

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ФАСОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ У ВАЖКОДОСТУПНИХ МІСЦЯХ

Я. В. Дорошенко

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)42157,
e-mail: ya.doroshenko@nimg.edu.ua*

Запропоновано ремонт ерозійно чи корозійно зношених відводів трубопровідних систем у важкодоступних місцях виконувати безтраншейним способом протягування поришем рукава чи гнучкої композитної труби. Можливість реалізації такої ідеї підтверджено теоретичними та експериментальними дослідженнями. Виконано математичне моделювання процесу протягування поришем рукава трубопроводом, який містить дефектний відвід. Виведено формули для визначення усіх сил опору, які діють на рухому систему, визначено закономірності зміни тиску на виході компресора під час виконання таких робіт. Розроблено методика розрахунку сили тертя між рукавом і внутрішньою стінкою трубопроводу в місці відводу, зумовленої притисканням рукава через зміну напрямку протягування. Визначено залежність необхідного тиску для протягування поришем рукава тільки дефектним відводом від кута вигину відводу. Розроблено і побудовано експериментальну установку для дослідження динаміки протягування поришем рукава. У результаті виконання експериментальних випробувань, встановлено, що поришем можливо протягнути рукав трубопроводом, який містить дефектний відвід. Експериментально визначено сили опору, які діють на рухому систему, закономірності зміни тиску на початку трубопроводу в часі під час протягування поришем рукава. Експериментальні результати порівняно з результатами теоретичних розрахунків та підтверджено достовірність теоретично виведених залежностей. Розроблено техніку та технології ремонту дефектних відводів трубопроводів у важкодоступних місцях протягуванням поришем рукава чи гнучкої композитної труби. Поришень рухається під тиском повітря, яке подається в запоришевий простір компресором. Барабан з намотаним рукавом чи гнучкою композитною трубою поміщається у циліндричну герметичну камеру. Для поміщення гнучкої композитної змотаної в бухту труби у циліндричну герметичну камеру розроблено спеціальний підтримуючий пристрій.

Ключові слова: безтраншейні технології, відвід, гнучка композитна труба, протягування, рукав, сила тертя, тягове зусилля.

Предлагается выполнение ремонта эрозийно или коррозионно изношенных отводов трубопроводных систем в труднодоступных местах бестраншейным способом протягивания поришем рукава или гибкой композитной трубы. Возможность реализации такой идеи подтверждена теоретическими и экспериментальными исследованиями. Выполнено математическое моделирование процесса протягивания поришем рукава по трубопроводу, содержащему дефектный отвод. Выведены формулы для определения всех сил сопротивления, действующих на подвижную систему; определены закономерности изменения давления на выходе компрессора при выполнении таких работ. Разработана методика расчета силы трения между рукавом и внутренней стенкой трубопровода в месте отвода, обусловленной прижатием рукава из-за изменения направления протягивания. Определена зависимость необходимого давления для протягивания поришем рукава только дефектным отводом от угла изгиба отвода. Разработана и построена экспериментальная установка для исследования динамики протягивания поришем рукава. В результате экспериментального испытания установлено, что поришем возможно протянуть рукав по трубопроводу, который содержит дефектный отвод. Экспериментально определены силы сопротивления, действующие на подвижную систему, закономерности изменения давления в начале трубопровода при протягивании поришем рукава. Экспериментальные результаты сравнены с результатами теоретических расчетов и подтверждена достоверность теоретически выведенных зависимостей. Разработана техника и технология ремонта дефектных отводов трубопроводов в труднодоступных местах протягиванием поришем рукава или гибкой композитной трубы. Поришень движется под давлением воздуха, подаваемого в запоришевое пространство компрессором. Барабан с намотанной рукавом или гибкой композитной трубой помещается в цилиндрическую герметичную камеру. Для помещения гибкой композитной змотанной в бухту трубы, в цилиндрическую герметичную камеру, разработано специальное поддерживающее устройство.

Ключевые слова: бестраншейные технологии, гибкая композитная труба, отвод, протягивание, рукав, сила трения, тяговое усилие.

It is proposed that erosion or corrosion worn out bends of pipeline systems in hard-to-reach places be repaired by trenchless methods by pulling a sleeve or a flexible composite pipe with a piston. The possibility of implementing such an idea is confirmed by theoretical and experimental studies. Mathematical modeling of the process of pulling a sleeve by a piston by a pipeline that contains a defective tap is performed. Formulas are derived for determining all resistance forces acting on a mobile system, patterns of pressure changes at the compressor outlet during such work are determined. A technique has been developed for calculating the friction force between the sleeve and the inner wall of the pipeline at the outlet, due to the pressing of the sleeve through a change in the direction of pulling. The dependence of the required pressure for the piston to extend the sleeve only with a defective bend on the bend angle of the bend is determined. An experimental setup has been developed and built to study the dynamics of the sleeve pulling by a piston. As a result of the experimental tests, it was found that it is possible to extend the sleeve through a pipeline with a piston that contains bend. The resistance forces acting on the moving system, the patterns of pressure change at the beginning of the pipeline in time when the sleeve is pulled by the piston, are experimentally determined. The experimental results are compared with the results of theoretical calculations and the reliability of theoretically derived dependencies is confirmed. The technique and technology for repairing defective pipe bends in hard-to-reach places has been developed by pulling a sleeve or a flexible composite pipe with a piston. The piston moves under the pressure of the air supplied to the piston space by the compressor. A drum with a wound sleeve or flexible composite pipe is placed in a cylindrical sealed chamber. A special supporting device has been developed to place a flexible composite pipe wound into a bay in a cylindrical sealed chamber.

Keywords: flexible composite pipe, friction force, pulling, retraction, sleeve, traction force, trenchless technology.

