



Додаток Б
ПАТЕНТ УКРАЇНИ 108407
«СПОСІБ ВИПРОБУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ НАПІРНИХ РУКАВІВ»

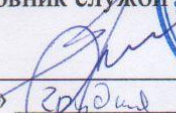
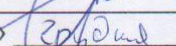


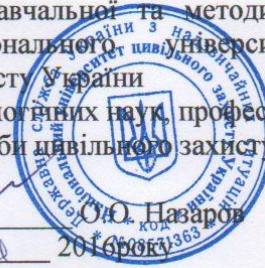
Додаток В
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи
 Національного університету цивільного захисту України

кандидат психологічних наук, професор
 полковник служби цивільного захисту


 «12»  2016 року



Акт

впровадження результатів дисертації на здобуття наукового ступеня
 кандидата технічних наук Назаренка Сергія Юрійовича
 «Розробка методики випробування напірних пожежних рукавів»

Комісія у складі:


Голова начальник кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки к.т.н.,
 доц. Калиновський А.Я.;

Члени комісії: заступник начальника кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки к.т.н., доц. Грінченко Є.М., доцент кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки к.т.н., доц. Коханенко В.Б.

склали дійсний акт про те, що методика випробувань напірних пожежних рукавів, яка розроблена в роботі Назаренка С.Ю. використовуються на кафедрі «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка» в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Протипожежна та аварійно-рятувальна техніка».


Голова

Начальник кафедри

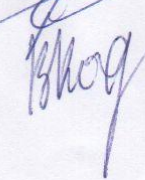
к.т.н., доцент, підполковник сл. ц.з.  А.Я. Калиновський

Члени комісії

Заступник начальника кафедри

к.т.н., доцент, полковник сл. ц.з.  Є.М. Грінченко

Доцент кафедри

к.т.н., доцент, полковник сл. ц.з.  В.Б. Коханенко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник УкрНДЦЗ

канд. техн. наук

В.С.Кропивницький



16 червня 2017 р.

впровадження результатів дисертаційної роботи
Назаренка Сергія Юрійовича

Комісія в складі: голови – заступника начальника Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДЦЗ) канд. техн. наук Бориса О.П. та членів комісії: начальника науково-випробувального центру УкрНДЦЗ Скоробагатька Т.М., начальника відділу вогнезахисту та пожежогасіння науково-випробувального центру УкрНДЦЗ та начальника науково-організаційного відділу УкрНДЦЗ канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Запольського Л.Л., склали цей акт, яким підтверджується впровадження результатів дисертаційної роботи Назаренка С.Ю. в УкрНДЦЗ.

УкрНДЦЗ є головною науковою установою, що виконує розробку, аналіз та впровадження науково-практичних результатів у галузі пожежної безпеки та цивільного захисту. Дисертаційна робота Назаренка С.Ю. становить науковий інтерес, оскільки в ній вирішені актуальні задачі щодо діагностування та прогнозування залишкового ресурсу напірних пожежних рукавів.

В УкрНДЦЗ впроваджено для практичного використання результати дисертаційної роботи Назаренка Сергія Юрійовича, зокрема:

- методику випробувань з визначення прихованих дефектів напірних пожежних рукавів;
- особливості побудови випробувального обладнання для визначення кута закручування пожежних напірних рукавів;
- математичний апарат для оцінювання фізико-механічних властивостей пожежних рукавів при розрахунковому визначенні напружено-деформованого стану.

Використання результатів дисертаційної роботи дає можливість підвищити вірогідність виявлення прихованих дефектів напірних пожежних рукавів, які експлуатуються підрозділами ОРСЦЗ ДСНС України.

