

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ**



ПОЛЯРУШ Костянтин Анатолійович

УДК 622.691.4

**РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗТРАНШЕЙНОЇ
РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ ГАЗОВИХ І ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
ДРОШЕНКО Ярослав Васильович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, доцент кафедри
газонафтопроводів та газонафтосховищ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
ГОВДЯК Роман Михайлович,
Інжинірингова компанія "Машекспорт",
генеральний директор;

кандидат технічних наук
СТЕЦЮК Сергій Михайлович,
Український науково-дослідний інститут природних газів,
начальник відділу транспортування газу і компресорних
станцій.

Захист відбудеться 22 вересня 2020 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Із дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 18 серпня 2020 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04
доктор технічних наук, доцент



А. П. Джус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значні обсяги будівництва сталевих трубопровідних комунікацій міст (мереж газо-, тепло-, водопостачання) у середині та кінці минулого століття зумовили значні труднощі в підтримуванні їх у належному стані сьогодні, коли велика частина трубопроводів газових і теплових мереж зношена на 60-90 %. Є багато ділянок трубопроводів, які відпрацювали свій ресурс у два, три рази і їх обсяг постійно зростає. Втрати води з трубопроводів мереж тепло-, водопостачання можуть бути причиною піднімання рівня ґрунтових вод, що призводить до зсуву ґрунтів, руйнування будівель та споруд. Доволі часто відбувається розмивання ґрунту під автодорогами, що призводить до провалювання автомашин у вимиті порожнини. Нерідко наслідком аварій трубопроводів мереж тепlopостачання є фонтани гарячої води в містах, затоплення міської інфраструктури гарячою водою, пошкодження будівель та автомашин. У результаті таких аварій велика кількість будинків залишається взимку на певний час без опалення. Особливо небезпечними є витoki природного газу з газових мереж міст, які можуть призводити до вибухів і великих людських жертв. Фактично старі комунікації міст є постійною загрозою життю і здоров'ю мешканцям міст. Ще одним негативним моментом є щорічні великі матеріальні втрати, які з року в рік збільшуються через аварійні витoki.

Проблема масштабної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж у багатьох великих містах, де трубопровідні комунікації широко розгалужені, вже давно перезріла. Організації, які їх експлуатують практично щоденно зустрічаються з потребою ремонту, заміни тієї чи іншої ділянки трубопроводу. Зараз існує, а у найближче десятиліття збережеться високий потенціал зростання капіталовкладень, інвестицій в реконструкцію і ремонт трубопровідних мереж міст. ХХІ століття буде століттям заміни всіх інженерних комунікацій, побудованих у ХХ столітті.

Традиційна траншейна реконструкція трубопроводів газових і теплових мереж у великих містах є малоцільною через значну тривалість виконання робіт, великі обсяги земляних робіт, перекивання руху транспорту, проходу пішоходів, руйнування дорожнього покриття та зеленої зони, порушення інфраструктури, благоустрою міст, що вимагає збільшення витрат на відновлювальні роботи, ускладнює дорожній рух, спричинює соціальний дискомфорт. Надзвичайно складною і в багатьох випадках неможливою є така реконструкція у важкодоступних місцях.

Уникнути цих складнощів та додаткових витрат пов'язаних з відновлювальними роботами, пришвидшити роботи можна безтраншейними технологіями, які є найефективнішими та найрентабельнішими і полягають в протягуванні нової труби чи рукава виготовлених із полімерних матеріалів у дефектний сталевий трубопровід.

Усі ці, а також цілий ряд інших причин обумовлюють особливу актуальність застосування, удосконалення, розроблення нових безтраншейних технологій реконструкції газових і теплових мереж. Бум безтраншейних технологій реконструкції трубопровідних комунікацій в Україні є неминучим, а масштабне застосування цих технологій є необхідністю сьогодні.

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

Дисертаційне дослідження виконувалось у межах плану держбюджетної науково-дослідної програми ІФНТУНГ і є фрагментом комплексної науково-дослідної роботи “Вдосконалення технологічних процесів проектування, спорудження та експлуатації газонафтопроводів і газонафтосховищ з врахуванням вимог енергоефективності” (держбюджетна науково-дослідна робота ІФНТУНГ 2018 – 2021 роки, номер державної реєстрації 0118U007132). Також дисертаційна робота виконана у відповідності з планом науково-дослідної роботи № НДІ-126/20n-19 ДП “Науканафтогаз” “Розроблення національного стандарту з проектування, будівництва, контролю якості та приймання робіт для газопроводів з гнучких композитних труб”.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення теоретичних основ та технічних засобів безтраншейної реконструкції зношених сталевих трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням у них поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі *завдання*:

- аналітично дослідити динаміку процесу протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом;
- дослідити газодинамічні процеси у внутрішній порожнині сталевого трубопроводу під час його безтраншейної реконструкції протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава;
- експериментально дослідити процес протягування поршнем поліетиленової труби зношеною сталевую;
- розробити та промислово апробувати ефективну техніку та технологію безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем:

а) нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий – “Тяговий поршень[Ⓣ]”;

б) нового поліетиленового рукава в зношений сталевий трубопровід – “Тяговий поршень[Ⓣ]”

Об'єкт дослідження – технологічний процес безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід.

Предмет дослідження – технологічні та газодинамічні параметри реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід.

Методи дослідження. Аналітичні дослідження динаміки протягування поршнем поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід виконано методами математичного моделювання. Дослідження газодинамічних процесів у внутрішній порожнині сталевого трубопроводу під час його безтраншейної реконструкції поршнем виконано методом кінцевих об'ємів (CFD моделювання). Експериментальні дослідження виконувались з застосуванням методів планування експерименту та математичної статистики. Основні висновки

роботи узгоджуються з відповідними даними теоретичних та експериментальних досліджень.

CFD моделювання було виконано в програмному комплексі ANSYS Fluent R19.1 Academic, обробка результатів теоретичних та експериментальних досліджень у програмі Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше встановлено закономірності впливу сил опору, які діють на рухоми систему, під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом на тиск у запоршневому просторі;

- отримано залежності величини падіння тиску в міжтрубному просторі від довжини протягнутої поршнем ділянки нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом, що дало змогу визначити тиск на виході компресора;

- вперше встановлено закономірності зміни тиску на виході компресора під час безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава, що дає можливість підібрати обладнання та матеріали для виконання робіт;

- експериментально досліджено закономірності зміни швидкості протягування поршнем поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим залежно від об'ємної витрати повітря, діаметра та довжини поліетиленового трубопроводу, що дає змогу керувати процесом протягування.

Практичне значення одержаних результатів. Виконані в дисертаційній роботі теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу розробити техніку та технологію безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем у зношений сталевий трубопровід нового поліетиленового трубопроводу – “Тяговий поршень[®]” та нового рукава – “Тяговий поршень[®]”. Ці технології дадуть змогу швидко протягувати новий поліетиленовий трубопровід чи рукав у зношений сталевий трубопровід. При цьому спрощується процес протягування, мінімізуються обсяги підготовчих робіт, полегшується виконання робіт в ускладнених умовах, зменшуються витрати на реконструкцію та час робочого процесу. Перед виконанням реконструкції не треба розробляти приймальний котлован, що не завжди можливо до і під час виконання робіт.

Розроблені технології безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж – “Тяговий поршень[®]” і “Тяговий поршень[®]” промислово апробовані та впроваджені у СП “Київські теплові мережі” КП “Київтеплоенерго” РТМ “Печерськ”.

Особистий внесок здобувача. Безпосередньо автором здійснено:

- визначення основних причин аварій трубопроводів газових і теплових мереж. Виконано аналіз існуючих у світі методів безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж. Виділено можливості, особливості, діапазон технічних параметрів, переваги та недоліки кожного з них [4, 7, 8];

- аналітичні дослідження протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом [1, 5, 11, 12];

– теоретичні дослідження газодинамічних процесів у внутрішній порожнині сталевих трубопроводів під час руху в ньому поршня, протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом [1-3, 11];

– розроблення, спорудження експериментальної установки та виготовлення тягового поршня, виконання експериментальних досліджень. Планування, обробка та аналіз одержаних результатів [1, 6];

– розроблення нової техніки та технології безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем у зношений сталевий трубопровід нового поліетиленового трубопроводу чи рукава [1, 5, 9, 10, 11, 13-16].

