УДК 622.691.4
DOI: 10.31471/1993-9868-2024-2(42)-71-84

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛЬНОГО ВНУТРІШНЬОТРУБНОГО РЕМОНТУ ВАЖКОДОСТУПНИХ ДІЛЯНОК ТРУБОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

[1]Я. В. Дорошенко*, [1]Р. В. Бондаренко, [1]В. Б. Запухляк, [2]О. О. Філіпчук, [1]Ю. І. Дорошенко

[1]ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)42157;
e-mail: yaroslav.doroshenko@nung.edu.ua

[2]АТ «Укргазвидобування»; 04053, м. Київ, вул. Кудрявська, 26/28, тел. (095)4355021;
e-mail: oleksandr.filipchuk@ugv.com.ua

Більшість трубопровідних мереж в Україні різноманітного призначення (газ, теплопостачання, вода, каналізація) у критичному стані через старіння, зношеність, корозію, механічні пошкодження тощо. Ці чинники спричинюють постійне збільшення кількості аварій, які мають численні негативні наслідки. Щоб змінити таку тенденцію, треба виконувати великі обсяги ремонтних робіт із масштабним застосуванням безтраншейних технологій. На основі аналізу переваг і недоліків існуючих траншейних та безтраншейних технологій реновації та ремонту трубопровідних мереж обґрунтовано, що на сьогодні, в умовах обмежених бюджетів операторів, актуальним є застосування технологій локального внутрішньотрубного ремонту трубопровідних мереж, особливо у важкодоступних місцях. Незважаючи на різноманіття технологій такого ремонту, сьогодні, в умовах зростаючої складності трубопровідних мереж, існує потреба у їх подальшому розвитку, удосконаленні. Для виконання внутрішньотрубного ремонту трубопровідних мереж розроблено технологію "Тяговий поршень^{Б}", яка полягає у доставленні трубопроводом ремонтної системи до локального дефекту стінки труби у важкодоступне місце (зокрема за крутовигнутий відвід, трійник) і встановленні там ремонтного бандажа. Доставлення запропоновано виконати поршнем із силіконового компаунда, а притискання просякнутого спеціальною смолою ремонтного бандажа до внутрішньої стінки трубопроводу в місці локального дефекту – подаванням повітря у еластичну оболонку, на яку він насунутий. Особлива увага приділена експериментальній частині дослідження, яка підтвердила працездатність розробленої технології і технологічність виконання усіх операцій. Запропонована технологія має потенціал до застосування в різних галузях, де необхідно забезпечити надійність та довговічність трубопровідних мереж, зокрема газовій, теплоенергетичній, водопостачальній тощо.

Ключові слова: бандаж, поршень, протягування, трійник, пакер.

Most of Ukraine's multi-purpose pipeline networks (gas, heat, water, sewage) are in critical condition due to ageing, wear, corrosion, mechanical damage, etc. These factors cause a constant increase in the number of accidents, which have numerous negative consequences. In order to reverse this trend, it is necessary to carry out large-scale repairs using trenchless technologies. Based on the analysis of the advantages and disadvantages of the existing trench and trenchless technologies for the renovation and repair of pipeline networks, it is proven that today, in the conditions of limited budgets of operators, the application of technologies for the local in-pipe repair of pipeline networks, especially in hard-to-reach places, is relevant. Despite the variety of technologies for such repairs, there is a need for their further development and improvement in the conditions of increasing complexity of pipeline networks. The "Pulling pig^{B}" technology has been developed to carry out in-pipe repairs of pipeline networks, which consists in delivering the repair system through the pipeline to a local defect in the pipe wall in a hard-to-reach place, in particular behind an elbow, a T-piece, and installing a repair bandage there. It is proposed to use a pig made of silicone compound and to press a repair bandage impregnated with a special resin onto the inner wall of the pipeline in the place of a local defect by supplying air to the elastic shell onto which it is pressed. Special attention was paid to the experimental part of the study, which confirmed the feasibility of the developed technology and the manufacturability of all operations. The proposed technology has a potential for application in various industries where it is necessary to ensure the reliability and durability of pipeline networks, in particular in gas, thermal power, water supply, etc.

Keywords: bandage, pig, pulling, tee, packer.

Вступ

Трубопровідні мережі відіграють ключову роль у забезпеченні газом, теплом та водою міст, підприємств і населених пунктів. Однак, на сьогодні в Україні більшість трубопровідних мереж експлуатуються понад 50 років і досягли критичного стану здебільшого через корозійні процеси, що мають як місцевий, так і загальний

характер. Корозійні процеси призводять до частих аварій трубопроводів, які супроводжуються витоками і значними втратами енергоносіїв та перебоями з їх постачанням, забрудненням довкілля. Аварії трубопровідних мереж можуть супроводжуватись вибухами, фонтанами води, вимиванням ґрунту і провалюванням автомашин. Все це є загрозою життю і здоров'ю мешканців та призводить до руйнування благоустрою, інфраструктури. Щоб запобігти аваріям, трубопроводи потрібно регулярно обстежувати та своєчасно виконувати реновацію, ремонт або повну заміну дефектних ділянок.

Реновацію дефектних ділянок трубопровідних мереж виконують за безтраншейними технологіями, які переважно полягають у протягуванні нової поліетиленової труби чи рукава у дефектний металевий трубопровід. Безтраншейні технології, повна заміна дефектних ділянок трубопроводів потребують значних фінансових витрат. До того ж, щоб виконувати реновацію безтраншейними технологіями, необхідне спеціалізоване обладнання, матеріали. Тому на сьогодні в умовах обмежених бюджетів операторів трубопровідних мереж такі роботи виконують в мінімальних обсягах. Однак, щоб не відбувалось різкого збільшення кількості аварій трубопровідних мереж, збільшення витрат на усунення наслідків аварій та аварійні ремонти, необхідно проводити регулярне обстеження трубопроводів та своєчасно виконувати локальний ремонт.

На сьогодні в Україні локальний ремонт трубопровідних мереж у основному виконують траншейними технологіями з розкопуванням дефектних місць. Однак, у містах, особливо великих, доволі часто це є значною проблемою, яка вимагає багато часу, різноманітних погоджень, значних капіталовкладень та призводить до багатьох незручностей. Треба перекривати дороги, тротуари, руйнувати асфальтне покриття, порушуючи благоустрій. Зустрічаються дефектні ділянки трубопроводів, прокладені у різноманітних важкодоступних місцях для зовнішнього розкопування. Наприклад, під залізницями, річками, каналами, центральними дорогами міст з інтенсивним рухом, історичною інфраструктурою та іншими спорудами, де практично неможливо застосовувати традиційний ремонт. Бувають випадки, коли важкодоступні дефектні ділянки трубопроводів реконструюють прокладанням паралельних ниток, що вимагає значних капіталовкладень.

Щоб забезпечити можливість обстеження та ремонту трубопровідних мереж без зовнішнього доступу до них, зокрема у важкодоступних місцях, треба розробляти та впроваджувати високотехнологічні внутрішньотрубні методи виконання таких робіт.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

На сьогодні ефективними технологіями обстеження, реновації та ремонту трубопровідних мереж без виконання земляних робіт є безтраншейні. Такі технології протягом останніх 40 років інтенсивно розвиваються і здатні забезпечити вирішення багатьох проблем із технічного обслуговування та ремонту трубопровідних мереж, зокрема у важкодоступних місцях. Тому вони стають все більш популярними і мають низку переваг, основними з яких є зниження витрат на виконання робіт, зменшення часу ремонту, мінімізація впливу на довкілля та інфраструктуру.