Вступ

Сучасні трубопровідні системи є складними мережами трубопроводів, лінійна частина яких складається із прямих та криволінійних ділянок, фасонних елементів і перекривної та регульовальної арматури. До фасонних елементів відносяться відводи, трійники та перехідники. Відводами є криві гарячого гнуття з поворотом на кут 30°, 45°, 60° та 90°. Відводи є важливими складовими малих і великих трубопровідних систем різного призначення, оскільки і прямолінійні ділянки трубопроводів відводи можуть зазнавати дії корозійних процесів. Крім корозійного зношування у відводах може відбуватись і ерозійне зношування, яке зумовлене зміною напрямку потоку у таких елементах і ударянням дисперсних фаз до стінки. Корозія і ерозія відводів трубопровідних систем може призвести до аварій – витоків продукту або розривів. Щоб забезпечити надійність відводів трубопровідних систем, треба під час експлуатації трубопроводу контролювати за зміною величини і форми корозійних і ерозійних дефектів стінки відводів і вчасно виконувати ремонтні роботи.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

На сьогодні розроблено велику кількість різноманітних методів безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій, якими можна протягнути нову поліетиленову трубу [1] чи рукав [2] і виконати реконструкцію дефектної ділянки трубопроводу у важкодоступному місці. Існуючі технології безтраншейної рекон-

струкції трубопроводів передбачають протягування нової поліетиленової труби чи рукава в сталевий трубопровід різноманітними тяговими засобами – лебідками, тракторами, бульдозерами, гідродомкратними установками тощо. Для цього перед виконанням робіт треба проштовхнути в зношений сталевий трубопровід тяговий трос. Проштовхнути тяговий трос у трубопровід, який містить ерозійно чи корозійно зношені відводи неможливо. Тому неможливо виконати безтраншейну реконструкцію таких трубопроводів традиційними тяговими засобами.

У [3-5] наведено результати досліджень технологічного процесу безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій протягуванням поршнем поліетиленової труби в зношену сталеву. Протягнути поліетиленову трубу, яка має певну жорсткість і є малогнучкою, у ерозійно чи корозійно зношений відвід неможливо. У [6, 7] запропоновано технологію протягування поршнем рукава в зношений сталевий трубопровід. Оскільки рукав є гнучким, то його можливо протягнути поршнем у трубопровід, який містить дефектний відвід, але для встановлення можливості виконання такої операції потрібні відповідні дослідження.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується дана стаття

Виконати ремонт корозійно чи ерозійно зношених відводів трубопровідних систем надзвичайно складно через складну їх геометричну форму. Якщо для ремонту відводів у місцях з відкритим доступом розроблено і застосовують



Рисунок 1 – Відремонтовані відводи трубопроводів

різноманітні муфти (рисунок 1), то у важкодоступних місцях ремонт відводів виконати доволі часто неможливо. Тому доцільними є розроблення технічних засобів, за допомогою яких можна було б виконати ремонт відводів трубопроводних систем у важкодоступних місцях.

Формулювання мети та завдань статті

Метою роботи є розроблення нової технології безтраншейного ремонту ерозійно чи корозійно зношених відводів трубопроводів у важкодоступних місцях.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- виконати математичне моделювання динаміки протягування поршнем рукава трубопроводом, який містить дефектний відвід;
- експериментально дослідити процес безтраншейного ремонту дефектного відводу трубопроводу протягуванням поршнем рукава;
- розробити ефективну технологію ремонту ерозійно чи корозійно зношених відводів трубопроводів у важкодоступних місцях.

Виклад основного матеріалу

Виявити ерозійно чи корозійно зношені відводи у важкодоступних місцях на сьогодні можливо внутрішньотрубними діагностичними пристроями. Такими пристроями є інтелектуальні (діагностичні) поршні, кроулери (самохідні діагностичні роботи).

Для ремонту дефектних відвідів трубопроводів у важкодоступних місцях запропоновано ідею – виконувати роботи безтраншейним способом шляхом протягування поршнем рукава. Щоб визначити, чи можливо реалізувати таку ідею, підібрати обладнання для виконання робіт, потрібно визначити усі сили, які діють на рухому систему під час протягування поршнем рукава трубопроводами, які містять відводи. Очевидно, що сила тяги залежить від кута ви-

гину відводу, яким протягується рукав, оскільки відбувається зміна напрямку дії сили, в результаті чого рукав притискається до внутрішньої стінки трубопроводу у місці відводу. Тому ці геометричні параметри відводів треба враховувати в балансі сил. Щоб підібрати обладнання для виконання робіт, а саме компресор, потрібно знати величину максимальної необхідної сили для протягування рукава в трубопроводі з дефектним відводом. Тому будемо розглядати випадок, коли рукав повністю протягнутий.

Розрахункова схема протягування поршнем рукава трубопроводом, який містить відвід, наведена на рисунку 2. Сила опору, яка діє на рухому систему під час протягування рукава трубопроводом з дефектним відводом, залежить від кількох сил опору

$$F_{on} = f(F_{T_{м.н}}, F_{T_p}, F_{T_{о.б}}, F_{B.B}), \quad (1)$$

де $F_{T_{м.н}}$ – сила тертя між манжетами поршня та стінкою трубопроводу, у який протягується рукав;

F_{T_p} – сила тертя між протягуваним поршнем рукавом та сталевую трубою;

$F_{T_{о.б}}$ – сила тертя між осердям барабана, на який намотано рукав, та циліндричними виступами в бокових поверхнях герметичної циліндричної камери, на яких обертається барабан;

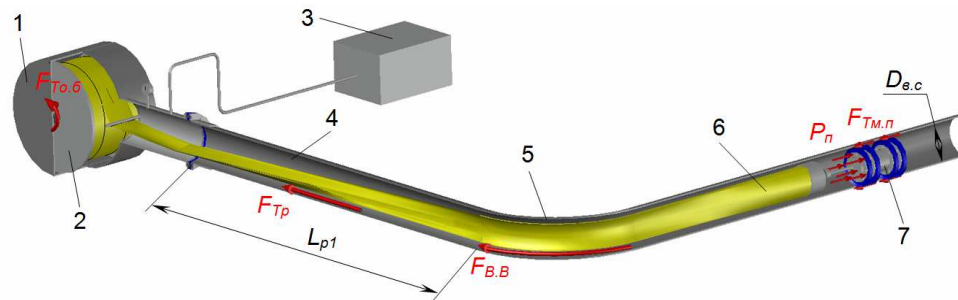
$F_{B.B}$ – сила тертя, зумовлена притисканням натягнутого рукава до внутрішньої стінки трубопроводу у місці відводу, яке спричинено зміною напрямку протягування.