Постановка задач, аналіз і обговорення результатів досліджень проведено спільно з науковим керівником. Автор брав безпосередню участь у промисловій апробації та впровадженні розроблених технологій безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи викладено та обговорено на наукових конференціях різного рівня: 6 Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика–2017” (м. Івано-Франківськ, 15–19 травня 2017 р.), 29 Науковій сесії наукового товариства ім. Шевченка (м. Львів, 31 березня 2018 р.), 30 Науковій сесії наукового товариства ім. Шевченка (м. Івано-Франківськ, 28 лютого–21 березня 2019 р.), 6 Міжнародній науковій конференції “Науковий прогрес у європейських країнах: нові концепції та сучасні рішення” (м. Штутгарт, 19 квітня 2019 р.), Міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти “Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки” (м. Рівне, 10 травня 2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика” (м. Івано-Франківськ, 27–31 травня 2019 р.).

Результати дисертаційної роботи в повному обсязі доповідались на науковому семінарі кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ і міжкафедральному науковому семінарі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2019 році.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 друкованих праць, з яких 1 – у міжнародному науковому журналі, що індексуються у наукометричній базі даних Scopus, 1 – у міжнародному науковому журналі, що індексуються у наукометричній базі даних Index Copernicus International, 6 – у наукових фахових виданнях, 2 – патенти на корисну модель, 3 – тези доповідей на міжнародних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 169 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Робота ілюстрована 16 таблицями та 55 рисунками. Список використаних джерел містить 104 найменування, з них 62 кирилицею та 42 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми досліджень, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** “*Оцінка технічного стану трубопроводів газових і теплових мереж та вибір напрямків його покращення*” – дано комплексну оцінку сучасного технічного стану трубопроводів газових і теплових мереж України, встановлено основні причини їх аварій. Класифіковано методи безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж, виділено можливості, особливості, діапазон технічних параметрів, переваги та недоліки кожного з них на основі чого поставлено основні задачі та вибрано напрямки досліджень щодо розроблення теоретичних основ та технічних засобів безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом.

Загальна протяжність трубопроводів газових мереж України (тиском до 1,2 МПа) перевищує 260 тис. км, а теплових 70 тис. км. Стан трубопроводів газових і теплових мереж на сьогодні характеризується вичерпуванням технічного ресурсу, моральним і фізичним зносом трубопроводів, перекиривної арматури та іншого обладнання. Понад 10 % трубопроводів знаходиться в аварійному стані, а понад 30 % відпрацювали свій амортизаційний термін.

Постійне збільшення частки зношених трубопроводів газових і теплових мереж через деякий час може поставити під загрозу саму можливість збуту газу, теплопостачання. Зниження рівня надійності і безпеки трубопроводів газових і теплових мереж підвищить соціально-економічні ризики.

Основними причинами аварій трубопроводів газових і теплових мереж є корозійні та механічні пошкодження труб, дефекти зварних швів. Також причинами є розриви зварних швів, заводські дефекти в трубах, розриви компенсаторів, вібрація від руху транспорту, провисання трубопроводів, неякісна ізоляція або її пошкодження, пошкодження надземних трубопроводів транспортом, несвоєчасне обстеження трубопроводів і виявлення небезпечних ділянок. Становище ускладнюється ще тим, що у великих містах понад 90 % трубопроводів знаходяться в небезпечних зонах впливу блукаючих струмів зумовлених електротранспортом.

Теплові мережі найбільше зазнають корозійних руйнувань. Під час експлуатації теплова ізоляція за рахунок витоків води з труби та природних впливів неодноразово затоплюється і змочується. У таких умовах вона значно пошкоджується та втрачає свої ізоляційні властивості. Все це призводить до інтенсивної корозії металу, порушення герметичності теплопроводів і, як наслідок, до значних втрат води.

На сьогодні в Україні переважну більшість зношених ділянок трубопроводів газових і теплових мереж реконструюють траншейною заміною зношених трубопроводів на нові, що є матеріало-, трудо- та енергомісткіткими роботами, руйнує інфраструктуру міст, створює соціальний дискомфорт. Це є однією з найбільших причин того, що темпи і обсяги реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж в Україні надзвичайно низькі.

Переваги безтраншейних технологій реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж є очевидними і полягають у тому, що капітальні витрати на реконструкцію знижуються в середньому на 40-50 %, а продуктивність робіт збільшується у рази, темпи виконання робіт є набагато більшими ніж у разі траншейної заміни трубопроводів. Безтраншейні технології є ефективними у місцях щільної міської забудови. Не потрібно багатьох і часто дорогих та довготривалих узгоджень на виконання реконструкції, не треба перекивати дороги, руйнувати дорожнє покриття, благоустрій міст. Характерною особливістю сучасних безтраншейних технологій є високий рівень механізації і мінімальні обсяги ручної роботи.

За даними статистики в таких країнах, як Великобританія, Німеччина, Скандинавські країни, США 95 % усього обсягу робіт з реконструкції підземних комунікацій виконується безтраншейними технологіями. У багатьох великих містах Америки та Західної Європи прокладати та реконструювати інженерні комунікації траншейним способом заборонено.

Розширенню сфери застосування безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій сприяє поширення новітніх гнучких композитних труб армованих скловолокном, скловолокном та епоксидом чи сталлю виробництва Канади, США. Такі труби можуть експлуатуватись під високими тиском (до 20 МПа), а тому їх все ширше застосовують для найпростішого методу реконструкції трубопровідних комунікацій – протягування труби меншого діаметра в зношений сталевий трубопровід “труба в трубі”.

На сьогодні не існує науково обґрунтованої методики вибору оптимального методу реконструкції зношених трубопроводів газових і теплових мереж оскільки не має жодного універсального методу, яким можна було б реконструювати зношені трубопроводи усіх газових і теплових мереж, не має алгоритму вибору оптимального варіанту реконструкції, класифікації та визначення критеріїв, що впливають на вибір методу реконструкції.

На основі аналізу існуючих у світі методів безтраншейної реконструкції протяжних ділянок трубопроводів газових і теплових мереж їх класифіковано та встановлено, що невирішеними на сьогодні питаннями безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій є:

- великі обсяги підготовчих робіт;
- перед виконанням реконструкції треба розробляти приймальний котлован, що не завжди можливо;
- невелика швидкість протягування нового трубопроводу дефектним.

Причинами цього є те, що протягування нової поліетиленової труби або рукава в зношений сталевий трубопровід виконують лебідками, гідродомкратними установками, статичними установками Grundoburst, тракторами, бульдозерами та іншою колісною технікою. Це зумовлює об’єктивні складності пов’язані з потребою розроблення достатніх розмірів приймального котловану для розміщення в ньому тягових засобів або поворотних блоків. Також потрібно прокладати в зношений сталевий трубопровід тяговий трос, очищувати внутрішню порожнину зношеного сталевого трубопроводу протягуванням ним очисного поршня. Все це вимагає багато часу і фінансові витрати, а в ускладнених умовах ці методи застосувати

надзвичайно складно. Тому доцільним є розроблення ефективних технологій безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій, які б пришвидшили темпи виконання робіт, мінімізували обсяги підготовчих робіт та полегшили виконання робіт в ускладнених умовах.

У другому розділі “Теоретичні дослідження процесів протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід” – запропоновано реконструкцію трубопроводів газових і теплових мереж виконувати протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід. Можливість виконання такої операції обґрунтовано аналітичними дослідженнями та CFD моделюванням.

Щоб вирішити вище наведені ускладнення, які виникають під час безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж запропоновано протягування нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід виконувати поршнем. Для встановлення можливості реалізування такої ідеї виконано дослідження цього процесу. Задача розглядалась в комплексі – враховувались сили опору, які діють на рухому систему та втрати тиску вздовж зношеного сталевих трубопроводу від компресора до поршня.