Голова комісії

Члени комісії:

О.П. Борис

Т.М.Скоробагатько

В.В. Присяжнюк

Л.Л. Запольський

Додаток Г
МОДУЛІ ПРУЖНОСТІ ФРАГМЕНТІВ РУКАВІВ ТИПУ «Т»
ДІАМЕТРОМ 51 ТА 77 ММ

Таблиця Г.1

Модулі пружності фрагментів рукавів типу «Г» діаметром 51 мм

№	Модулі пружності, МПа			№	Модулі пружності, МПа		
	k_x	k_y	k_ϕ		k_x	k_y	k_ϕ
1	265,1	340,0	10,0	37	286,3	383,3	17,0
2	269,0	341,0	10,5	38	286,5	383,6	17,3
3	270,0	346,7	10,6	39	286,7	383,8	17,3
4	270,0	355,0	11,9	40	287,0	384,2	17,4
5	271,0	356,0	11,9	41	287,2	384,5	17,4
6	271,0	357,0	11,9	42	287,6	385,1	17,5
7	276,2	358,0	12,8	43	287,7	385,4	17,6
8	276,2	360,0	13,2	44	287,9	386,0	17,8
9	276,5	366,0	13,2	45	288,0	386,3	17,9
10	277,1	366,1	14,0	46	288,0	386,6	17,9
11	277,8	366,6	14,0	47	288,0	386,7	18,0
12	278,5	367,0	14,0	48	288,3	386,8	18,0
13	279,1	367,7	14,0	49	288,6	387,3	18,0
14	279,1	368,0	14,3	50	289,2	387,7	18,0
15	279,3	368,8	14,3	51	289,5	388,8	18,0
16	279,4	370,1	14,4	52	289,9	390,1	18,2
17	279,5	370,8	14,6	53	290,2	390,6	18,3
18	279,5	371,1	14,8	54	290,5	391,1	18,5
19	279,7	371,2	14,9	55	291,1	392,1	18,6
20	280,0	371,6	15,0	56	292,0	393,8	19,0
21	280,2	371,7	15,1	57	292,5	394,6	19,0
22	280,5	371,9	15,2	58	292,6	394,7	19,0
23	282,0	372,0	15,2	59	292,7	395,0	19,0
24	282,7	372,3	15,4	60	293,0	396,0	19,0
25	282,9	373,7	15,7	61	293,3	396,3	19,1
26	282,9	376,2	16,0	62	293,5	396,6	19,6
27	283,6	377,5	16,0	63	293,6	397,1	20,0
28	284,9	377,8	16,1	64	293,9	398,0	20,1
29	284,9	377,9	16,2	65	294,9	398,1	20,3
30	284,9	379,1	16,3	66	295,9	398,9	20,4
31	285,1	381,0	16,4	67	296,7	399,5	20,5
32	285,4	381,0	16,7	68	297,5	400,6	20,6
33	285,5	381,3	16,8	69	297,8	401,8	21,2
34	286,0	381,3	17,0	70	298,2	405,7	21,8
35	286,2	381,3	17,0	71	298,8	415,0	22,0
36	282,9	381,7	17,0	72	302,7	416,0	23,0