Сила тертя між манжетами поршня та стінкою трубопроводу

$$F_{T_{м.н}} = n_{м.н} f_{м.н} E h_m D_{в.с} \frac{D_{м.н} - D_{в.с}}{D_{м.н}}, \quad (2)$$

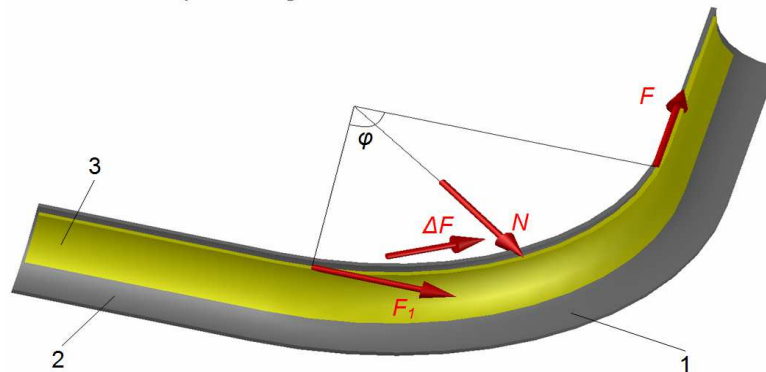
де $n_{м.н}$ – кількість манжет поршня;

$f_{м.н}$ – коефіцієнт тертя між гумовими манжетами поршня та стінкою сталевого трубо-



1 – герметична циліндрична камера; 2 – барабан; 3 – компресор; 4 – сталевий трубопровід; 5 – дефектний відвід; 6 – протягуваний рукав; 7 – поршень

Рисунок 2 – Розрахункова схема протягування поршнем рукава трубопроводом, який містить дефектний відвід



1 – відвід; 2 – сталеві труба; 3 – рукав

Рисунок 3 – Розрахункова схема протягування рукава дефектним відводом

проводу. $f_{m,n}$ залежить від швидкості руху поршня, типу каучуку, чистоти поверхні її площі, сили притискання манжет до стінок трубопроводу і знаходиться в діапазоні 0,5...0,7;

E – модуль пружності гуми, з якої виготовлені манжети поршня ($E = 2 \text{ МПа}$);

h_m – товщина гумової манжети поршня;

$D_{e.c}$ – внутрішній діаметр сталевого трубопроводу, у який поршнем протягується рукав;

$D_{m.n}$ – діаметр манжет не запасованого в реконструйований трубопровід поршня.

Сила тертя між протягуваним поршнем рукавом та сталевією трубою

$$F_{Tp} = f_p q_p L_p, \quad (3)$$

де f_p – коефіцієнт тертя між протягуваним поршнем рукавом та сталевією трубопроводом;

q_p – вага погонного метра протягуваного поршнем рукава;

L_p – довжина протягуваного поршнем рукава.

Сила тертя між осердям барабана, на який намотано рукав, та циліндричними виступами в бокових поверхнях герметичної циліндричної камери, на яких обертається барабан

$$F_{To.b} = \frac{q_b f_{ков} r_{e.b}}{R_b}, \quad (4)$$

де q_b – вага барабана, на який намотується протягуваний рукав;

$f_{ков}$ – коефіцієнт тертя ковзання між осердям барабана, на який намотано рукав, та циліндричними виступами в бокових поверхнях герметичної циліндричної камери, на яких обертається барабан;

$r_{e.b}$ – радіус циліндричних виступів в бокових поверхнях герметичної циліндричної камери;

R_b – радіус осердя барабана, на який намотується протягуваний рукав.

Сила тертя, зумовлена притисканням натягнутого рукава до внутрішньої стінки трубопроводу у місці відводу,

$$F_{B.B} = f_p N, \quad (5)$$

де N – сила реакції.

На рисунку 3 наведено розрахункову схему протягування рукава дефектним відводом. Перед входом рукава у відвід у рукаві діє сила натягу F_1 , а після виходу з відводу – F . У середній частині відводу діє сила реакції N .

У разі рівноваги частини рукава у відводі обмеженого куту вигину відводу φ можна отримати нормальну силу притискання рукава до стінки відводу, записавши рівняння рівноваги сил вздовж бісектриси кута вигину відводу

$$N = 2F \sin \frac{\varphi}{2} + \Delta F \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (6)$$

де F – сила натягу рукава в місці його виходу з відводу;

ΔF – збільшення сили натягу рукава спричинене його притисканням до внутрішньої стінки відводу у результаті зміни напрямку протягування (рисунок 3).

Збільшення сили натягу рукава спричинене його притисканням до внутрішньої стінки відводу у результаті зміни напрямку протягування

$$\Delta F = 2f_p F \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (7)$$

Сила натягу рукава перед його входом у відвід рівна

$$F_1 = F - \Delta F. \quad (8)$$

Також ця сила рівна

$$F_1 = F_{T_{p1}} + F_{T_{o,\delta}}, \quad (9)$$

де $F_{T_{p1}}$ – сила тертя між протягваним поршнем рукавом та сталеву трубою до входу рукава у відвід

$$F_{T_{p1}} = f_p q_p L_{p1}, \quad (10)$$

де L_{p1} – довжина протягнутого поршнем рукава до входу рукава у відвід (рисунок 3).