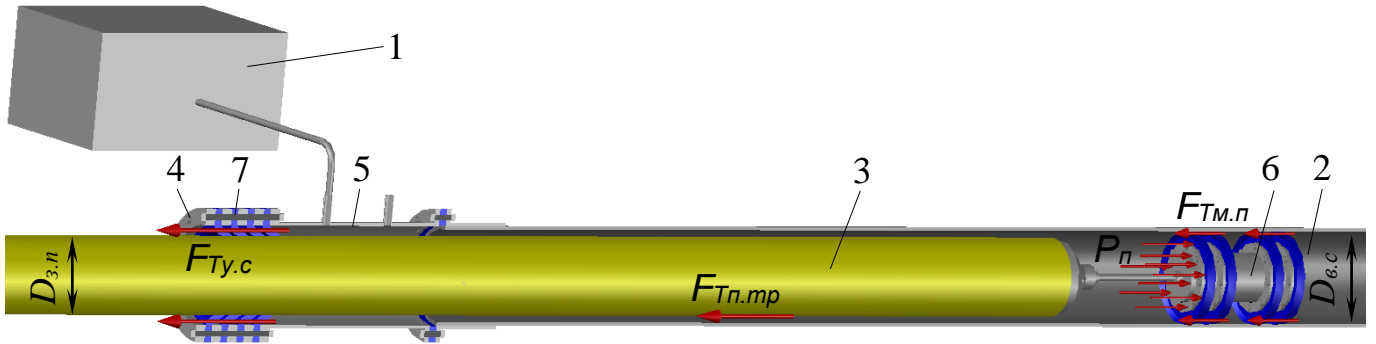
Створення і реалізація математичної моделі руху твердих тіл трубопроводами під тиском є складною задачею. Динаміку руху поршнів трубопроводами досліджували Грудз В. Я., Грудз Я. В., Liqiong C., Minami K., Tolmasquim S. Дослідниками трубопровідного транспорту газу розроблено методи побудови математичних моделей руху поршня трубопроводом та загальні принципи їх реалізації. Однак досліджень динаміки руху поршня з прикріпленим до нього поліетиленовим трубопроводом чи рукавом не виконувалось.

Поршень з прикріпленим до нього поліетиленовим трубопроводом рухається зношеним сталевим під дією сили, яка спричинена тиском повітря в запоршневому просторі P_{II} . Силами опору, які діють на рухому систему є: сила механічного тертя між манжетами поршня та стінкою сталевих трубопроводу $F_{T_{m,n}}$; сила тертя між поліетиленовою трубою та сталевією $F_{T_{n,mp}}$; сила тертя між поліетиленовою трубою та кільцевими гумовими манжетами ущільнювальної системи якою герметизовано міжтрубний простір $F_{T_{y,c}}$ (рис. 1).

Необхідний тиск повітря в запоршневому просторі P_{II} , щоб поршень з прикріпленим до нього поліетиленовим трубопроводом рухався горизонтальним сталевим трубопроводом було визначено підставивши виведені формули для розрахунку сил опору, які діють на рухому систему, в рівняннях руху поршня з прикріпленим до нього поліетиленовим трубопроводом, яке описується другим законом Ньютона

$$P_{II} = \frac{4 \left(n_{m,n} f_{m,n} E h_m D_{6,c} \frac{D_{m,n} - D_{6,c}}{D_{m,n}} + f_{n,mp} g \rho_n \frac{\pi (D_{3,n}^2 - D_{6,n}^2)}{4} L + n_{m,y,c} \pi D_{3,n} B P_{\kappa} f_{y,c} \right)}{\pi D_{6,c}^2}, \quad (1)$$

де $n_{m,n}$ – кількість манжет поршня; $f_{m,n}$ – коефіцієнт тертя ковзання між гумовими манжетами поршня та стінкою сталевих трубопроводу (залежить від швидкості руху ковзаючої пари (зменшується при збільшенні швидкості), чистоти поверхні, її



1 – компресор; 2 – зношений сталевий трубопровід; 3 – протягуваний поліетиленовий трубопровід; 4 – фланець; 5 – ущільнювальна система; 6 – поршень; 7 – гумові ущільнення

Рисунок 1 – Розрахункова схема протягування поршнем поліетиленового трубопроводу горизонтальною ділянкою сталевого

площі, сили притискання манжет до стінок трубопроводу, типу каучуку і знаходиться в діапазоні 0,5-0,7); E – модуль пружності гуми; h_m – товщина манжети поршня; $D_{6.c}$ – внутрішній діаметр сталевого трубопроводу; $D_{6.n}$ – діаметр манжет поршня до його запасування в сталевий трубопровід; $f_{n.mp}$ – коефіцієнт тертя ковзання між поліетиленом і сталлю (знаходиться в діапазоні 0,1-0,2); $D_{3.n}$, $D_{6.n}$ – відповідно зовнішній і внутрішній діаметр поліетиленового трубопроводу; L – довжина реконструйованого трубопроводу; $n_{m.y.c}$ – кількість гумових манжет в ущільнювальній системі; B – ширина контакту манжети ущільнювальної системи з поліетиленовим трубопроводом; P_k – контактний тиск, який виникає під час монтажу манжет (знаходиться в діапазоні 0,5-0,9 МПа); $f_{y.c}$ – коефіцієнт тертя між поліетиленом і гумою (знаходиться в діапазоні 0,1-0,13).

Якщо поршнем буде протягуватись рукав то до сил опору, які діють на рухому систему на горизонтальних ділянках траси відноситься сила механічного тертя між манжетами поршня та стінкою сталевого трубопроводу $F_{Tm.n}$, сила тертя між рукавом та сталеву трубою F_{Tp} , сила тертя ковзання осей барабана на якому намотаний рукав $F_{To.b}$.

Тоді необхідний тиск повітря у запоршневому просторі $P_{II.p}$, щоб поршень з прикріпленим до нього рукавом рухався зношеним сталевим трубопроводом

$$P_{II.p} = \frac{4 \left(n_{m.n} f_{m.n} E h_m D_{6.c} \frac{D_{6.n} - D_{6.c}}{D_{6.n}} + f_p q_p L_p + \frac{q_b f_{ков} r_{6.b}}{R_b} \right)}{\pi D_{6.c}^2}, \quad (2)$$

де f_p – коефіцієнт тертя ковзання між рукавом та сталлю; q_p – вага погонного метра рукава; L_p – довжина рукава; q_b – вага барабана; $f_{ков}$ – коефіцієнт тертя між виступами барабана і пазами; $r_{6.b}$ – радіус циліндричних виступів барабана; R_b – радіус осердя барабана.

Щоб визначити втрати тиску в міжтрубному просторі вздовж зношеного сталевго трубопроводу від компресора до поршня досліджувався нестационарний рух повітря між рухомим новим поліетиленовим трубопроводом чи рукавом і зношеним сталевим трубопроводом, які мають різну шорсткість стінки. Ізотермічний характер руху повітря в міжтрубному та запоршневому просторі змодельований фундаментальними рівняннями газової динаміки, а саме рівняння Нав'є-Стокса (3), яке виражає собою закон збереження імпульсу, і нерозривності потоку (4), яке виражає собою закон збереження маси

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right) + \bar{f}_i, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + c^2 \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0, \quad (4)$$

де x_i, x_j – координати; t – час; \bar{u}_i, \bar{u}_j – компоненти швидкості; ρ – густина газу; μ – молекулярна динамічна в'язкість газу; \bar{f}_i – доданок, який враховує дію масових сил; \bar{p} – сили тиску; c – швидкість звуку у повітрі.

Поставлена задача реалізується за наступних умов:

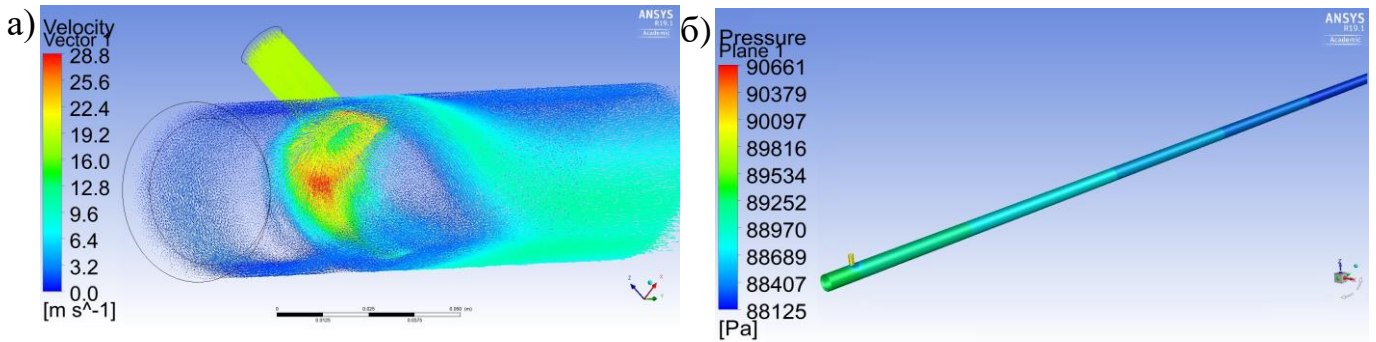
- до запускання поршня повітря в міжтрубний простір не подавалось;
- після початку руху поршня і до його кінця надлишковий тиск на виході компресора підтримується сталим і рівним $P_{ком}$, а в кінці сталевго трубопроводу і перед поршнем нулю;
- тиск на поршень визначається силою тертя між манжетами поршня та стінкою сталевго трубопроводу, силою тертя між поліетиленовою трубою та сталевгою, силою тертя між поліетиленовою трубою та манжетами ущільнювальної системи;
- треба дослідити динаміку руху поршня $l(t)$ в часі та динаміку руху повітря в міжтрубному і запоршневому просторі;
- вважається, що швидкість руху поршня рівна лінійній швидкості руху повітря в перерізі, де поршень контактує з повітрям.