Таблиця Г.2

Модулі пружності фрагментів рукавів типу «Г» діаметром 77 мм

№	Модуль пружності, МПа			№	Модуль пружності, МПа		
	k_X	k_Y	k_ϕ		k_X	k_Y	k_ϕ
1	390,7	603,0	5,00	37	429,8	634,9	8,20
2	400,7	610,6	5,67	38	430,0	634,9	8,28
3	403,1	611,0	6,00	39	431,2	635,5	8,28
4	406,9	611,0	6,00	40	431,3	635,7	8,30
5	409,1	612,3	6,18	41	431,8	635,9	8,35
6	409,6	613,3	6,31	42	431,8	636,4	8,36
7	411,3	618,3	6,39	43	432,5	636,5	8,46
8	413,0	619,0	6,67	44	432,6	637,0	8,47
9	415,0	619,0	6,77	45	432,6	637,9	8,47
10	415,0	619,4	6,82	46	433,3	638,3	8,57
11	416,0	620,0	6,85	47	433,7	638,4	8,60
12	416,6	620,2	7,00	48	433,7	638,5	8,63
13	417,5	620,8	7,12	49	433,8	639,3	8,63
14	418,1	622,1	7,20	50	434,2	640,1	8,65
15	418,2	623,0	7,25	51	434,3	641,0	8,70
16	420,0	625,4	7,28	52	438,0	641,6	8,72
17	420,7	625,6	7,31	53	438,0	642,0	8,96
18	421,0	627,0	7,37	54	438,4	642,1	9,00
19	421,2	627,3	7,40	55	438,8	642,7	9,00
20	423,1	627,8	7,41	56	440,4	644,0	9,00
21	423,7	628,0	7,50	57	440,9	644,1	9,10
22	424,0	628,9	7,50	58	441,2	645,0	9,30
23	424,3	629,4	7,60	59	442,4	645,0	9,36
24	424,5	630,2	7,61	60	442,7	646,7	9,58
25	424,9	630,4	7,74	61	442,7	646,9	9,65
26	425,1	631,2	7,75	62	443,0	649,6	9,91
27	425,1	631,3	7,76	63	443,7	650,3	9,96
28	426,6	631,5	7,80	64	443,0	651,9	10,05
29	427,4	632,4	7,91	65	445,7	652,4	10,32
30	427,6	632,5	7,97	66	446,1	652,4	10,35
31	427,7	632,5	8,00	67	449,0	653,6	10,40
32	427,9	632,9	8,00	68	449,1	654,2	10,81
33	428,6	633,1	8,02	69	449,5	656,4	10,82
34	429,1	633,7	8,05	70	450,4	658,2	10,88
35	429,4	633,7	8,08	71	452,0	658,8	11,02
36	429,7	634,6	8,10	72	452,5	662,7	11,24

Додаток Д

ДОСЛІДНІ ДАНІ ТИСКУ В НІР В УМОВАХ РЕАЛЬНОЇ ПОЖЕЖІ

Таблиця Д.1

Дослідні дані тиску в НІР в умовах реальної пожежі

n	P, МПа	n	P, МПа	n	P, МПа	n	P, МПа	n	P, МПа
1	0	21	0,15	41	0,22	61	0,4	81	0,45
2	0	22	0,15	42	0,25	62	0,4	82	0,45
3	0,05	23	0,2	43	0,25	63	0,4	83	0,45
4	0,05	24	0,2	44	0,25	64	0,4	84	0,45
5	0,05	25	0,2	45	0,25	65	0,4	85	0,5
6	0,1	26	0,2	46	0,25	66	0,4	86	0,5
7	0,1	27	0,2	47	0,25	67	0,4	87	0,5
8	0,1	28	0,2	48	0,258	68	0,4	88	0,5
9	0,1	29	0,2	49	0,3	69	0,4	89	0,5
10	0,1	30	0,2	50	0,3	70	0,4	90	0,5
11	0,1	31	0,2	51	0,32	71	0,4	91	0,5
12	0,1	32	0,2	52	0,325	72	0,4	92	0,5
13	0,1	33	0,2	53	0,35	73	0,42	93	0,5
14	0,1	34	0,22	54	0,35	74	0,42	94	0,5
15	0,1	35	0,22	55	0,361	75	0,42	95	0,5
16	0,1	36	0,22	56	0,37	76	0,42	96	0,5
17	0,1	37	0,22	57	0,37	77	0,425	97	0,55
18	0,1	38	0,22	58	0,37	78	0,45	98	0,58
19	0,15	39	0,22	59	0,37	79	0,45	99	0,6
20	0,15	40	0,22	60	0,39	80	0,45	100	0,6

Додаток Е

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ НАПІРНИХ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ

МЕТОДИКА

випробування напірних пожежних рукавів

Випробування проводяться з метою визначення прихованих дефектів в напірному пожежному рукаві.

ОБ'ЄКТИ ВИПРОБУВАНЬ

Методика розповсюджується на напірні пожежні рукава.

ВИМОГИ ДО ОБ'ЄКТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Напірні пожежні рукава, які досліджуються, повинні відповідати вимогам ДСТУ 3810–98 «Пожежна техніка. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови».