Тоді, підставивши (7), (9) в (8), отримаємо

$$F = \frac{F_{T_{p1}} + F_{T_{o,\delta}}}{1 - 2f_p \sin \frac{\varphi}{2}}. \quad (11)$$

Коли всі значення компонентів визначені, сила тертя зумовлена притисканням натягнутого рукава до внутрішньої стінки трубопроводу у місці відводу рівна

$$F_{B.B} = 2f_p \frac{f_p q_p L_{p1} + \frac{q_{\delta} f_{ков} r_{\delta}}{R_{\delta}}}{1 - 2f_p \sin \frac{\varphi}{2}} \sin \frac{\varphi}{2} \left(1 + f_p \sin \frac{\varphi}{2} \right). \quad (12)$$

Технологічний процес протягування поршнем рукава описується другим законом Ньютона

$$m_n \frac{dV_n}{dt} = \sum_{i=1}^n F_n, \quad (13)$$

де m_n – маса поршня;

V_n – швидкість руху поршня;

t – час;

$\sum_{i=1}^n F_n$ – сума сил, які діють на рухому систему

під час протягування поршнем рукава в сталевий трубопровід з дефектним відводом.

У разі рівномірного протягування поршнем рукава ерозійно зношеним відводом трубопроводу

$$\sum_{i=1}^n F_n = P_{II} \frac{\pi D_{\delta,c}^2}{4} - F_{T_{m,n}} - F_{T_p} - F_{T_{o,\delta}} - F_{B.B} = 0, \quad (14)$$

де P_{II} – тиск повітря в запоршневому просторі, який визначається силами опору, що діють на рухому систему.

Підставивши (2), (3), (4) та (12) в (14), отримаємо потрібний надлишковий тиск повітря в запоршневому просторі, щоб поршень протягував рукав трубопроводом, який містить дефектний відвід

$$P_{II} = \left\{ 4 \left(n_{m,n} f_{m,n} E h_m D_{\delta,c} \frac{D_{m,n} - D_{\delta,c}}{D_{m,n}} + f_p q_p L_p + \frac{q_{\delta} f_{ков} r_{\delta}}{R_{\delta}} + 2f_p \frac{f_p q_p L_{p1} + \frac{q_{\delta} f_{ков} r_{\delta}}{R_{\delta}}}{1 - 2f_p \sin \frac{\varphi}{2}} \right) \times \sin \frac{\varphi}{2} \left(1 + f_p \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right\} \times (\pi D_{\delta,c}^2)^{-1}. \quad (15)$$

Щоб реалізувати ідею ремонту дефектних відводів протягуванням поршнем рукава, треба підібрати компресор для виконання робіт. Для того, щоб підібрати компресор для протягування рукава усією довжиною трубопроводу, який містить відвід, треба визначити, яким має бути надлишковий тиск на виході компресора. Такий тиск рівний

$$P_{комп} = P_{II} + \Delta P_L, \quad (16)$$

де ΔP_L – втрат тиску вздовж сталеву трубопроводу від компресора до рухомого поршня, яким протягується рукав.

Втрати тиску вздовж прямолінійного сталеву трубопроводу від компресора до рухомого поршня, яким протягується рукав були визначені в [6] CFD моделюванням і вони рівні

$$\Delta P_{L.p} = 1,203 L_p^2 + 56,527 L_p + 342,31. \quad (17)$$

Тоді, підставивши (17) та (15) в (16), було визначено необхідний тиску на виході компресора, щоб поршень протягнув рукав усією довжиною трубопроводу, який містить дефектний відвід. Тоді було розраховано потрібний тиск на виході компресора. При цьому змінювалась довжина трубопроводу, яким протягується ру-

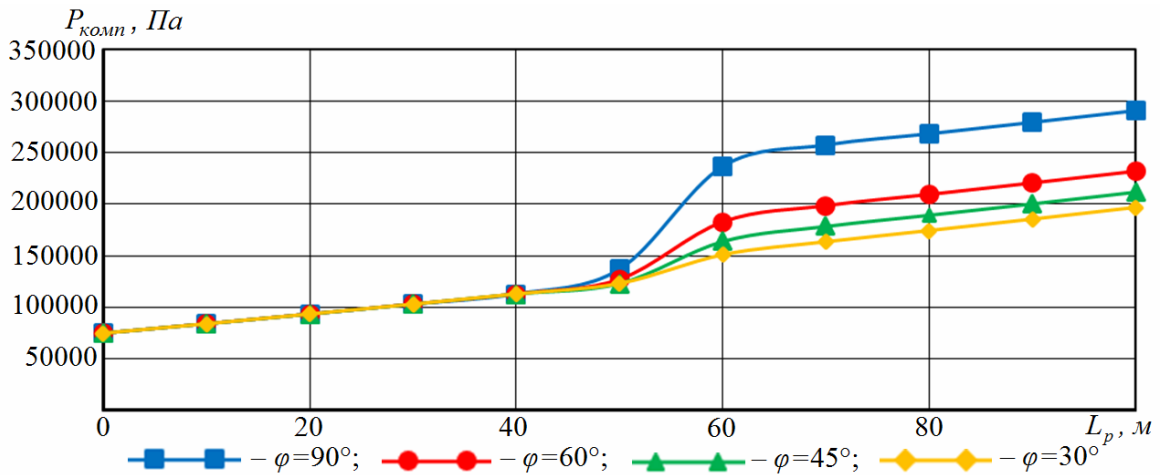


Рисунок 4 – Залежність тиску на виході компресора від довжини протягнутого поршнем рукава трубопроводом, який містить дефектний відвід