Поставлена задача реалізовувалась розв'язанням рівнянь (3), (4) з урахуванням різної шорсткості внутрішньої стінки сталевго зношеного трубопроводу та зовнішньої стінки нового поліетиленового трубопроводу, руху поршня та прикріпленого до нього поліетиленового трубопроводу чи рукава. Виконувалось CFD моделюванням тривимірних турбулентних течій в програмному комплексі ANSYS Fluent R19.1 Academic.

Процес протягування нового поліетиленового трубопроводу, рукава є динамічний – в дефектному сталевому трубопроводі рухається поршень і прикріплений до нього поліетиленовий трубопровід чи рукав. Для дослідження газодинамічних процесів під час такого руху в ANSYS Fluent застосовувалась модель динамічної сітки, яка переміщувалась. Така сітка є сумісною з усіма моделями турбулентності.

Результати моделювання були візуалізовані в постпроцесорі програмного комплексу ANSYS Fluent, що дало змогу побачити структуру потоку повітря в міжтрубному та запоршневому просторі під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава і зібрати вичерпні дані про нього. Було

побудовано вектори швидкості (рис. 2, а), поля швидкості в площині вертикального повздовжнього перерізу, лінії течії, поля тиску на контурах (рис. 2, б) та поля тиску у площині вертикального повздовжнього перерізу. Виявлено місця сповільнення та пришвидшення потоку повітря, падіння та зростання тиску.



а) – вектори швидкості; б) – поля тиску на контурах

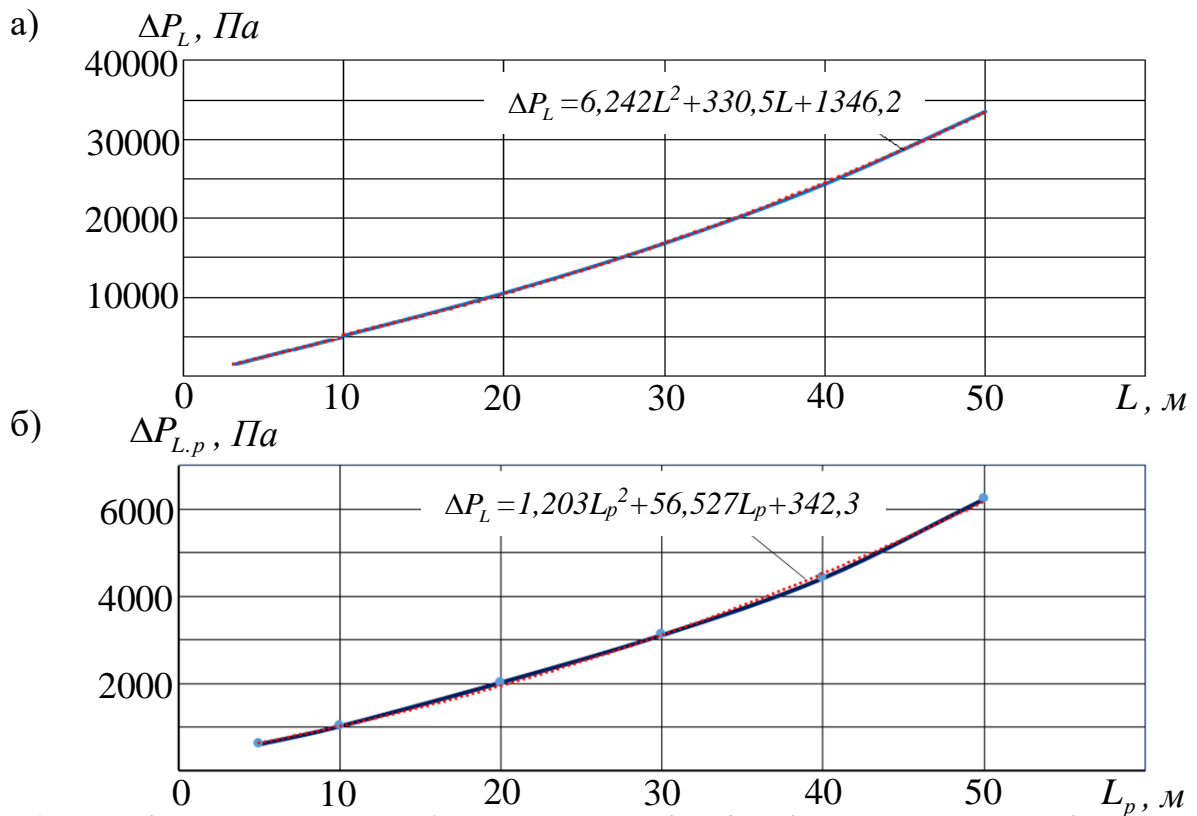
Рисунок 2 – Результати CFD моделювання протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 40 мм у зношений сталевий

Із полів тиску (рис. 2, б) було визначено втрати тиску в міжтрубному просторі вздовж трубопроводу від компресора до поршня. Так, якщо у зношений сталевий трубопровід внутрішнім діаметром 49 мм поршнем буде протягуватись п'ятдесят метрів поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 40 мм втрати тиску в міжтрубному просторі будуть складати 33560 Па, а якщо п'ятдесят метрів рукава втрати тиску у зношеному сталевому трубопроводі складуть 6231 Па.

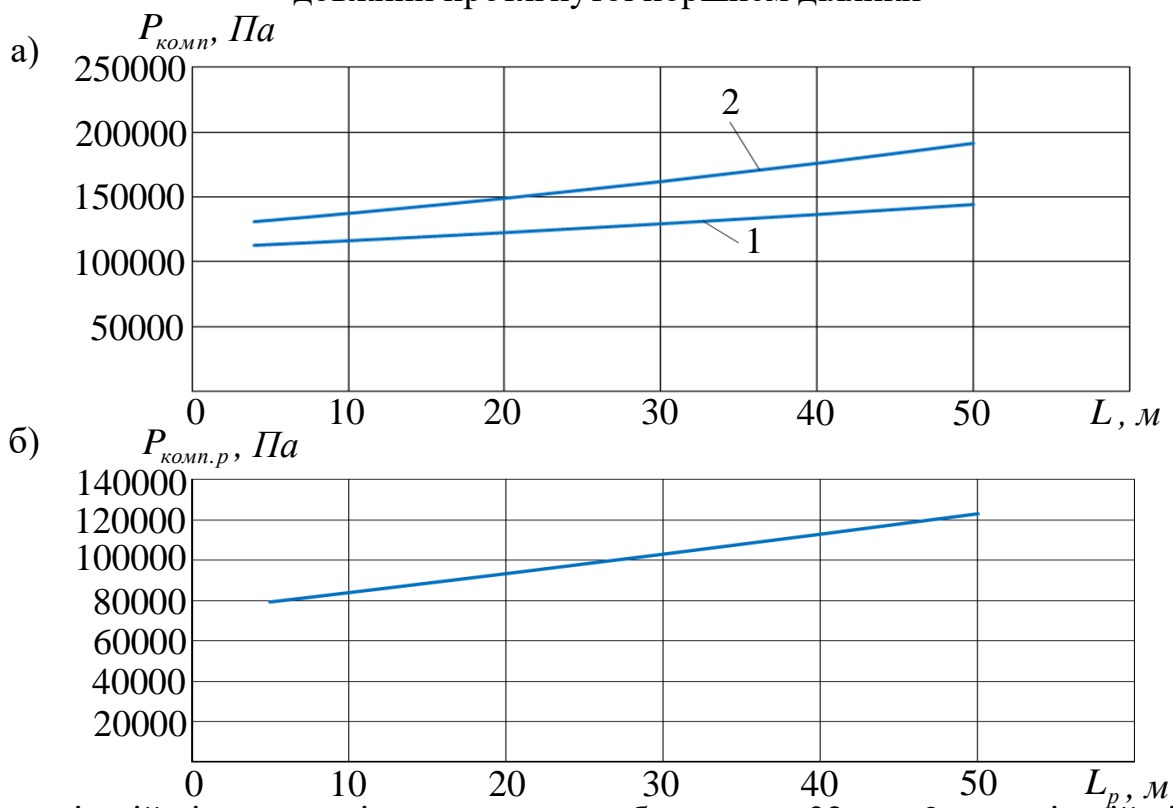
Оскільки була задана динамічна модель руху сітки і моделювався рух поршня та прикріпленого до нього поліетиленового трубопроводу чи рукава то втрати тиску визначались для різної довжини протягнутої ділянки поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 32 мм та 40 мм, різної довжини рукава. Результати такого моделювання наведені на рисунку 3. Було побудовано лінію тренду і за нею визначено рівняння залежності втрат тиску в міжтрубному просторі від довжини протягнутої поршнем ділянки поліетиленового трубопроводу (рис. 3, а) чи рукава (рис. 3, б).