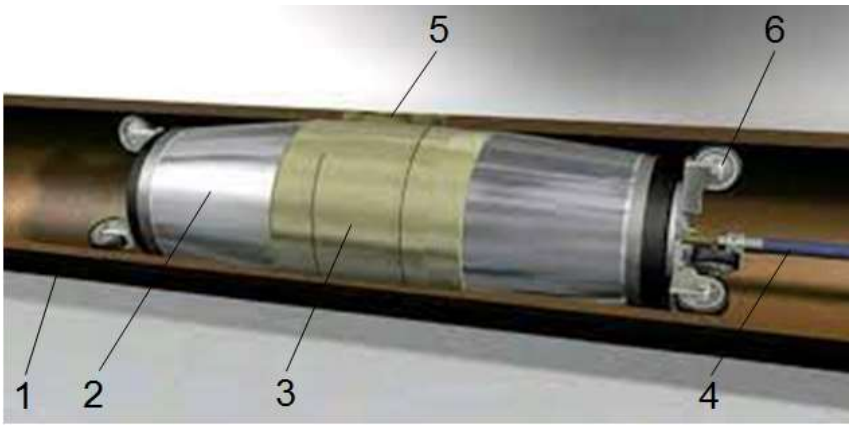
У [1-3] здійснено огляд та аналіз існуючих безтраншейних технологій спорудження, обстеження, реновації та ремонту трубопроводів, описано їх переваги та недоліки.

Для внутрішньотрубного обстеження трубопровідних мереж на сьогодні все частіше застосовують різноманітних роботів [4, 5], обладнаних освітлювальними пристроями, відеокамерами та іншими засобами. Щоб такі роботи рухались внутрішньою порожниною трубопроводу, їх розміщують на колісному, гусеничному чи іншому рушії [6]. Живлення роботів зазвичай здійснюється за допомогою кабелю, який робот тягне за собою.

Безтраншейні технології реновації протяжних дефектних ділянок трубопровідних мереж полягають у внутрішньотрубному нанесенні захисного покриття розпиленням SAPL [7, 8] або протягуванні у дефектні ділянки трубопроводів поліетиленових труб [9, 10] чи рукавів [11-13]. Протягування виконують лебідками, різноманітними гідродомкратними установками, тракторами тощо. У [14-16] запропоновано поліетиленові труби або рукав протягувати в дефектний сталевий трубопровід поршнем. Щоб виконати такі роботи, розроблено технологію та методику підбору компресора.

Для безтраншейного локального ремонту на сьогодні застосовують ремонтні системи, які ще називають бандажами або патчами. Патчі є композитними або полімерними бандажами, які встановлюють всередині трубопроводу в місці дефекту. Їх виготовляють із різних матеріалів. Це може бути скловолокно, поліестр, епоксидні смоли або спеціальні полімери. Композитні патчі армовані шарами вуглецевого волокна та/або скловолокна, термопластичних поліефі-

ISSN 1993–9868 print
ISSN 2415–3109 online



1 – дефектний трубопровід; 2 – гумова оболонка; 3 – патч; 4 – трубка; 5 – дефект; 6 – ролик

Рисунок 1 – Схема встановлення патча надувним пакером [19]

рних, поліпропіленових волокон, закріплених у щільну повсть. У місці дефекту стінки труби патчі установлюють за допомогою спеціальних пристроїв, так званих пакерів. Пакери можуть бути надувними, механічними пристрої або роботизованими системами, за допомогою яких патчі доставляють до місця локального дефекту стінки труби та рівномірно притискають і фіксують на внутрішній стінці труби. На зовнішню поверхню патча наносять спеціальну смолу, розміщуючи його на еластичній оболонці пакера, яку заздалегідь обгортають поліетиленовою плівкою або фольгою, що запобігає прилипанню патча. Пакер запасовують у трубопровід і проштовхують гнучкими або жорсткими трубками до місця локального дефекту стінки труби (роботизовані переміщуються самі). Пакер розширюється і щільно притискає патч до внутрішньої стінки труби в місці локального дефекту. Після затвердіння смоли і установлення патча його затискання послаблюють, і пакер виймають з трубопроводу. Якщо пакер надувний, то він є заглушеною з двох сторін еластичною оболонкою, в яку гнучкою або жорсткою трубкою нагнітають пару, гарячу воду або повітря до необхідного тиску. В результаті надування відбувається розширення оболонки і щільне притискання рукава до внутрішньої стінки трубопроводу (рис. 1). Після затвердіння патча з пакера стравлюють повітря і видаляють із трубопроводу. Механічні пакери притискають патчі до внутрішньої стінки трубопроводу і фіксують їх за допомогою важелів, які активуються вручну або за допомогою гідравлічного чи пневматичного механізму. Роботизовані пакери забезпечують можливість дистанційного керування процесом встановлення патчів і візуального контролю що, забезпечує їх правильне розміщення і адгезію. [2, 17, 18]

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Безтраншейні технології реновації трубопроводів поряд із своїми численними перевагами мають ряд недоліків:

- велика вартість матеріалів і спеціалізованого обладнання;
- такі технології неможливо застосувати на ділянках трубопроводів, які містять крутовигнуті відводи або трійники;
- організація процесу, підготовчі роботи та підготовка обладнання можуть бути довготривалими.

Також необхідно розробляти достатніх розмірів робочий і приймальний котловани, очищувати внутрішню порожнину зношеного сталевого трубопроводу, прокладати в нього тяговий трос. Тому безтраншейні технології реновації доцільно застосовувати для відновлення протяжних зношених прямолінійних ділянок трубопроводу або ділянок пружного згину. Якщо треба виконати локальний ремонт, вони є економічно необґрунтованим через високу вартість обладнання та робіт.

Щоб виконати локальний ремонт трубопроводу, доцільніше застосовувати простіші та дешевші методи, а саме, ремонтні системи (патчі). Однак, для виконання локального внутрішньотрубного ремонту трубопроводу у важкодоступному місці (особливо за трійниками, крутовигнутими колінами) патч потрібно доставити туди і встановити. Для виконання таких операцій технологій на сьогодні не існує.

Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є розроблення технології локального безтраншейного ремонту трубопровідних комунікацій у важкодоступних місцях, зокрема за трійниками, крутовигнутими колінами тощо.

Мета та завдання досліджень

Метою досліджень є розроблення та експериментальна перевірка працездатності технології локального внутрішньотрубного ремонту важкодоступних ділянок трубопровідних мереж.

Завданнями досліджень є:

- розроблення технології доставки та встановлення ремонтної системи у місці важкодоступного локального дефекту трубопроводу;
- розроблення лабораторної експериментальної установки та виготовлення технічних засобів для внутрішньотрубного локального ремонту важкодоступної ділянки трубопроводу;
- перевіряння технологічності виконання операцій із доставки та встановлення ремонтного бандажа у місці важкодоступного локального дефекту трубопроводу.

Виклад основного матеріалу

Процес безтраншейного локального ремонту трубопроводу зазвичай складається з таких основних етапів:

– внутрішньотрубне обстеження;
– ремонт дефектів стінки труби;
– випробування тиском;
– внутрішньотрубний відеоконтроль.

Для внутрішньотрубного обстеження важкодоступних ділянок трубопровідних мереж найкраще застосовувати роботів з гусеничним рушієм підвищеної прохідності [6], що можуть долати різні перешкоди у внутрішній порожнині трубопроводів, а також крутовигнуті відводи та трійники трубопроводів. Крім обстеження, вони призначені для відеоогляду і можуть визначати стан внутрішньої порожнини трубопроводу з виявленням різних напливів у місці зварних швів, зміщень кромок, які часто зустрічаються у трубопроводах мереж.