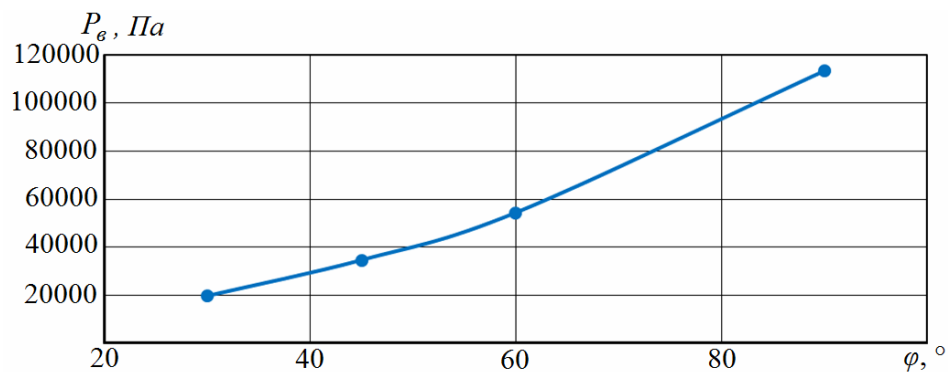


Рисунок 5 – Залежність необхідного тиску для протягування поршнем рукава дефектним відводом від кута вигину відводу

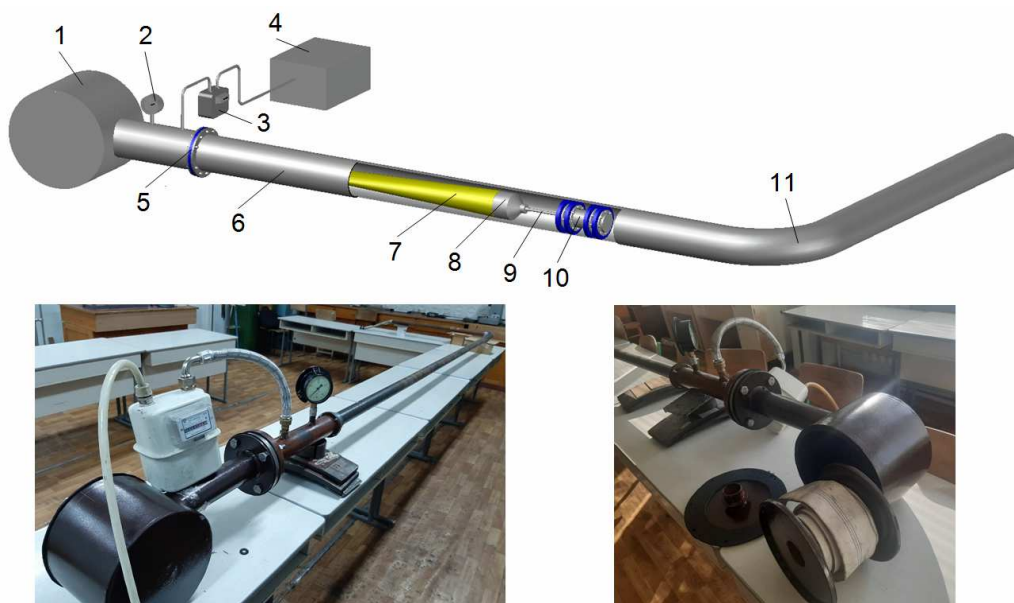
кав L_p , від 0 до 100 м, кут вигину відводу φ – від 30° до 90° . Місце розміщення ерозійно зношеного відводу приймалось посередині трубопроводу, в який протягується рукав (L_{p1} приймався рівним 50 м). Результати розрахунків наведені на рисунку 4.

Для протягування поршнем рукава трубопроводом довжиною 100 м, який посередині містить дефектний відвід, потрібен незначний тиск – до 0,3 МПа (якщо кут вигину відводу максимально можливий – 90°), а отже, ідею ремонту дефектних відводів протягуванням поршнем рукава можливо реалізувати. Із зменшенням кута вигину відводу необхідний тиск на виході компресора для протягування рукава зменшується і для кута вигину 30° складає 0,2 МПа.

Також було розраховано необхідний тиск для протягування поршнем рукава тільки дефектним відводом. Кут вигину відводу змінювався від 30° до 90° . Результати розрахунку наведені на рисунку 5. Найбільший тиск, потрібний для протягування поршнем рукава відводом з куту вигину 90° , складає 0,11 МПа, що не є

значним тиском. Необхідний тиск для протягування поршнем рукава ерозійно зношеним відводом з куту вигину 90° в 6 раз більший, ніж відводом з куту вигину 30° . Тому протягнути поршнем рукав можливо в трубопровід, який містить декілька відводів, що на сьогодні неможливо виконати жодним з існуючих методів безтраншейної реконструкції.

Для перевіряння можливості реалізації протягування поршнем рукава сталевим трубопроводом, який містить відвід, та дослідження динаміки цього процесу розроблено і виготовлено лабораторну експериментальну установку (рисунку 6), яка складається з сталевого трубопроводу 6, який містить відвід 11, та герметичної циліндричної камери 1. Внутрішній діаметр сталевого трубопроводу – 49 мм, довжина – 6 м. На барабан намотують рукав і поміщають його у циліндричну камеру та закривають кришку, помістивши циліндричний виступ усередині якої в осердя барабана. До трубної котушки циліндричної камери 1 приєднано манометр 2, витратомір 3 та компресор 4. У сталеву трубу 6 запасовують поршень 10, до якого тягою 9 за оголовок 8 прикріплюють рукав 7. Тоді закру-



1 – барабан; 2 – манометр; 3 – витратомір; 4 – компресор; 5 – фланець; 6 – сталевий трубопровід; 7 – протягуваний рукав; 8 – оголовок; 9 – тяга; 10 – поршень; 11 – відвід

Рисунок 6 – Експериментальна установка для досліджень динаміки протягування поршнем рукава сталевим трубопроводом, який містить відвід

чують фланець 5 і включають компресор 4. Під тиском повітря поршень 10 рухається сталевим трубопроводом 6 та відводом 11 і протягує ним рукав 7.

Під час протягування поршнем рукава сталевим трубопроводом із відводом вимірювався тиск манометром 11, об'ємна витрата повітря - витратоміром 3 (рисунок 6) та фіксувався час протягування. Для точного фіксування усіх цих параметрів було виконано відеозаписи і робився уповільнений перегляд.