Рівняння для розрахунку необхідного тиску на виході компресора, щоб поршень протягнув новий поліетиленовий трубопровід усією довжиною зношеного сталевого трубопроводу було отримано додаванням рівняння (1) до рівняння наведеного на рисунку 3, а. Аналогічно додаванням рівняння (2) до рівняння наведеного на рисунку 3, б визначався тиску на виході компресора, щоб поршень протягнув рукав усією довжиною зношеного сталевого трубопроводу. За отриманими рівняннями виконувались розрахунки тиску на виході компресора для процесу протягування поршнем поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 32 мм та 40 мм, процесу протягування поршнем рукава. Результати розрахунків наведені на рисунку 4.

Як бачимо (рис. 4, а), для реконструкції ділянки зношеного сталевого трубопроводу внутрішнім діаметром 49 мм довжиною до 50 м протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу потрібен незначний тиск на виході компресора – до 0,2 МПа, а отже ідею реконструкції трубопроводів газових і



а) – поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 40 мм; б) – рукава
Рисунок 3 – Залежність втрат тиску в зношеному сталевому трубопроводі від довжини протягнутої поршнем ділянки



1 – зовнішній діаметр поліетиленового трубопроводу 32 мм; 2 – зовнішній діаметр поліетиленового трубопроводу 40 мм;

а) – поліетиленовим трубопроводом; б) – рукавом

Рисунок 4 – Залежність тиску на виході компресора від довжини реконструйованої ділянки зношеного сталевому трубопроводу

теплових мереж поршнем можливо реалізувати, оскільки, можливо підібрати ущільнення міжтрубного простору, які будуть витримувати такий тиск та компресор для виконання робіт. Для протягування поршнем зношеним сталевим трубопроводом рукава довжиною 50 м потрібен ще менший тиск – до 0,12 МПа (рис. 4, б), а отже поршнем також можливо протягнути рукав.

У **третьому розділі** *“Експериментальні дослідження процесу протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим”* – експериментально підтверджено можливість безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим. Експериментально досліджено динаміку процесу протягування поршнем поліетиленової труби зношеною сталевією.

Основною операцією під час безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж є протягування нового поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим. Виконувати таку операцію запропоновано поршнем. Для визначення сил опору, які діють на рухому систему, під час протягування поршнем нової поліетиленової труби зношеним сталевим трубопроводом розроблено і побудовано експериментальний стенд, який складається з електродвигуна та динамометра. Експериментальні дослідження виконувались для зношеної сталевієї труби внутрішнім діаметром 49 мм і двох поліетиленових труб зовнішнім діаметром 32 мм та 40 мм і довжиною 4 м. Експериментально визначалась сила тертя між поліетиленовією трубою та зношеною сталевією (рис. 5), сила тертя між манжетами поршня та стінкою зношеної сталевієї труби та сила тертя між поліетиленовією трубою і манжетами ущільнювальної системи.

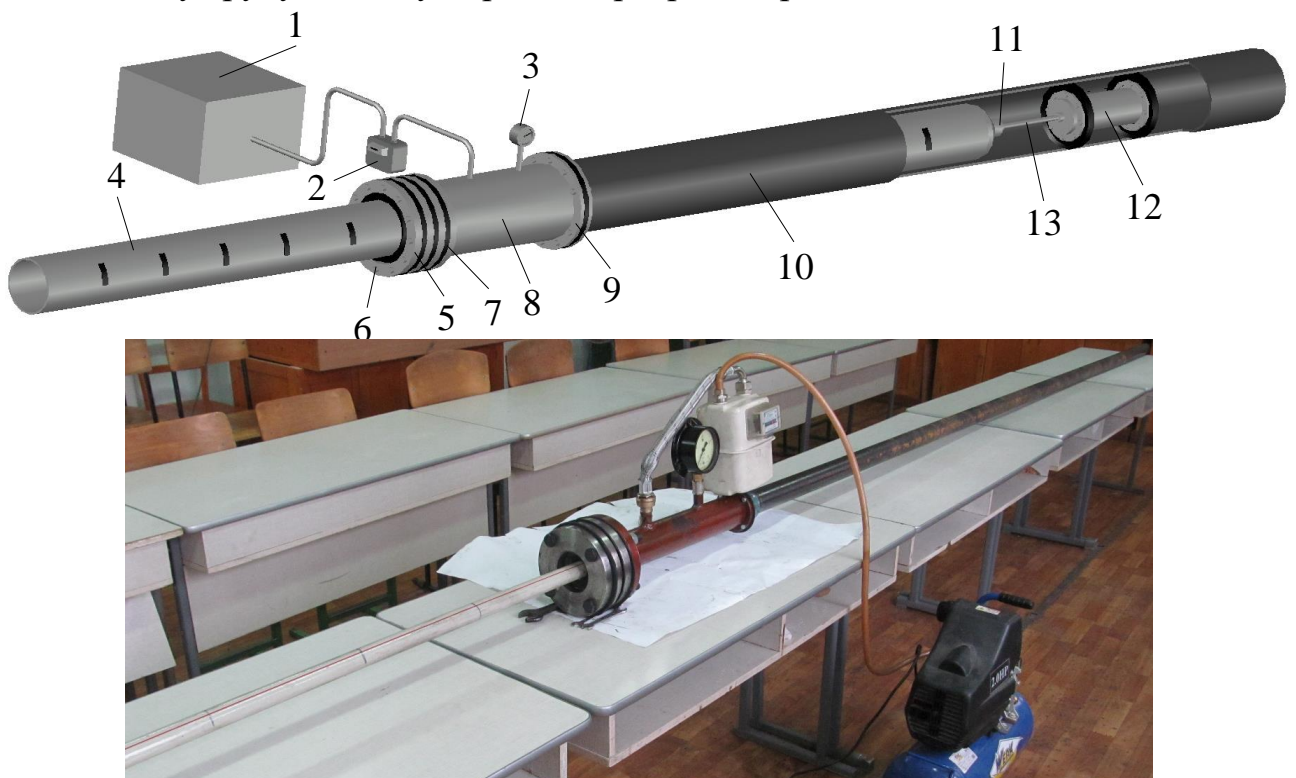


Рисунок 5 – Експериментальне визначення сили тертя між поліетиленовією трубою та сталевією

Експериментально встановлено, що сила тертя між манжетами поршня та стінкою зношеної сталевієї труби складає 42,7 Н, а сила тертя між поліетиленовією трубою та манжетами ущільнювальної системи 84,7 Н і 103,9 Н для поліетиленових труб зовнішнім діаметром 32 мм і 40 мм відповідно. Такі сили опору є незначними та не чинять суттєвого впливу на процес протягування. Сила тертя одного метра поліетиленовієї труби до сталевієї є мізерна і знаходиться в межах від 1 до 2 Н, а, отже, протягуванням поршнем поліетиленового трубопроводу можна реконструювати протяжні ділянки трубопроводних комунікацій.

Експериментальні значення сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий є наближено рівні розрахунковим, що підтверджує достовірність теоретично виведених залежностей.

Для експериментальних досліджень динаміки протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий розроблено і побудовано експериментальну установку (рис. 6), яка складається з сталеві труби 10 внутрішнім діаметром 49 мм і довжиною 4 м. До сталеві труби 10 фланцем 9 кріпиться ущільнювальна система, яка містить трубну котушку 8, фланці 5 і три кільцеві гумові ущільнення 7 товщиною 3 мм затиснуті болтами 6, манометр 3 та патрубок до якого приєднано витратомір 2 та компресор 1. У сталеву трубу 10 запасовано поршень 12 до якого тягою 13 за оголовок 11 прикріплено нову поліетиленову трубу 4 на яку чорним маркером з кроком 0,25 м нанесені позначки.



1 – компресор; 2 – витратомір; 3 – манометр; 4 – протягуваний поліетиленовий трубопровід; 5, 9 – фланець; 6 – болт; 7 – кільцеве гумове ущільнення; 8 – трубна котушка; 10 – зношений сталевий трубопровід; 11 – оголовок; 12 – поршень; 13 – тяга

Рисунок 6 – Експериментальна установка для досліджень динаміки протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий

Експериментально підтверджено, що протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим є можливим і технологічним і може застосовуватись для реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж. Час підготовки обладнання до виконання робіт складає від 1 хв до 2 хв.