Щоб виконати внутрішньотрубний ремонт локального дефекту трубопроводу у важкодоступному місці за крутовигнутим відводом, трійником, треба ремонтну систему (бандаж) доставити туди. У [20, 21] встановлено, що відводи, трійники здатні проходити суцільнолиті циліндричні поршні із силіконового компаунда. У трійниках, потік у яких входить в одну із сторін магістралі і повністю перетікає в його відгалуження, або входить у відгалуження трійника і повністю перетікає в одну із сторін його магістралі, такі поршні викривлюються і рухаються за напрямком потоку. Поршні із силіконового компаунда не руйнуються під час проходження відводів, трійників трубопроводу; малоймовірне їх застрягання. Це досягається завдяки тому, що силіконовий компаунд є міцним гіперпружним матеріалом із нелінійною, надпружною та великою деформацією під навантаженням і практично з відсутністю змін при цьому об'єму [22]. Тому циліндричним поршнем із силіконового компаунда можна доставити бандаж у важкодоступне місце трубопроводу – за крутовигнутий відвід, трійник.

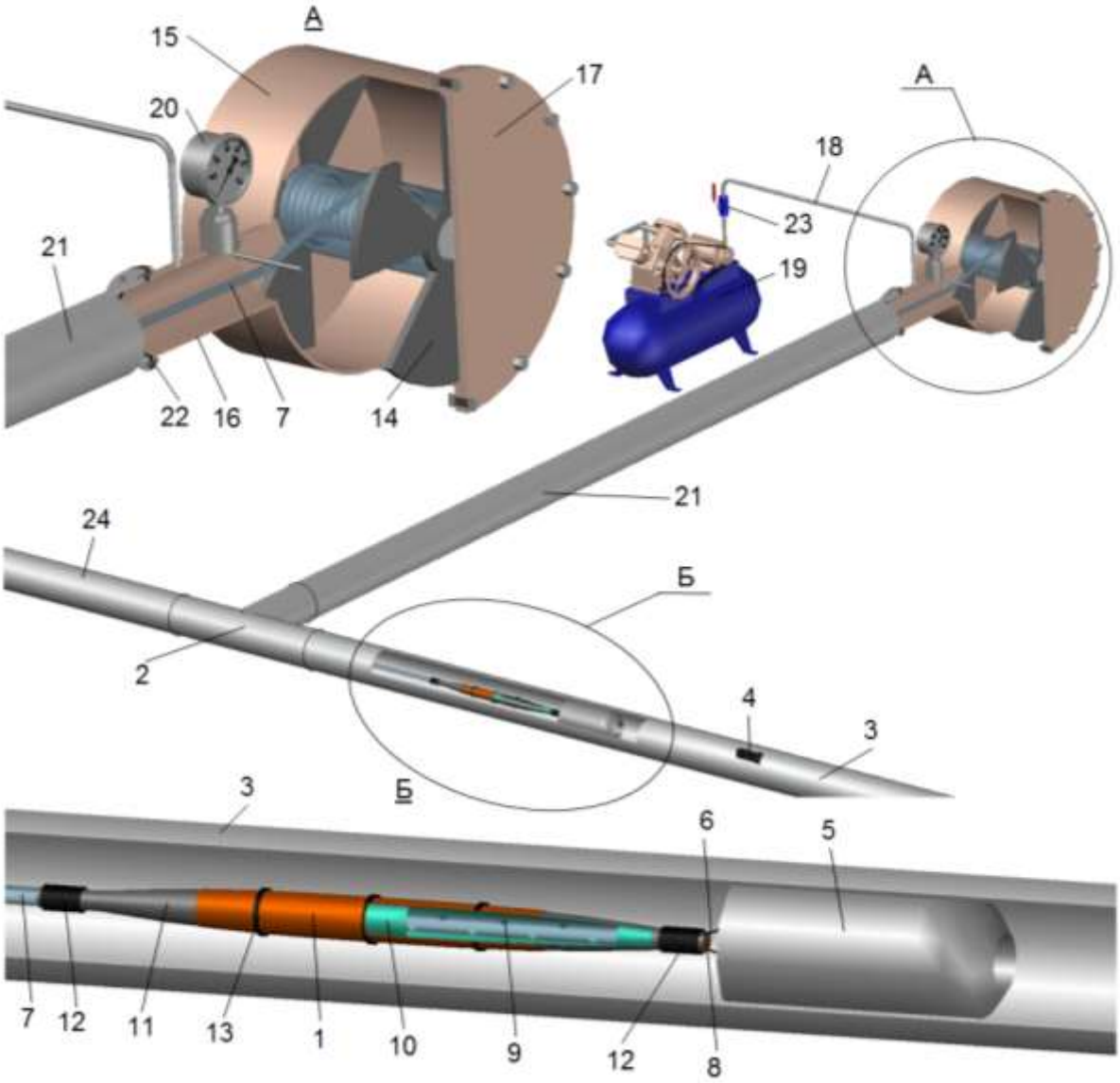
Щоб забезпечити можливість доставки та встановлення ремонтного бандажа у місці важкодоступного локального дефекту трубопроводу, розроблено технологію "Тяговий поршень^{Б}", яка полягає у наступному. Ремонтний бандаж виготовляють із поліестру, склотканини, скловолокна, поліуретану або поліефіру. Довжина бандажа не повинна перевищувати діаметр трубопроводу більше, ніж у 3 рази. Щоб доставити ремонтний бандаж 1 за трійник 2 трубопроводу 3 в місце локального дефекту 4, до початку виконання робіт циліндричний поршень 5 із силіконового компаунда тягами 6 треба прикріпити до гнучкої трубки 7 (рис. 2). Початок гнучкої трубки 7 в місці кріплення до неї поршня 5 має бути заглушений заглушкою 8. У стінці гнучкої трубки 7, на її початку, мають бути виконані отвори 9.

На місці виконання робіт на початок гнучкої трубки 7 насувають еластичну оболонку 10, діаметр якої має бути меншим внутрішнього діаметра трубопроводу 3, та обгортають її поліетиленовою плівкою 11. Тоді еластичну оболонку 10 і поліетиленову плівку 11 у двох місцях міцно прив'язують зав'язками 12 до гнучкої трубки 7. Отвори 9 у гнучкій трубці 7 повинні бути всередині еластичної оболонки 10. На поліетиленову плівку 11 насувають просякнутий спеціальною смолою (поліефірною, віниловим ефіром або епоксидною), змішаною з затверджувачем ремонтний бандаж 1, який прив'язують у двох-трьох місцях неміцними зав'язками 13.

Поліетиленову плівку 15 застосовують, щоб запобігти прилипанню ремонтного бандажа 1 до еластичної оболонки 11. Також для цього можна застосовувати фольгу, яка повинна виступати за межі бандажа 1 не менше, ніж на 20 мм.

Протилежний кінець гнучкої трубки 7 міцно закріплюють до валу барабана 14 і намотують на нього. Бокові диски барабана 14 повинні мати прорізи. Поршень 5 із прикріпленим до нього початком гнучкої трубки 7 і ремонтним бандажем 1 поміщають усередину циліндричної герметичної камери 15 і витягують їх з трубної котушки 16. Тоді усередину циліндричної герметичної камери 15 в паз поміщають барабан 14 із намотаною гнучкою трубкою 7. Кришкою 17 закривають бічний торець герметичної камери 15.

ISSN 1993–9868 print
ISSN 2415–3109 online



1 – ремонтний бандаж; 2 – трійник; 3, 21, 24 – трубопровід; 4 – локальний дефект; 5 – байпасний поршень; 6 – тяга; 7 – гнучка трубка; 8 – заглушка; 9 – отвір; 10 – еластична оболонка; 11 – поліетиленова плівка; 12, 13 – зав'язка; 14 – барабан; 15 – герметична камера; 16 – трубна котушка; 17 – кришка; 18 – шланг; 19 – компресор; 20 – манометр; 22 – фланець; 23 – кран

Рисунок 2 – Схема доставки ремонтного бандажа до місця локального дефекту трубопроводу

Довжина гнучкої трубки 7 має бути такою, щоб, коли поршень 5 затягне ремонтний бандаж 1 до місця локального дефекту 4 трубопроводу 3, вона була повністю розмотана з барабана 14 і загальмувала поршень 5. Для визначення необхідної довжини гнучкої трубки 7 перед виконанням ремонтних робіт треба визначити віддаль від торця ремонтованого трубопроводу 3 до місця локального дефекту 4 трубопроводу 3.