При об'ємній витраті повітря $0,0058 \text{ м}^3/\text{с}$ час протягування склав $3,5 \text{ с}$. Середня швидкість протягування – $1,7 \text{ м/с}$, що є надзвичайно великою швидкістю і її неможливо досягти жодним іншим методом безтраншейної реконструкції. За рядом вимірювань значень тиску під час протягування поршнем рукава сталевим трубопроводом, який містить відвід, побудовано криву (рисунок 7) зміни тиску на початку трубопроводу в часі при протягуванні. Після відкриття крана на виході компресора до початку протягування поршнем рукава тиск різко збільшується до $0,035 \text{ МПа}$, що обумовлено силами тертя спокою. Після початку протягування тиск зменшується до $0,025 \text{ МПа}$, що обумовлено різким збільшенням швидкості протягування рукава, яке призводить до зменшення сил тертя протягом усього часу протягування. І далі відбувались незначні коливання тиску з невеликим його приростом. Після виходу поршня з відводу і зміни напрямку протягування

рукава відбувається різке збільшення тиску – до $0,035 \text{ МПа}$. Далі відбувається незначне збільшення тиску, і в момент вильоту поршня з трубопроводу відбувається різке зменшення тиску до нуля.

Щоб перевірити достовірність теоретичних результатів, порівняно розраховану величину потрібного тиску на виході компресора, щоб поршнем протягнути рукав сталевим трубопроводом, який містить відвід, з експериментально визначеною. Розрахований потрібний тиск на виході компресора, щоб поршнем протягнути рукав сталевим трубопроводом довжиною 6 м , який містить відвід з кутом вигину 90° , склав $0,038 \text{ МПа}$, що є наближено рівним експериментально визначеному $0,035 \text{ МПа}$.

Для візуального спостереження за процесом протягування поршнем рукава був влаштований трубопровід з прозорих скляних труб і відводів внутрішнім діаметром 32 мм (рис. 8, а). Протягувався композитний рукав діаметром 30 мм . Експериментальне випробування підтвердило можливість реалізувати ідею протягування рукава поршнем трубопроводами, які містять відводи. Причому рукав поршнем був протягнутий як горизонтально (рис. 8, б), так і вертикально (рис. 8, в) розміщеними двома скляними відводами.

Теоретично і експериментально підтверджено, що ідею протягнути поршнем рукав у трубопровід, який містить ерозійно чи корозійно зношені відводи, можливо реалізувати. Для

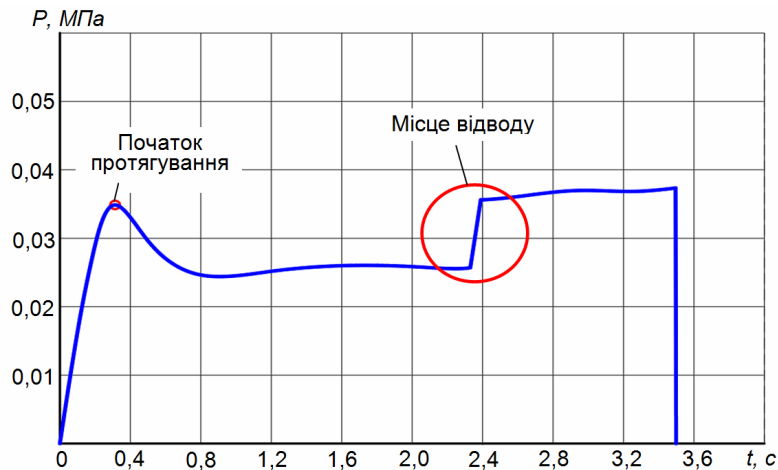
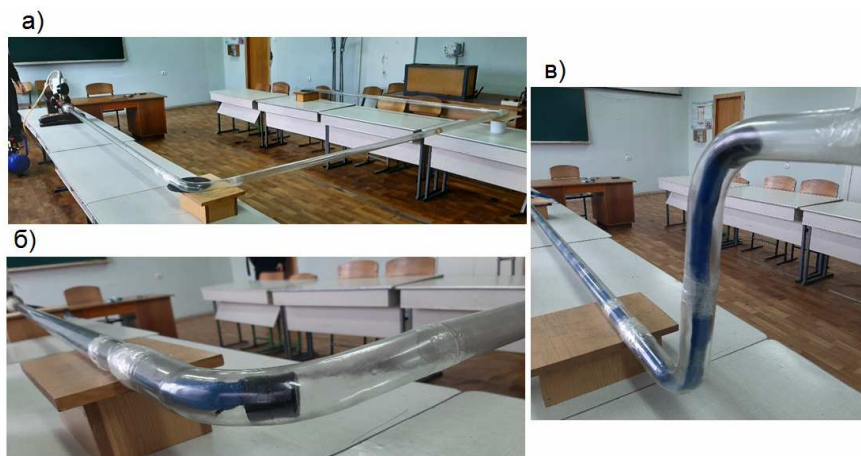


Рисунок 7 – Зміна тиску на початку трубопроводу в часі при протягуванні рукава поршнем сталевим трубопроводом, який містить відвід



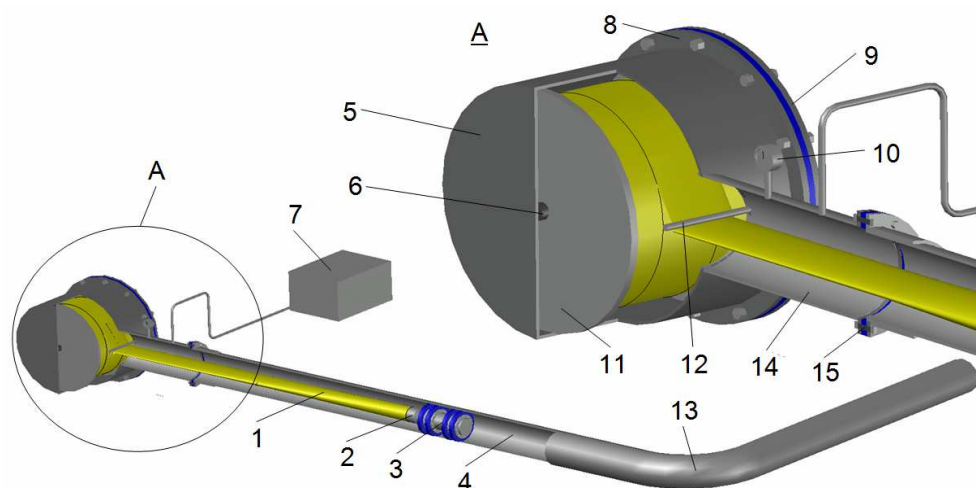
а) підготовлений (скляний трубопровід) до протягування рукава;
 б) протягування рукава горизонтально розміщеним скляним відводом;
 в) протягування рукава вертикально розміщеними відводами