Напірний пожежний рукав (далі рукав) повинен мати маркування із зазначенням наступної інформації: умовне позначення рукава (тип), номінальний діаметр, довжину, робочий тиск, місяць і рік виготовлення.

ВИМОГИ ДО ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ТА ВИПРОБУВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

- вимір тиску в середині рукава проводити манометром класу точності 1,0 (допустима похибка не більше $\pm 0,01$ МПа);
- час заповнення рукава визначати за допомогою секундоміра, який забезпечує допустиму похибку вимірювань ± 1 с;
- у місцях з'єднання рукавів з арматурою повинна забезпечуватися герметичність;
- стенд для випробування рукавів (рис. 1) повинен містити корпус установки 1 довжиною 1 м, затискач 12, який фіксується на рукаві 3, пристрій для кріплення рукава 6, активний корпус 2 зі стрілкою 11 та фіксаторами 9, опору кочення 7, шкала 10, трос 4, направляючу тросу 8 та вантаж 5;
- пристрої для кріплення рукава та затискач повинні відповідати діаметру рукава та мати гумову накладку, яка служить для усунення прослизання;

- діаметр активного корпусу $210 \text{ мм} \pm 10 \text{ мм}$;
- активний корпус, вимірювач деформації та пристрій для кріплення рукава повинні бути співвісними;
- вимірювач деформації встановлюється паралельно осі рукава;

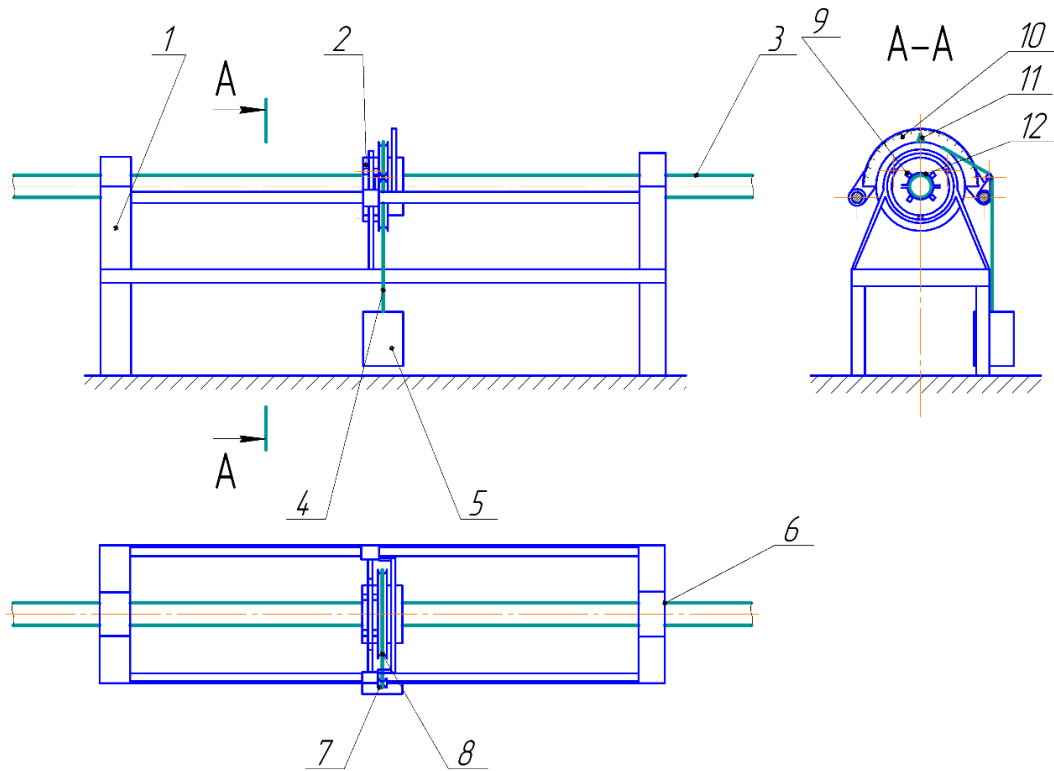


Рис. 1. Схема установки для визначення кута закручування пожежних напірних рукавів: 1 – корпус установки; 2 – активний корпус; 3 – зразок напірного пожежного рукава; 4 – трос; 5 – вантаж; 6 – пристрій для кріплення рукава; 7 – опора кочення; 8 – направляюча тросу; 9 – фіксатори; 10 – шкала; 11 – стрілка; 12 – затискач.