До одного із штуцерів трубної котушки 16 шлангом 18 приєднують компресор 19, а до другого – манометр 20. Тоді у робочому котловані поршень 5 запасовують у внутрішню порожнину трубопроводу 21 і до його торця хомутом або фланцем 22 кріплять трубну котушку 16 герметичної камери 15. Таким чином, підготовка до виконання внутрішньотрубного ремонту локального дефекту 4 трубопроводу 3 з трійником 2 завершена.

Щоб затягнути ремонтний бандаж 1 до місця локального дефекту 4 трубопроводу 3, відкривають кран 23, і компресор 19 шлангом 18 нагнітає повітря в запоршневий простір. Тиск за поршнем 5 зростає, що фіксують за показами манометра 20, і останній починає рухатись трубопроводом 21, тягнучи за собою гнучку трубку 7 з ремонтним бандажем 1. Гнучка трубка 7 розмотується з барабана 14, який обертається. Під час руху поршень 5 також очищує внутрішню порожнину трубопроводу 3.

Щоб поршень 5 у трійнику 2 з його відгалуження повернув у трубопровід 3, який містить локальний дефект 4, у цю ж сторону повинен рухатись потік повітря. Тому трубопровід 24 має бути перекритий. У такому випадку в трійнику 2 поршень 5, який виготовлений із гнучкого гіперпружного матеріалу (силіконового компаунда), буде рухатись за потоком та змінить напрямок руху і із відгалуження трійника 2 поверне у трубопровід 3. За собою поршень 5 потягне до локального дефекту 4 трубопроводу 3 гнучку трубку 7 з ремонтним бандажем 1.

Коли поршень 5 затягне ремонтний бандаж 1 до місця локального дефекту 4 трубопроводу 3, гнучка трубка 7 повністю розмотається з барабана 14. Оскільки, кінець гнучкої трубки 7 міцно закріплений до валу барабана 14, то вона загальмує поршень 5. У момент зупинки поршня 5 відбудеться різке збільшення тиску в запоршневому просторі, що фіксують за показами манометра 20. Щоб збільшення тиску не було надто великим і гнучка трубка 7 не розірвалась, циліндричний поршень 5 має бути байпасним, тобто має мати отвір вздовж своєї осі. Повітря, яке після гальмування поршня 5 подає компресор 19, буде проходити крізь цей отвір. Місцезнаходження поршня 3 можна проконтролювати відеокамерою, проштовхнутою з протилежного кінця трубопроводу 3.

Коли ремонтний бандаж 1 поршнем 2 доставлено у місце локального дефекту 3 трубопроводу 4, кран 5 перекривають і припиняють подавання компресором 6 повітря у запоршневий простір (рис. 4). Тоді шланг 7 від'єднують від штуцера трубної котушки 8, знімають кришку бічного торця герметичної камери 9. Через прорізи в боковому диску барабана 14 (рис. 2) відкріплюють кінець гнучкої трубки 10 (рис. 3) від його валу. Тоді барабан 14 (рис. 2) витягують із герметичної камери 9 (рис. 3), а до гнучкої трубки 10 під'єднують трійник 11 з манометром 12, вентиль 13 та шланг 7 від компресора 6. Відкривають кран 5, вентиль 13 і компресором 6 нагнітають повітря в гнучку трубку 10, яке крізь отвори 14 у її стінці надходить у еластичну оболонку 15. У результаті нагнітання повітря тиску у еластичній оболонці 15 збільшується, її роздуває, що призводить до розривання неміцних зав'язок 16 і щільного притискання та адгезії ремонтного бандажа 1 до внутрішньої стінки трубопроводу 4 в місці локального дефекту 3. Тиск у еластичній оболонці 15 контролюють манометром 12 та плавно збільшують до необхідного (0,9-1 атм) вентилем 13.

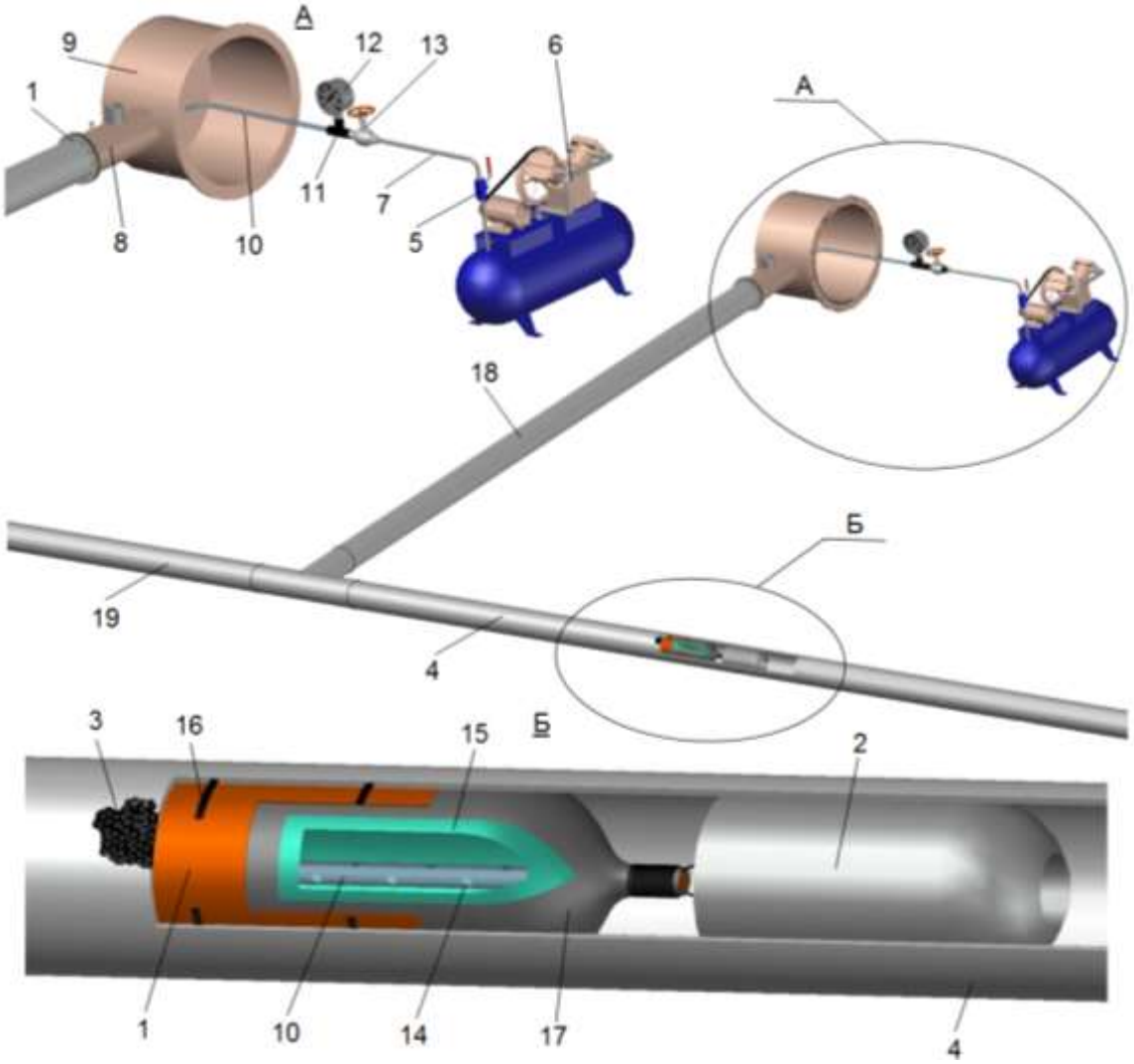
Щільно притиснутий до внутрішньої стінки трубопроводу 4 еластичною оболонкою 15 ремонтний бандаж 1 у місці локального дефекту 3 витримують певний час, до затвердіння смоли, якою він просякнутий. Щоб пришвидшити затвердіння смоли, в еластичну оболонку 15 доцільно нагнітати тепле повітря. Щоб забезпечити потік теплого повітря в еластичній оболонці 15, треба зробити отвір. Після затвердіння і з'єднання ремонтного бандажа 1 з внутрішньою стінкою трубопроводу 4 у місці локального дефекту 3 гнучку трубку 10 від'єднують від трійника 11. У результаті тиск у еластичній оболонці 15 зменшується до атмосферного, і вона відходить від внутрішньої стінки трубопроводу 4 і ремонтного бандажа 1. Оскільки еластична оболонка 15 обгорнута поліетиленовою плівкою 17, то її приклеювання до ремонтного бандажа 1 не відбувається. Таким чином, встановлення ремонтного бандажа 1 у місці локального дефекту 3 трубопроводу 4 завершено.