При об'ємній витраті повітря $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$ час протягування поршнем поліетиленові труби зовнішнім діаметром 32 мм склав 2,1 с, а поліетиленові труби зовнішнім діаметром 40 мм – 2,5 с. Після відкриття крана на виході компресора

до початку протягування поліетиленової труби зовнішнім діаметром 32 мм тиск збільшився до 0,087 МПа (рис. 7), що обумовлено силою тертя спокою. Після початку протягування тиск зменшився до 0,074 МПа. Далі відбувалось незначне коливання тиску з його збільшенням до 0,075 МПа. У момент вильоту поліетиленової труби з кільцевих гумових манжет ущільнювальної системи відбулось різке падіння тиску до нуля. Аналогічна зміна тиску відбувалась під час протягування поршнем поліетиленової труби зовнішнім діаметром 40 мм. Достовірність теоретично виведених залежностей підтвердила рівність експериментально визначеного тиску на виході компресора і розрахованого.

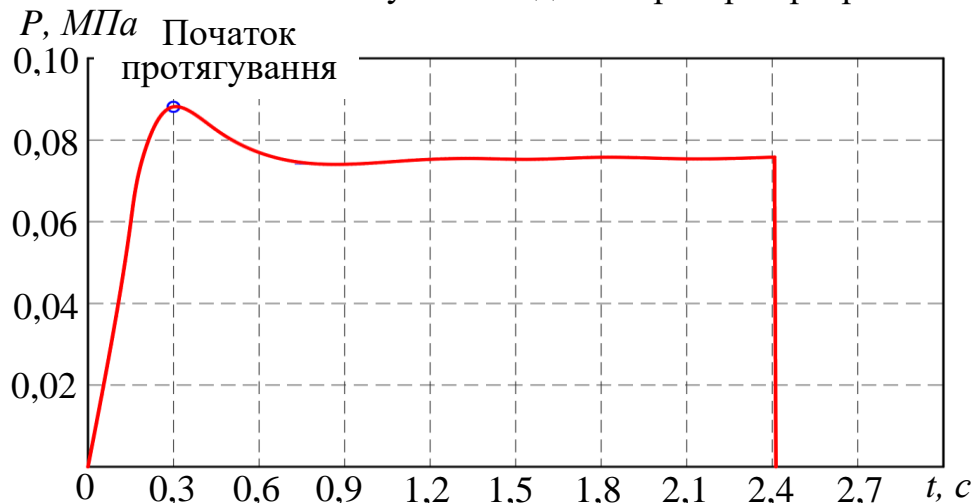
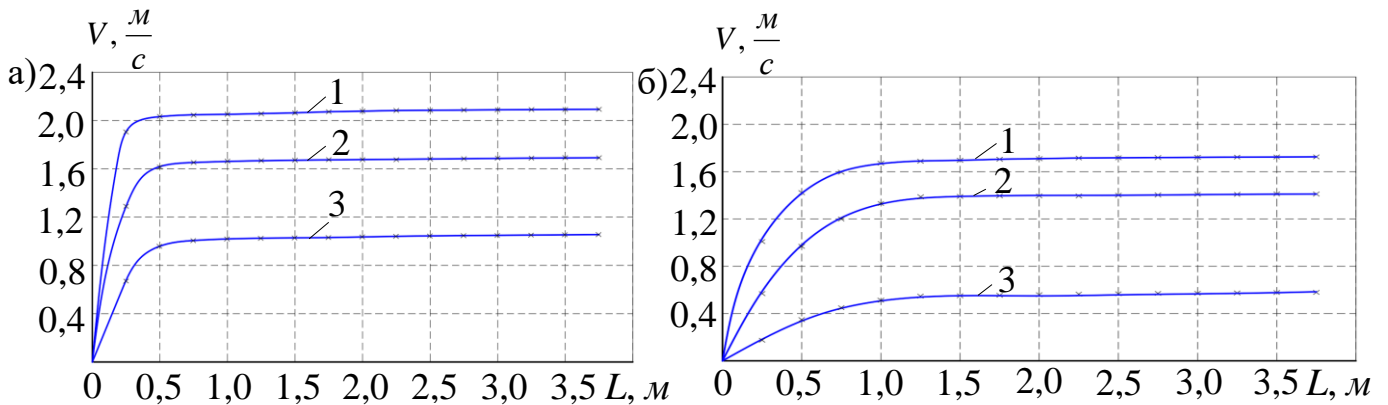


Рисунок 7 – Зміна тиску на початку трубопроводу в часі під час протягування поршнем поліетиленової труби зовнішнім діаметром 32 мм зношеною сталевую

Методом математичного планування експерименту досліджено залежність середньої швидкості протягування поршнем поліетиленової труби від об'ємної витрати повітря, зовнішнього діаметра поліетиленової труби та геометричного нахилу сталеві зношеної труби до горизонту. На основі визначення значимості коефіцієнтів рівняння регресії встановлено, що основним чинником, який чинить найбільший вплив на швидкість протягування є об'ємна витрата повітря. Експериментально досліджено залежність швидкості протягування поршнем поліетиленових труб зношеною сталевую від об'ємної витрати повітря. Кореляційним аналізом отримано аналітичні залежності між середньою швидкістю протягування та об'ємною витратою повітря. Такі дослідження дали можливість регулювати швидкість протягування.

Експериментально досліджено залежність швидкості протягування від довжини протягнутої поршнем ділянки поліетиленової труби зношеною сталевую для різних об'ємних витрат повітря. Вимірювалась швидкість протягування (фіксувався час, за який нанесені на поліетиленову трубу з кроком 0,25 м чорні позначки заходять у кільцеві гумові ущільнення (рис. 6)), при сталій об'ємній витраті повітря. За виконаним рядом вимірювань швидкості протягування нової поліетиленової труби зношеною сталевую побудовано криві (рис. 8). Із графічних залежностей видно, що на початковому етапі швидкість протягування різко зростає. Після такого різкого зростання на початку протягування відбувається незначне її збільшення. Так, при об'ємній витраті повітря $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$ середня швидкість

протягування поршнем поліетиленової труби зовнішнім діаметром 32 мм складає 2,1 м/с, а зовнішнім діаметром 40 мм – 1,7 м/с, що є надзвичайно великою швидкістю і її неможливо досягнути жодним з існуючих методів безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж.



$$1 - Q = 0,0050 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; 2 - Q = 0,0035 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; 3 - Q = 0,0020 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

а) – зовнішній діаметр поліетиленової труби 32 мм; б) – зовнішній діаметр поліетиленової труби 40 мм

Рисунок 8 – Залежність швидкості протягування від довжини протягнутої поршнем ділянки поліетиленової труби у сталеву

У четвертому розділі “Розроблення техніки та технології безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж “Тяговий поршень[®]” та “Тяговий поршень[®]”” розроблено технічні засоби безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий – “Тяговий поршень[®]” та протягуванням поршнем нового рукава в зношений сталевий трубопровід – “Тяговий поршень[®]”. Наведено результати промислової апробації і впровадження дисертаційної роботи у виробництво.