Рисунок 8 – Протягування поршнем рукава скляними трубопроводами, які містять відводи

протягування рукава 1 трубопроводом 4, який містить відвід 13 (рисунок 9), розроблено обладнання, яке складається з герметичної циліндричної камери 5, яка містить приварений до бічної її стінки циліндричний виступ 6. У циліндричній камері знаходиться барабан 11 з намотаним рукавом 1. Діаметр циліндричної камери 5 залежить від потрібної довжини рукава 1. Циліндрична камера 5 герметично закрита плоскою кришкою 9, яка кріпиться болтами до фланця 8 циліндричної камери 5. Кришка 9 в середній частині містить такий ж циліндричний виступ, як і циліндрична камера 5. Третю рукава 1 до стінок циліндричної камери 5 запобігає направляючий стрижень 12. Циліндрична камера 5 містить трубну котушку 14, до якої приєднано манометр 10 та компресор 7. Трубну котушку 14 циліндричної камери 5 до трубопроводу 4 з дефектним відводом 13 кріплять флан-

цем 15 (або муфтою з фланцем). Рукав 1 прикріплено до оголовка 2, який, в свою чергу, прикріплений до поршня 3.

У майстерні або на монтажному майданчику на барабан 11 намотують рукав 1 і розміщують його у циліндричній камері 5 таким чином, щоб в центральний отвір барабана був поміщений циліндричний виступ 6 (рисунок 9). Тоді закручують болтами кришку 9, попередньо помістивши її циліндричний виступ у центральний отвір барабана 11. У сталеву трубу 4, яка містить дефектний відвід 13, запасовують поршень 3, до якого за оголовок 2 кріплять рукав 1. Після чого закручують фланець 15 і вмикають компресор 7. Тиск за поршнем 3 зростає, і поршень починає рухатись трубопроводом 4, тягнучи за собою рукав 1. Розмотується барабан 11, який обертається на циліндричному виступі 6 камери 5 та циліндричному виступі



1 – рукав; 2 – оголовок; 3 – поршень; 4 – трубопровід; 5 – циліндрична камера;
6 – циліндричний виступ; 7 – компресор; 8, 15 – фланець; 9 – кришка; 10 – манометр;
11 – барабан; 12 – направляючий стрижень; 13 – відвід; 14 – трубна котушка

Рисунок 9 – Протягування поршнем рукава в трубопровід, який містить дефектний відвід



а) на барабані; б) у бухті

Рисунок 10 – Гнучкі композитні труби

кришки 9. Тиск у трубній котушці 14 вимірюється манометром 10. Таким чином, поршень 3 протягує рукав 1 усією довжиною трубопроводу 4, який містить відвід 13.

Розроблена технологія є також ефективною для ремонту ерозійно чи корозійно зношених відводів у важкодоступних місцях, безтраншейної реконструкції дефектних, зношених сталевих трубопроводних комунікацій гнучкими композитними трубами [8] виробництва США, Канади. Такі труби набувають все ширшого застосування у світі. Можна виконати протягування до 3000 м гнучкої композитної труби в сталевий трубопровід. Для транспортування і зберігання гнучкі композитні труби намотують на барабан (рисунок 10, а), упаковують у бухту (рисунок 10, б). Залежно від діаметра гнучкої композитної труби її довжина на барабані чи в бухті може складати більше 1 км. Намотану на барабан чи упаковану в бухту гнучку композитну трубу можна легко і швидко

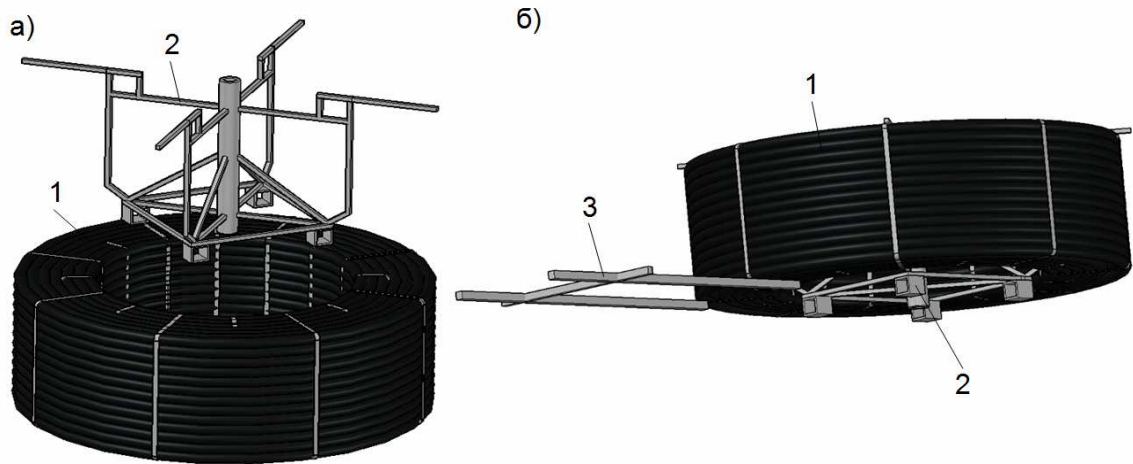
розмотати на місці виконання робіт. Барабани, на яких намотані гнучкі композитні труби, містять центральний отвір і їх легко можна поміщати в циліндричну камеру 5 розробленого обладнання (рисунок 9).