Щоб видалити поршень 2, еластичну оболонку 15 та гнучку трубку 10 із трубопроводу 4, необхідно закрити герметичну камеру 9. Для цього кінець гнучкої трубки 10 поміщують у її внутрішню порожнину і монтують кришку герметичної камери 9. Тоді шланг 7 від компресора 6 приєднують до штуцера трубної котушки 8 герметичної камери 9. Відкривають кран 5, і компресором 6 нагнітають повітря в трубопроводи 4, 18 та 19. У результаті тиск у запоршневому просторі зростає, і поршень 2 починає рухатись трубопроводом 4, витягаючи за собою еластичну оболонку 15 та гнучку трубку 10. Після видалення з трубопроводу 4 поршня 2, еластичної оболонки 15 та гнучкої трубки 10 герметичну камеру 9 демонтують.

Наступними етапами є випробування відремонтованого трубопроводу тиском і внутрішньотрубний відеоконтроль, який найкраще здійснювати за допомогою робота з гусеничним рушієм.

Для перевіряння можливості реалізації ідеї протягування байпасним поршнем із гіперпружного матеріалу (силіконового компаунда) ремонтної системи трійником трубопроводу і встановлення ремонтного бандажа у місці важкодоступного локального дефекту трубопроводу розроблено лабораторну експериментальну установку та виготовлено відповідні засоби.

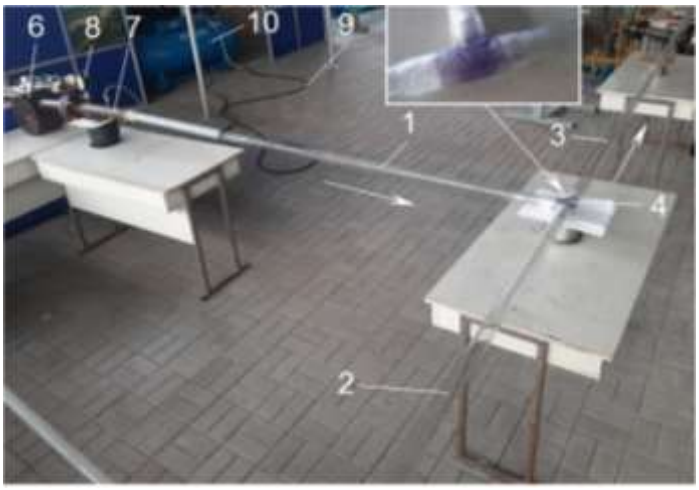
Експериментальну установку змонтовано з трьох скляних труб 1, 2, 3 внутрішнім діаметром 38 мм і довжиною 2,4 м кожна, між якими поміщено прозорий пластиковий рівнопрохідний трійник 4 внутрішнім діаметром 38 мм (рис. 4, а). Скляні труби 1, 2, 3 і пластиковий



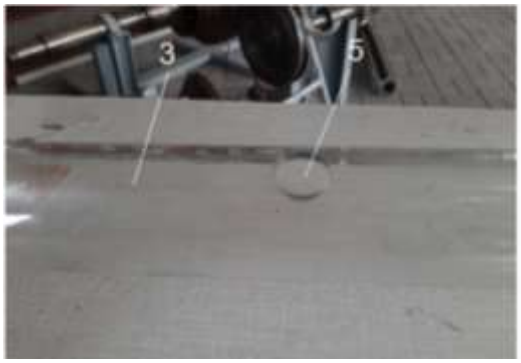
1 – ремонтний бандаж; 2 – поршень; 3 – локальний дефект; 4, 18, 19 – трубопровід; 5 – кран; 6 – компресор; 7 – шланг; 8 – трубна котушка; 9 – герметична камера; 10 – гнучка трубка; 11 – трійник; 12 – манометр; 13 – вентиль; 14 – отвір; 15 – еластична оболонка; 16 – зав'язка; 17 – поліетиленова плівка

Рисунок 3 – Схема внутрішньотрубного встановлення ремонтного бандажа в місці локального дефекту важкодоступної ділянки трубопроводу

трійник 4 з'єднано липкою стрічкою, яка також виконувала роль запобіжника тиску у разі його непередбачуваного збільшення понад допустиме значення. Перевагою такого прозорого трубопроводу є можливість візуального спостереження за динамікою протягування поршнем ремонтної системи та процесом встановлення ремонтного бандажа у місці важкодоступного локального дефекту трубопроводу, що є важливим для перевірки технологічності операцій. У скляній трубі 3 виконано отвір 5 (рис. 4, б), який імітує локальний дефект трубопроводу у важкодоступному місці, розміщеному за трійником 4. До скляної труби 1 під'єднано герметичну камеру 6 з трубною котушкою 7, до одного з патрубків якої під'єднано манометр 8, а до іншого – шланг 9 від компресора 10. Манометром 8 фіксували тиск на вході в трубопровід під час протягування поршнем ремонтної системи. Повітря у запоршневий простір шлангом 9 подавали із ресивера компресора 10 (компресор Eccoair N=7,5 кВт, модель ECCO 10/15B, P_{max}=15 бар, об'єм ресивера 500 л). У ресивері компресора 10 відбувалось стабілізування тиску. Краном на виході компресора 10 регулювали витрату повітря і, відповідно, швидкість руху поршня. Протилежний трійнику 4 торець скляної труби 2 заглушений, а скляної труби 3 – відкритий. Із нього відбувався вільний вихід повітря в атмосферу. За такої схеми поршень в трійнику 4 змінював напрям руху зі скляної труби 1 у скляну трубу 3.



а)



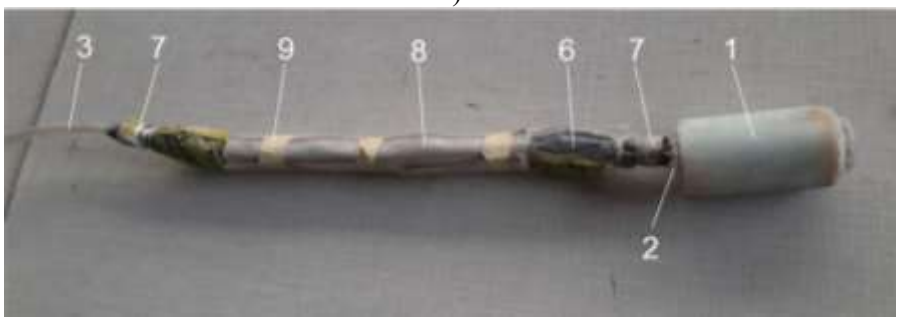
б)

а) – загальний вигляд; б) – локальний дефект трубопроводу;
1, 2, 3 – скляна труба; 4 – трійник; 5 – отвір; 6 – герметична камера;
7 – трубна котушка; 8 – манометр; 9 – шланг; 10 – компресор