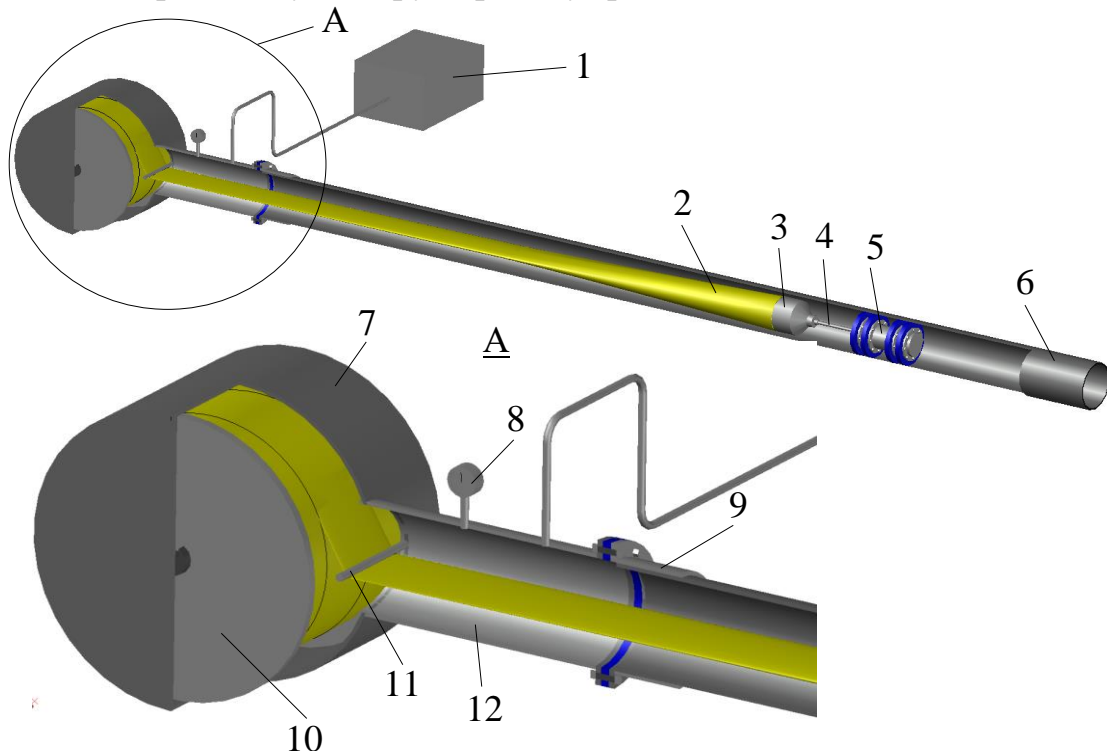
Розроблена техніка та технологія безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж “Тяговий поршень[®]” полягає в протягуванні поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий. Особливістю цієї технології є герметизування простору між новим поліетиленовим трубопроводом та зношеним сталевим ущільнювальною системою (рис. 1). Завдяки цьому компримоване повітря не виходить з міжтрубного простору, а тисне на поршень, який в свою чергу протягує новий поліетиленовий трубопровід зношеним сталевим.

Ущільнювальну систему в робочому котловані або колодязі фланцем чи хомутом кріплять до торця зношеного сталевого трубопроводу. Міжтрубний простір герметизується кільцевими гумовими ущільненнями, які затиснені фланцями. Кільцеві гумові ущільнення повинні не випускати з міжтрубного простору повітря та забезпечити можливість протягування нового поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим. Тому їх внутрішня частина повинна бути вигнута в сторону протягування. До ущільнювальної системи приєднують компресор, яким закачують

повітря в простір між зношеним сталевим і новим поліетиленовим трубопроводом. Міжтрубним простором повітря поступає в запоршневий простір. Оскільки ущільнювальна система не випускає повітря з міжтрубного простору, то тиск за поршнем зростає і він починає рухатись зтягуючи за собою новий поліетиленовий трубопровід у зношений сталевий. Під час протягування відбувається очищення внутрішньої порожнини зношеного сталевого трубопроводу поршнем.

Щоб мінімізувати зменшення пропускної здатності реконструйованого зношеного сталевого трубопроводу максимальним наближенням до його внутрішньої стінки нового трубопроводу, реконструювати ділянки зношеного сталевого трубопроводу, які містять кути повороту до 30° застосовують рукави.

Для протягування поршнем нового поліетиленового рукава в зношений сталевий трубопровід розроблено техніку та технологію безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж “Тяговий поршень[®]”. Особливістю цієї технології є те, що барабан з намотаним рукавом поміщається в приєднану до зношеного сталевого трубопроводу герметичну циліндричну камеру. При цьому попередньо у зношений сталевий трубопровід запасовують поршень і до нього кріплять рукав. Тоді подають компресором повітря у запоршневий простір і поршень протягує рукав зношеним сталевим трубопроводом розмотуючи його з поміщеного в герметичну камеру барабану (рис. 9).



- 1 – компресор; 2 – рукав; 3 – оголовок; 4 – тяга; 5 – поршень; 6 – зношений сталевий трубопровід; 7 – герметична циліндрична камера; 8 – манометр; 9 – муфта; 10 – барабан; 11 – направляючий стрижень; 12 – трубна котушка

Рисунок 9 – Протягування поршнем рукава в зношений сталевий трубопровід

Результати дисертаційної роботи промислово апробовані та впроваджені в промислову експлуатацію у СП “Київські теплові мережі” КП “Київтеплоенерго” РТМ “Печерськ”. Зокрема, з метою реконструкції зношених трубопроводів теплових

мереж використано аналітичні матеріали дисертаційної роботи щодо протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід. Технічним результатом застосування таких технології є зменшення часу робочого процесу, зменшення обсягу підготовчих робіт, спрощення процесу протягування нового трубопроводу чи рукава, збільшення швидкості протягування, забезпечення можливості застосування в ускладнених міських умовах. Перед виконанням реконструкції не треба розробляти приймальний котлован, що не завжди можливо до і під час виконання робіт.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень процесу протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом та газодинамічних процесів у внутрішній порожнині сталевого трубопроводу під час виконання таких робіт вирішено важливу науково-технічну задачу швидкої та економічної безтраншейної реконструкції зношених трубопроводів газових і теплових мереж.

1. На базі досліджень динаміки протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава зношеним сталевим трубопроводом встановлено, що ідеї реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж поршнем можливо реалізувати, оскільки, для виконання таких робіт потрібний незначний тиск на виході компресора. Так, для реконструкції ділянки зношеного сталевого трубопроводу внутрішнім діаметром 49 мм довжиною 50 м протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 40 мм потрібен тиск до 0,2 МПа, а для протягування поршнем на таку ж довжину рукава – 0,12 МПа.

Визначено, що сила тертя між одним метром поліетиленової труби чи рукава і зношеною сталевією трубою є мізерною і знаходиться в межах від 1 Н до 2 Н тому протягуванням поршнем поліетиленової труби чи рукава можна реконструювати протяжні ділянки трубопроводів газових і теплових мереж.

2. CFD моделювання газодинамічних процесів у міжтрубному просторі між протягуванням поршнем новим поліетиленовим трубопроводом чи рукавом і зношеним сталевим трубопроводом, які мають різну шорсткість стінки, виявлено місця сповільнення та пришвидшення потоку повітря, падіння та зростання тиску. Визначено залежність втрат тиску в міжтрубному просторі від довжини протягнутої поршнем ділянки поліетиленового трубопроводу чи рукава. Аналіз результатів досліджень показав, що якщо поршнем протягнуто п'ятдесят метрів поліетиленового трубопроводу зовнішнім діаметром 40 мм падіння тиску в міжтрубному просторі складає 33560 Па, а якщо протягнуто 50 м рукава – 6231 Па.

3. Експериментально встановлено, що поршнем можна протягнути новий поліетиленовий трубопровід зношеним сталевим. Виявлено, що швидкість протягування на початку робіт різко зростає. Після такого різкого зростання на початку протягування відбувається незначне її збільшення. При об'ємній витраті повітря 0,005 м³/с середня швидкість протягування поршнем поліетиленової труби зовнішнім діаметром 40 мм складає 1,7 м/с. Таку швидкість протягування

неможливо досягнути жодним з існуючих методів безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій.

4. Розроблено нові технології безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем у зношений сталевий трубопровід нового поліетиленового трубопроводу – “Тяговий поршень[Ⓣ]”, нового рукава – “Тяговий поршень[Ⓟ]”. Технічним результатом застосування таких технологій є зменшення обсягу підготовчих робіт, спрощення процесу протягування нового поліетиленового трубопроводу, збільшення швидкості протягування, забезпечення можливості застосування в ускладнених умовах, зменшення витрати на реконструкцію та часу робочого процесу. Перед виконанням реконструкції не треба розробляти приймальний котлован, що не завжди можливо до і під час виконання робіт.

Результати виконаних досліджень, розроблена техніка та технологія безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж – “Тяговий поршень[Ⓣ]” та “Тяговий поршень[Ⓟ]” промислово апробовані та впроваджені у СП “Київські теплові мережі” КП “Київтеплоенерго” РТМ “Печерськ”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Development of trenchless technology of reconstruction of “Pulling pig P” pipeline communications / Ya. Doroshenko, V. Zapukhliak, K. Poliarush, [and oth.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, No. 1(98). P. 28–38. ISSN(e) 1729-4061. (**Scopus, Index Copernicus International**).

2. Розробка способу очистки шлейфів свердловин / П. В. Горін, К. А. Поляруш, Д. Ф. Тимків [та ін.] // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2018. № 6(247). С. 213–222. (**Index Copernicus International**)

3. Поляруш К. А. Дослідження газодинамічних процесів у трубопроводних комунікаціях під час їх безтраншейної реконструкції технологією “Тяговий поршень[Ⓣ]”. *Нафтогазова енергетика*. 2019. № 1(31). С. 43–53. (**наукове фахове видання України**).