ПІДГОТОВКА РУКАВА ДО ВИПРОБУВАННЯ

Подавання води під час випробувань рукавів рекомендується проводити від будь-якого джерела, що забезпечує необхідний тиск. Рекомендований тиск при випробуванні в рукаві повинен складати $P_{\text{випр}} = 0,6 \text{ МПа}$.

Після видалення повітря та заповнення рукава водою тиск поступово підвищують до $P = 0,4$ МПа і під дією цього тиску рукав витримується протягом 120 ± 5 с. Швидкість підвищення тиску повинна бути сталою і такою, щоб дійти кінцевого значення протягом 30 – 60 с для рукавів з внутрішнім діаметром до 51 мм включно, та 60 – 240 с – для рукавів з внутрішнім діаметром 51 – 250 мм. Далі тиск знижується до нуля, а потім поступово підвищується до випробувального $P_{\text{випр}} = 0,6$ МПа. Швидкість підвищення тиску повинна бути аналогічною до наведеної вище.

ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

1. Випробування рукавів рекомендується проводити перед постановкою рукава в оперативний розрахунок, не рідше одного разу на рік під час експлуатації, а також після кожного ремонту та у разі закінчення гарантійного терміну експлуатації, вказаного в експлуатаційній документації. Цикл випробування виконують таким чином, щоб дослідити рукав по всій його довжині.

1.1. На відстані 0,5 м від з'єднувальної головки встановити на рукав затискач 12;

1.2. За допомогою фіксаторів 9 закріпити активний корпус 2 на затискачі 12, встановити рукав на випробувальну установку 1, забезпечивши надійне його фіксування пристроєм для кріплення рукава 6;

1.3. Перевірити тиск в рукаві, при необхідності довести до випробувального $P_{\text{випр}} = 0,6$ МПа;

1.4. За допомогою тросу 4, що прикріплений до активного корпусу 2 через опору кочення 7, рукав закручується з крутним моментом 15 Н·м (що відповідає вантажу 15 кг з важелем довжиною 0,1 м). Візуально визначається положення стрілки на активному корпусі і фіксується кут закручування рукава на даній ділянці;

1.5. Результати виміру занести в протокол (додаток Б);

1.6. Кріплення рукава послабляють, рукав поздовжньо переміщують на (1 м) і виконують роботи п.п. 1.1. – 1.5.

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

Порівнюють значення, що отримали під час випробування з еталонним значенням, що визначенні під час випробування при постановці рукава в оперативний розрахунок.

Якщо під час випробування на якійсь ділянці кут закручування перевищує 10° від еталонного, рукав знімається з оперативного розрахунку.

Додаток Ж



ДСНС України

ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ
З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Новобаварський районний відділ у м. Харкові

пров. Шаповалівський, 8, м. Харків, 61157, тел./факс (057) 734 98 19

Web: <http://www.kharkiv.mns.gov.ua> код ЄДРПОУ 38631015 E-mail: Pgpch26@kharkiv.mns.gov.ua

13.11.2014. № 260-1032

На № _____ від _____

Довідка

У період з липня 2014 по червень 2015 року на базі 26 Державної пожежно-рятувальної частини було проведено випробування напірних пожежних рукавів діаметром 51 та 77 мм за запропонованою методикою випробування, яку було розроблено у рамках дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 - «Пожежна безпека» Назаренка Сергія Юрійовича на тему «Розробка способу випробування напірних пожежних рукавів».

Начальник

Новобаварського районного відділу
у м. Харкові Головного управління
Державної служби України з
надзвичайних ситуацій у Харківській області

О.В. Примак