Рисунок 4 – Експериментальна установка для внутрішньотрубного локального ремонту важкодоступної ділянки трубопроводу бандажем

а)

б)



в)

а) – прикріплений байпасний циліндричний поршень із силіконового компаунда;
б) – прикріплена еластична оболонка; в) – прикріплений ремонтний бандаж
1 – поршень; 2 – тяга; 3 – гнучка трубка; 4, 7 – зав'язка; 5 – еластична оболонка;
6 – поліетиленова плівка; 8 – ремонтний бандаж; 9 – малярна стрічка

Рисунок 5 – Підготовка до протягування та встановлення ремонтної системи

Щоб доставити ремонтний бандаж у важкодоступне місце трубопроводу за трійник 4 (рис. 4, а) до отвору 5 в скляній трубі 3 (рис. 4, б), виготовлено циліндричний поршень 1 із силіконового компаунда (рис. 5, а). Поршень має отвір, що запобігає суттєвому збільшенню тиску в запоршневому просторі після його гальмування за наскрізним дефектом стінки труби. Поршень 1 тягами 2 прикріплено до гнучкої ПВХ трубки 3 (рис. 5, б), до якої зав'язками 4 прив'язано еластичну оболонку 5. Усередині еластичної оболонки 5 гнучка трубка 3 має отвори, а її кінець заглушений заглушкою. Еластичну оболонку 5 обгорнуто поліетиленовою плівкою 6, яку зав'язками 7 прив'язано до гнучкої трубки 3 (рис. 5, в). На поліетиленову плівку 6 насунуто просякнутий епоксидним клеєм ремонтний бандаж 8 із пожежного рукава, який прив'язано до еластичної оболонки 5 тонкою неміцною малярною стрічкою 9.

ISSN 1993–9868 print
ISSN 2415–3109 online

а) б)

а) – прикріплена до валу барабана гнучка трубка;
б) – поміщений у циліндричну герметичну камеру барабан із намотаною гнучкою трубкою;
1 – болт; 2 – пластина; 3 – гнучка трубка; 4 – барабан; 5 – герметична камера;
6 – трубна котушка

Рисунок 6 – Підготовка герметичної камери

Болтами 1 і пластиною 2 закріплено протилежний кінець гнучкої трубки 3 до валу барабана 4 (рис. 6, а). Для від'єднання гнучкої трубки 3 від валу барабана 4 після доставки ремонтного бандажа до місця локального дефекту в одному боковому диску барабана 4 виконано проріз. Поршень із прикріпленою до нього ремонтною системою поміщали всередину циліндричної герметичної камери 5 і витягували їх з трубної котушки 6. Тоді у циліндричну герметичну камеру 5 поміщали барабан 4 із намотаною гнучкою трубкою 3 (рис. 6, б) і кришкою закривали бічний торець.

Витягнутий із трубної котушки 6 (рис. 6, б) поршень запасовували в скляну трубу 1 і до неї фланцем приєднували герметичну камеру 6 (рис. 4). Тоді відкривали кран на виході компресора 10, і з його ресивера шлангом 9 (рис. 4) повітря надходило в запоршневий простір. Тиск у ньому збільшувався, і скляною трубою 1 до трійника 2 поршень 3 протягував ремонтну систему 4 та гнучку трубку 5 (рис. 7, а), яка розмотувалась із поміщеного у герметичну камеру барабана. Із скляної труби 1 поршень 3 заходив у пластиковий трійник 2, в якому змінював напрям руху в бік скляної труби 6, оскільки скляна труба 7 заглушена. За собою поршень 3 у скляну трубу 6 трійником 2 затягував ремонтну систему 4 (рис. 7, б) і далі протягував її до місця локального дефекту. Під час руху поршня 3 скляними трубами 1 та 6 і пластиковим трійником 2 експериментальної установки тиск у запоршневому просторі фіксували манометром.

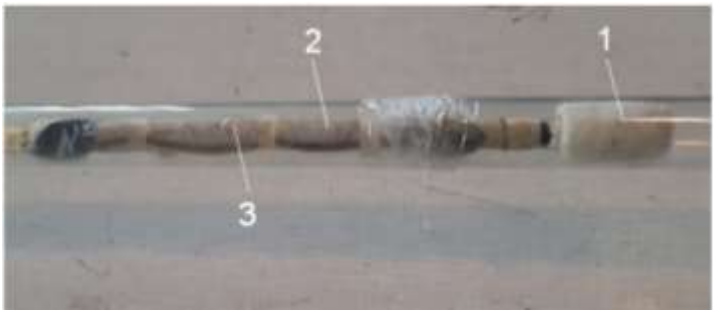
Коли поршень 1 затягнув ремонтну систему 2 у місце отвору 3 у скляній трубі 4 (рис. 8, а), який імітував локальний дефект, гнучка трубка 5 з барабана герметичної камери була розмотана повністю. У момент повного розмотування прикріпленої до валу барабана гнучкої трубки (рис. 6) відбулось гальмування прикріпленого до неї поршня 3, і протягування ремонтної системи 2 (рис. 8, а) припинялось. Тоді ремонтна система 2 знаходилась у місці отвору 3 у скляній трубі 4. Суттєвого збільшення запоршневого тиску після різкого гальмування поршня 3, що могло б призвести до розривання гнучкої трубки 5, не відбувалось, оскільки поршень 3 є байпасним (має отвір вздовж своєї осі, у який виходило повітря з запоршневого простору). Після зупинки поршня 3 перекривали подачу повітря, знімали кришку герметичної камери і крізь проріз у диску барабана (рис 6, б) відкріплювали кінець гнучкої трубки від валу барабана. До відкріпленого від валу барабана кінця гнучкої трубки 5 було під'єднано трійник 6 з манометром 7, вентиль 8 та шланг 9 від компресора (рис 8, б). Тоді відкрито кран на виході компресора та вентиль 8 і повітря з ресивера компресора надходило в гнучку трубку 5. Крізь отвори в гнучкій трубці повітря надходило у еластичну оболонку 5 (рис. 5, б), що призводило до збільшення в ній тиску і її роздування. У результаті малярні стрічки 9 розривались, і ремонтний бандаж 10 еластичною оболонкою щільно був притиснутий до внутрішньої стінки скляної труби 4 в місці отвору 3 (рис 8, в). Притиснутий ремонтний бандаж 10 витримували до тих пір, поки він міцно не приклеїться до внутрішньої стінки скляної труби 4. Для цього тиск у еластичній оболонці підтримували в діапазоні від 0,9 атм до 1,0 атм. Плавне регулювання тиску здійснювали вентилем 8, а вимірювання його величини – манометром 7 (рис. 8, б).

а)

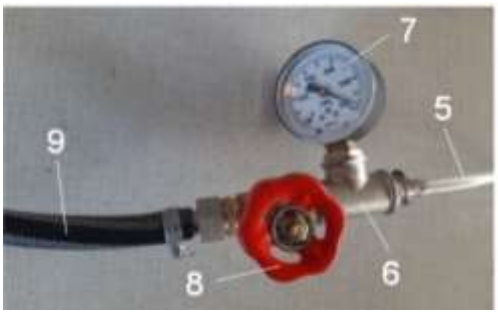
б)

а) – протягування ремонтної системи скляною трубою;
б) – протягування ремонтної системи пластиковим трійником
1, 6, 7 – скляна труба; 2 – пластиковий трійник; 3 – поршень; 4 – ремонтна система;
5 – гнучка трубка