Щоб бухту гнучкої композитної труби помістити в циліндричну камеру 5 (рисунок 10), розроблено спеціальний підтримуючий пристрій 1 (рисунок 11, а), який в середній частині містить трубу. Розміщений у середині бухти 2 підтримуючий пристрій 1 закріплюють до бухти П-подібним фіксатором 3 (рисунок 11, б).

Циліндричні камери для барабанів і бухт треба виготовляти дещо більшими від самих барабанів чи бухт, а тому їх для транспортування доцільно розміщувати на півпричепках.

Висновок

На базі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що ідею ремонту ерозійно чи корозійно зношених відводів



а) поміщення підтримуючого пристрою у бухту;
 б) фіксування підтримуючого пристрою у бухті;
 1 – гнучка композитна труба; 2 – підтримуючий пристрій; 3 – П-подібний фіксатор
Рисунок 11 – Підготовка бухти гнучкої композитної труби до ремонтних робіт

трубопроводів у важкодоступних місцях протягуванням поршнем рукава можливо реалізувати, оскільки для виконання таких робіт потрібен незначний тиск на виході компресора. Так, для протягування поршнем рукава трубопроводом довжиною 100 м та внутрішнім діаметром 49 мм, який містить посередині відвід з кутом вигину 90°, потрібен незначний тиск – до 0,3 МПа. Із зменшенням кута вигину відводу потрібний тиск на виході компресора для протягування рукава зменшується і для кута вигину 30° складає 0,2 МПа.

Необхідний тиск для подолання сили тертя рукава до внутрішньої стінки трубопроводу в місці відводу з кутом вигину 90°, зумовленої притисканням рукава, через зміну напрямку протягування склав 0,11 МПа, що не є високим тиском. Отже, протягуванням поршнем рукава можливо виконати ремонт трубопроводу, який містить декілька відводів, що на сьогодні неможливо виконати жодним з існуючих методів безтраншейної реконструкції.

Література

1. Wróbel G., Pusz A., Szymiczek M., Michalik K. Swagelining as a method of trenchless pipelines rehabilitation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2009. Vol. 33. No 1. P. 27-34.
2. Polat S. Trenchless rehabilitation of pressurized pipes using the Primus Line® system. *The prime solution of pipes, Rädlinger primusline GmbH, Cham*, 2013. 42 p.

3. Development of trenchless technology of reconstruction of “Pulling pig^P” pipeline communications / Ya. Doroshenko, V. Zapukhliak, K. Poliarush, R. Stasiuk, S. Bagriy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2. No. 1 (98). P. 28-38.

4. Дорошенко Я. В., Поляруш К. А., Запукляк В. Б. Розроблення технології безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій очисним поршнем. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2018. № 3 (68). С. 12-19.

5. Дорошенко Я. В., Поляруш К. А., Запукляк В. Б. Експериментальні дослідження динаміки безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій технологією “Тяговий поршень^T”. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. № 1 (70). С. 25-32.

6. Дорошенко Я. В. Поляруш К. А. Розроблення технології безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій “Тяговий поршень^P”. *Science progress in European countries: new concepts and modern solutions : papers of the 6th International Scientific Conference*, с. Stuttgart, 19 april 2019 y. Stuttgart, Germany, 2019. P. 139-151.

7. Пат. 134600 Україна, МПК F16L 1/028. Пристрій для санації трубопроводів рукавом / Дорошенко Я. В., Поляруш К. А. (Україна). № 201812689; Заявл. 20.12.2018; Опубл. 27.05.2019, Бюл. № 10. 3 с.

8. Сучасні технології будівництва промислових газонафтопроводів / Я. В. Дорошенко, В. А. Кучерявий, Н. М. Андрішин та ін. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. № 3 (72). С. 19-31.

References

1. Wróbel G., Pusz A., Szymiczek M., Michalik K. Swagelining as a method of trenchless pipelines rehabilitation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2009. Vol. 33. № 1. P. 27-34.
2. Polat S. Trenchless rehabilitation of pressurized pipes using the Primus Line® system. *The prime solution of pipes, Rädlinger primusline GmbH, Cham, 2013*. 42 p.
3. Development of trenchless technology of reconstruction of “Pulling pig^P” pipeline communications / Ya. Doroshenko, V. Zapukhliak, K. Poliarush, R. Stasiuk, S. Bagriy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2. No. 1 (98). P. 28-38.
4. 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. 12-19. [in Ukrainian]
5. Doroshenko Ya. V., Poliarush K. A., Zapukhliak V. B. Eksperymentalni doslidzhennia dynamiky beztransheinoi rekonstruktsii truboprovidnykh komunikatsii tekhnolohiieiu “Tiahovyi porshen^T”. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2019. No. 1 (70). P. 25-32. [in Ukrainian]
6. Doroshenko Ya. V., Poliarush K. A. Rozroblennia tekhnolohii beztransheinoi rekonstruktsii truboprovidnykh komunikatsii “Tiahovyi porshen^R”. *Science progress in European countries: new concepts and modern solutions* : papers of the 6th International Scientific Conference., s. Stuttgart, 19 april 2019 y. Stuttgart, Germany, 2019. P. 139-151.
7. Pat. 134600 Ukraina, MPK F16L 1/028. Prystirii dlia sanatsii truboprovodiv rukavom / Doroshenko Ya. V., Poliarush K. A. (Ukraina). – № 201812689; Zaiavl. 20.12.2018; Opubl. 27.05.2019, Biul. No. 10. 3 p. [in Ukrainian]
8. Suchasni tekhnolohii budivnytstva promyslovykh hazonaftoprovodiv / Ya. V. Doroshenko, V. A. Kucheriavyi, N. M. Andriishyn [ta in.] *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2019. No. 3 (72). P. 19-31. [in Ukrainian]