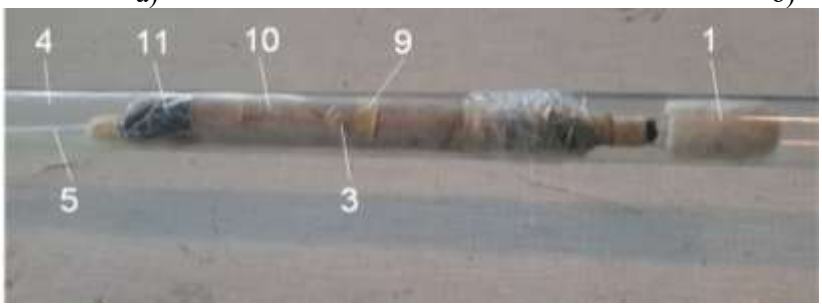
Рисунок 7 – Доставка поршнем ремонтної системи до місця локального дефекту



а)



б)



в)

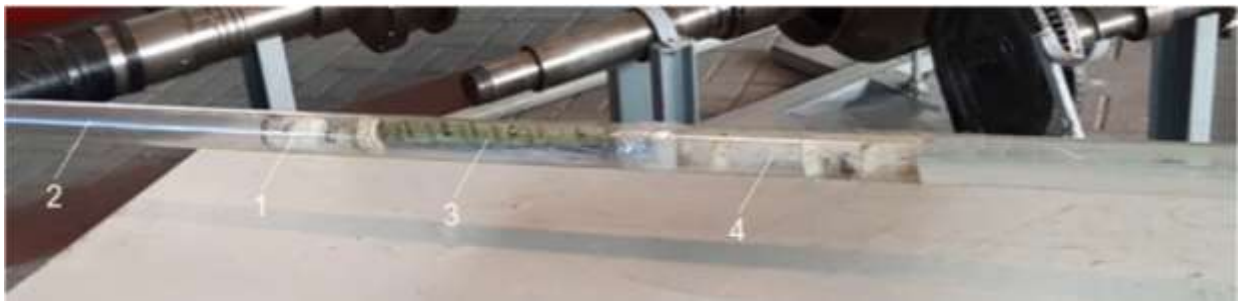
а) – доставлена до місця локального дефекту ремонтна система;
б) – вузол подачі повітря в еластичну оболонку;
в) – притиснутий до внутрішньої стінки трубопроводу ремонтний бандаж
1 – поршень; 2 – ремонтна система; 3 – отвір; 4 – скляна труба; 5 – гнучка трубка; 6 – трійник;
7 – манометр; 8 – вентиль; 9 – малярна стрічка; 10 – ремонтний бандаж; 11 – поліетиленова плівка

Рисунок 8 – Встановлення ремонтного бандажа в місці локального дефекту

а) б)

а) – проштовхування відеоендоскопа до поршня;
б) – внутрішньотрубний фотознімок поршня
1 – поршень; 2 – скляна труба; 3 – відеоендоскоп

Рисунок 9 – Внутрішньотрубний відеоконтроль місцезнаходження поршня



1 – поршень; 2 – скляна труба; 3 – поліетиленова плівка; 4 – ремонтний бандаж

Рисунок 10 – Видалення еластичної оболонки та поліетиленової плівки з трубопроводу

Для апробації процесу визначення місцезнаходження поршня 1 після його зупинки за локальним дефектом стінки труби у скляну трубу 2 із відкритого його торця проштовхували відеоендоскоп 3 (рис 9, а). Відеоендоскопом 3 визначено місцезнаходження поршня (рис 9, б), що дало змогу встановити, на якій віддалі від відкритого торця скляної труби 2він перебуває.

Після приклеювання ремонтного бандажа 10 до внутрішньої стінки скляної труби 4 в місці отвору 3 (рис 8, в) гнучку трубку 5 від'єднали від трійника 6 (рис 8, б) в результаті чого тиск у еластичній оболонці зменшився до атмосферного. Тоді кінець гнучкої трубки помістили в герметичну камеру, яку закрили кришкою. У результаті подавання компресором повітря в запоршневий простір поршень 1 почав рухатись скляною трубою 2 і витягувати за собою еластичну оболонку та поліетиленову плівку 3 (рис. 10). Прилипання поліетиленової плівки 3 до ремонтного бандажа 4 не відбулось. Ремонтний бандаж 4 залишився приклеєним до внутрішньої стінки скляної труби 2 в місці отвору у її стінці, який імітував локальний дефект.

Після видалення еластичної оболонки та поліетиленової плівки з трубопроводу скляну трубу 1 заглушили (рис. 11, а). Тоді, щоб випробувати відремонтований трубопровід, компресором подали повітря, і в скляній трубі 1 створили тиск 1 атм. Повітря крізь отвір 2 в місці внутрішньотрубного встановлення ремонтного бандажа 3 не виходило. Після випробування відеоендоскопом виконано внутрішньотрубний відеоконтроль якості встановлення ремонтного бандажа. Відшарування ремонтного бандажа від внутрішньої стінки скляної труби, утворення зморшок, гофр не виявлено.

Висновки

Розроблено технологію внутрішньотрубного локального ремонту трубопровідних мереж "Тяговий поршень^{Б}", яка полягає у протягуванні циліндричним байпасним поршнем із силіконового компаунда ремонтної системи до місця локального дефекту трубопроводу. Щоб поршень зупинився, коли він затягне ремонтну систему у місце локального дефекту, до нього прикріплена гнучка трубка, протилежний кінець якої міцно закріплений до валу барабана, з

а) б)

а) – випробування внутрішнім тиском;
б) – внутрішньотрубний фотознімок ремонтного бандажа
1 – скляна труба; 2 – отвір; 3 – ремонтний бандаж

Рисунок 11 – Контроль якості внутрішньотрубного встановлення ремонтного бандажа

якого вона розмотується. Також нею подають повітря у еластичну оболонку, за рахунок чого оболонка роздувається і притискає просякнутий смолою ремонтний бандаж до внутрішньої стінки в місці локального дефекту, що забезпечує його адгезію.

Розроблена технологія "Тяговий поршень^{Б}" пройшла серію експериментальних випробувань. Експериментально підтверджено можливість доставки байпасним поршнем ремонтної системи у важкодоступне дефектне місце трубопроводу (за трійник) та встановлення в ньому ремонтного бандажа. Результати випробувань засвідчили герметичність трубопроводу в місці виконаного локального внутрішньотрубного ремонту, а відеоконтроль показав відсутність будь-яких дефектів, таких як відшарування ремонтного бандажа від внутрішньої стінки, утворення зморшок чи гофр.

Таким чином, розроблена технологія є працездатною, а операції із доставки та внутрішньотрубного встановлення ремонтного бандажа у місці важкодоступного локального дефекту трубопроводу – технологічні.

Технічним результатом застосування розробленої технології "Тяговий поршень^{Б}" є забезпечення можливості застосування у важкодоступному місці трубопроводу (зокрема за трійником, крутовигнутим відводом) зниження витрат на ремонтні роботи, незначний обсяг або відсутність земляних робіт, мінімізація часу простою трубопроводу, забезпечення можливості застосування в ускладнених міських умовах і зменшення впливу ремонтних робіт на довкілля, інфраструктуру та благоустрій.

Література

1. Kumar K., Chandramouli K., Chaitanya J., Gowreswari B. A Review on Trenchless Technology. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. 2021. No 7. P. 202-207. http://doi.org/10.46501/IJMTST0707033

2. Дорошенко Я. В., Стецюк С. М., Бондаренко Р. В., Данів З. В. Технології безтраншейної реновації трубопровідних систем. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2023. № 2 (87). С. 17-32. https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-2(87)-17-32

3. Поляруш К.А., Дорошенко Я.В., Тихонов С.І., Бабій А.Р. Сучасні технології безтраншейного ремонту теплогазових мереж. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2016. № 1 (58). С. 41-51.

4. https://americantrenchlesstechnologies.com/video-sewer-inspections/

5. https://www.youtube.com/watch?v=NKH9povlrsw

6. Mills G., Jackson A., Richardson R. Advances in the Inspection of Unpiggable Pipel-?nes. *Robotics*. 2017. No 6. P. 1-13. http://doi.org/10.3390/robotics6040036

7. Najafi M., Gokhale S. Trenchless Technology Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal. Second Edition. New York, N.Y.: McGraw-Hill Education. 2021. 589 p.

8. Serajiantehrani R., Najafi M., Mohammadi M., Kaushal V., Korky S. Construction Cost Analysis of Trenchless Cured-in-place Pipe and Spray-applied Pipe Linings Rehabilitation Methods in Gravity Conveyance Conduits. *Pipelines 2021: Construction and Rehabilitation*. 2021. P. 210-220.

ISSN 1993–9868 print
ISSN 2415–3109 online

9. Guideline for Pipe Bursting. The International Pipe Bursting Association (IPBA). 2012. 29 p.

10. Wróbel G., Pusz A., Szymiczek M., Michalik K. Swagelining as a method of trenchless piplines rehabilitation. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*. 2009. No 1 (33). P. 27-34.

11. Engineering design guide for rehab-?litation with cured-in-place pipe. Second Edition. Lanzo Lining Services, Inc. 2010. 47 p.

12. Trenchless Rehabilitation For Pressure Pipes. European Training Programme. 7 p.

13. Primus Line® – Flexible technology for the trenchless rehabilitation of pressure pipes. Rädlinger primus line GmbH. 5 p.

14. Дорошенко Я.В., Поляруш К.А., Запухляк В.Б. Розроблення технології безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій очисним поршнем. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2018. № 3 (68). С. 12-18. http://doi.org/10.31471/1993-9973-2018-3(68)-12-18

15. Пат. 129088 Україна, МПК F16L 1/028. Пристрій для безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій / Дорошенко Я.В., Поляруш К.А., Запухляк В.Б. (Україна). – № 201802905; Заявл. 22.03.2018; Опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. 3 с.

16. Doroshenko Y., Zapukhliak V., Poliarush K., Stasiuk R., Bagriy S. Development of trenchless technology of reconstruction of "pulling pig P" pipeline communications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. No 2 (1). P. 28-38. http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164351

17. Najafi M. Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal: McGraw Hill Professional. 2005. 489 p.

18. Najafi M., Jeong D. Handbook of Trenchless Technology: CRC Press. 2016. 1352 p.

19. https://www.limpiezasjavea.com/en/sistema-packer-de-reparacion-de-tuberias-sin-obra/

20. Stetsiuk S., Bondarenko R., Doroshenko Y., Holubenko V. Experimental studies on the dynamics of the movement of cleaning pigs through tee pipe fittings. *Strojnícky časopis – Journal of MECHANICAL ENGINEERING*. 2024. Vol. 74 (1). P. 9-24. http://doi.org/10.2478/scjme-2024-0002

21. Стецюк С. М. Експериментальні дослідження ефективності очищення внутрішньої порожнини трубопроводів поршнями із гіперпружних матеріалів. *Нафтогазова енергетика*. 2022. № 2 (38). С. 62-75. http://doi.org/10.31471/1993-9868-2022-2(38)-62-75

22. Стецюк С. М. Експериментальні дослідження динаміки руху очисних поршнів із гіперпружних матеріалів відводами і перехідниками трубопроводів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2022. № 4 (85). С. 28-42. http://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-4(85)-28-42

References

1. Kumar K., Chandramouli K., Chaitanya J., Gowreswari B. A Review on Trenchless Technology. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. 2021. No 7. P. 202-207. http://doi.org/10.46501/IJMTST0707033

2. Doroshenko Ya. V., Stetsiuk S. M., Bondarenko R. V., Daniv Z. V. Tekhnolohii beztransheinoi renovatsii truboprovidnykh system. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2023. No 2 (87). P. 17-32. https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-2(87)-17-32 [in Ukrainian]

3. Poliarush K.A., Doroshenko Ya.V., Tykhonov S.I., Babii A.R. Suchasni tekhnolohii beztransheinoho remontu teplohazovykh merezh. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2016. No 1 (58). P. 41-51. [in Ukrainian]

4. https://americantrenchlesstechnologies.com/video-sewer-inspections/

5. https://www.youtube.com/watch?v=NKH9povlrsw

6. Mills G., Jackson A., Richardson R. Advances in the Inspection of Unpiggable Pipel-?nes. *Robotics*. 2017. No 6. P. 1-13. http://doi.org/10.3390/robotics6040036

7. Najafi M., Gokhale S. Trenchless Technology Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal. Second Edition. New York, N.Y.: McGraw-Hill Education. 2021. 589 p.

8. Serajiantehrani R., Najafi M., Mohammadi M., Kaushal V., Korky S. Construction Cost Analysis of Trenchless Cured-in-place Pipe and Spray-applied Pipe Linings Rehabilitation Methods in Gravity Conveyance Conduits. *Pipelines 2021: Construction and Rehabilitation*. 2021. P. 210-220.

9. Guideline for Pipe Bursting. The International Pipe Bursting Association (IPBA). 2012. 29 p.

10. Wróbel G., Pusz A., Szymiczek M., Michalik K. Swagelining as a method of trenchless piplines rehabilitation. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*. 2009. No 1 (33). P. 27-34.

11. Engineering design guide for rehab-?litation with cured-in-place pipe. Second Edition. Lanzo Lining Services, Inc. 2010. 47 p.

12. Trenchless Rehabilitation For Pressure Pipes. European Training Programme. 7 p.

13. Primus Line® – Flexible technology for the trenchless rehabilitation of pressure pipes. Rädlinger primus line GmbH. 5 p.

14. Doroshenko Ya.V., Poliarush K.A., Zapukhliak V.B. Rozroblennia tekhnolohii beztransheinoi rekonstruktsii truboprovidnykh komunikatsii ochysnym porshnem. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2018. No 3 (68). P. 12-18. http://doi.org/10.31471/1993-9973-2018-3(68)-12-18 [in Ukrainian]

15. Pat. 129088 Ukraina, MPK F16L 1/028. Prystrii dlia beztransheinoi rekonstruktsii truboprovidnykh komunikatsii / Doroshenko Ya.V., Poliarush K.A., Zapukhliak V.B. (Ukraina). – No 201802905; Zaiavl. 22.03.2018; Opubl. 25.10.2018, Biul. № 20. 3 s. [in Ukrainian]

16. Doroshenko Y., Zapukhliak V., Poliarush K., Stasiuk R., Bagriy S. Development of trenchless technology of reconstruction of "pulling pig P" pipeline communications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. No 2 (1). P. 28-38. http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164351

17. Najafi M. Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal: McGraw Hill Professional. 2005. 489 p.

18. Najafi M., Jeong D. Handbook of Trenchless Technology: CRC Press. 2016. 1352 p.

19. https://www.limpiezasjavea.com/en/sistema-packer-de-reparacion-de-tuberias-sin-obra/

20. Stetsiuk S., Bondarenko R., Doroshenko Y., Holubenko V. Experimental studies on the dynamics of the movement of cleaning pigs through tee pipe fittings. *Strojnícky časopis – Journal of MECHANICAL ENGINEERING*. 2024. Vol. 74 (1). P. 9-24. http://doi.org/10.2478/scjme-2024-0002

21. Stetsiuk S. M. Eksperymentalni doslidzhennia efektyvnosti ochyshchennia vnutrishnoi porozhnyny truboprovodiv porshniamy iz hiperpruzhnykh materialiv. *Naftohazova enerhetyka*. 2022. No 2 (38). P. 62-75. http://doi.org/10.31471/1993-9868-2022-2(38)-62-75. [in Ukrainian]

22. Stetsiuk S. M. Eksperymentalni doslidzhennia dynamiky rukhu ochysnykh porshniv iz hiperpruzhnykh materialiv vidvodamy i perekhidnykamy truboprovodiv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2022. No 4 (85). P. 28-42. http://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-4(85)-28-42. [in Ukrainian]