4. Сучасні технології безтраншейного ремонту теплогазових мереж / К. А. Поляруш, Я. В. Дорошенко, С. І. Тихонов, А. Р. Бабій // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2016. № 1(58). С. 41–51. (**наукове фахове видання України**).

5. Дорошенко Я. В., Поляруш К. А. Розроблення технології безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій очисним поршнем. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2018. № 3(68). С. 12–18. (**наукове фахове видання України**).

6. Дорошенко Я. В., Поляруш К. А., Запукхляк В. Б. Експериментальні дослідження динаміки безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій

технологією “Тяговий поршень[Ⓣ]”. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. № 1(70). С. 25–32. **(наукове фахове видання України)**.

7. The study of the stress-strain state of trunk gas pipeline sections with defects in the shape of the cross-section of the pipe / Ya. V. Doroshenko, L. D. Pylypiv, K. A. Poliarush, Yu. I. Doroshenko // *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. 2017. Vol. 4, Issue 2. P. 68–80. **(наукове фахове видання України)**.

8. Тихонов С. І., Дорошенко Я. В., Поляруш К. А. Технології внутрішньотрубного обстеження та ремонту важкодоступних ділянок газонафтопроводів. *Науковий вісник*. 2015. № 1(38). С. 83–94. **(наукове фахове видання України)**.

9. Пристрій для безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій: пат. 129088 Україна: МПК F16L1/028. № u 201802905 ; заявл. 22.03.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. 3 с.

10. Пристрій для санації трубопроводів рукавом : пат. 134600 Україна : МПК F16L1/028. № u 201812689 ; заявл. 20.12.2018 ; опубл. 27.05.2019, Бюл. № 10. 3 с.

11. Дорошенко Я. В. Поляруш К. А. Розроблення технології безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій “Тяговий поршень[Ⓣ]”. *Science progress in European countries: new concepts and modern solutions* : proceedings of the 6th International Scientific Conference, 19 april 2019 у. Stuttgart, 2019. P. 139–151. ISBN 978-3-944375-22-9.

12. Поляруш К. А. Дослідження динаміки безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій технологією “Тяговий поршень”. *Тридцята наукова сесія наукового товариства ім. Шевченка* : матеріали сесії, 28 лютого – 21 березня 2019 р. Івано-Франківськ, 2019. С. 22.

13. Дорошенко Я. В., Поляруш К. А. Метод безтраншейного релейнінгу теплогазових мереж. *Нафтогазова енергетика-2017* : тези доповідей 6-тої міжнародної науково-технічної конференції, 15–19 травня 2017 р. Івано-Франківськ, 2017. С. 196–197.

14. Поляруш К. А. Розроблення технологій безтраншейної реконструкції теплогазових мереж. *Нафтогазова енергетика* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 27–31 травня 2019 р. Івано-Франківськ, 2019. С. 13.

15. Поляруш К. А. Новітні технології безтраншейної реконструкції трубопровідних комунікацій. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки* : збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, 10 травня 2019 р. Рівне: НУВГП. 2019. С. 60–62.

16. Дорошенко Я. В., Поляруш К. А. Розроблення технології безтраншейного релейнінгу теплогазових мереж поршнем. *Двадцять дев'ята наукова сесія наукового товариства ім. Шевченка* : матеріали сесії, 15 січня – 31 березня 2018 р. Львів, 2018. С. 66.

АНОТАЦІЯ

Поляруш К. А. Розроблення техніки та технології безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, МОН України, Івано-Франківськ, 2019.

Аналітично, CFD моделюванням та експериментально встановлено, що трубопроводи газових і теплових мереж можливо реконструювати протягуванням поршнем нового поліетиленового трубопроводу чи рукава в зношений сталевий трубопровід. Виведено залежності для розрахунку сил опору, які діють на рухому систему, та необхідного тиску на виході компресора, щоб поршень протягнув новий поліетиленовий трубопровід чи рукав усією довжиною реконструйованого трубопроводу. Встановлено закономірності зміни тиску на виході компресора залежно від довжини протягнутої поршнем ділянки поліетиленового трубопроводу чи рукава. Експериментально досліджено динаміку протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий. Розроблено техніку та технологію безтраншейної реконструкції трубопроводів газових і теплових мереж протягуванням поршнем у зношений сталевий трубопровід нового поліетиленового трубопроводу – “Тяговий поршень[Ⓢ]” та нового рукава – “Тяговий поршень[Ⓢ]”, які промислово апробовано та впроваджено у виробництво.

Ключові слова: поршень, протягування, поліетиленова труба, рукав, тягове зусилля, CFD моделювання, рівняння Нав’є-Стокса, динамічна сітка.

АННОТАЦИЯ

Поляруш К. А. Разработка техники и технологии бестраншейной реконструкции трубопроводов газовых и тепловых сетей. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, МОН Украины, Ивано-Франковск, 2019.

Аналитически, CFD моделированием и экспериментально установлено, что трубопроводы газовых и тепловых сетей возможно реконструировать протягиванием поршнем нового полиэтиленового трубопровода или рукава в изношенный стальной трубопровод. Выведены зависимости для расчета сил сопротивления, действующих на подвижную систему, и необходимого давления на выходе компрессора, чтобы поршень протянул новый полиэтиленовый трубопровод или рукав всей длиной реконструированного трубопровода. Установлены закономерности изменения давления на выходе компрессора в зависимости от длины протянутого поршнем участка полиэтиленового трубопровода или рукава.

Экспериментально исследована динамика протягивания поршнем нового полиэтиленового трубопровода в изношенный стальной. Разработано технику и технологию бестраншейной реконструкции трубопроводов газовых и тепловых сетей протягиванием поршнем в изношенный стальной трубопровод нового полиэтиленового трубопровода – "Тяговый поршень[®]" и нового рукава – "Тяговый поршень[®]" которые промышленно апробировано и внедрено в производство.

Ключевые слова: поршень, протягивание, полиэтиленовая труба, рукав, тяговое усилие, CFD моделирование, уравнения Навье-Стокса, динамическая сетка.

ANNOTATION

K. Poliarush. Engineering and technology development of trenchless reconstruction of gas and heat pipelines. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences (PhD) in the specialty 05.15.13 – pipeline transportation, oil and gas storages. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2019.

The dissertation is devoted to the complex study of trenchless reconstruction of gas and heat pipelines methods. Theoretical and experimental study of the plunging process of a new polyethylene pipeline or a new hose with a worn steel pipeline. Development of engineering and technology of gas and heat pipelines trenchless reconstruction by plunging a new polyethylene pipeline or hose into the worn steel pipeline.

With a help of analysis and CFD simulations it was established that gas and heat pipelines can be reconstructed by extending a pig of a new polyethylene pipeline, with a new hose into a worn steel pipeline, since it requires little pressure at the edge of the compressor to perform such operations. Thus, for the section reconstruction of a worn steel pipeline with an internal diameter of 49 mm, length 50 m, a pig of a new polyethylene pipeline with an external diameter of 40 mm requires a pressure of up to 0.2 MPa, and for the extension of the pig to the same hose length – 0.12 MPa.

For the calculation of the resistance forces the dependencies are deduced, they are acting on the moving system and the required pressure at the of the compressor, at which the pig extends a new polyethylene pipeline or a hose over the entire length of the reconstructed worn steel pipeline. The resistance forces acting on the moving system while extending the pig of the polyethylene pipeline on the horizontal sections of the track are: the force of mechanical friction of the pig cuffs to the walls of the steel pipeline; force of friction of polyethylene pipe to steel; force of friction of a polyethylene pipe in the ring cuffs of the sealing system. When pulling the pig hoses the forces of resistance are: the force of mechanical friction of the pig cuffs to the walls of the steel pipeline; force of friction of a polyethylene hose to a steel pipe; the friction force of the axes of the drum on which the hose is wound.

The CFD model was based on the solution of the Navier-Stokes equations and the continuity of the flow, closed by a two-parameter Lunder-Sharm turbulence model using a

wall function, with appropriate initial and boundary conditions. The motion of the pig and its extending polyethylene pipeline was modeled using a dynamic mesh.

The dependence of the pressure loss is established in the worn steel pipeline on the length of the stretched section of the polyethylene pipeline or hose. Thus, if the pig is extended fifty meters of the polyethylene pipeline with an outside diameter of 40 mm, the pressure loss in the pipe is 33560 Pa. If the pig is extended fifty meters, the pressure loss in the worn steel pipeline is 6231 Pa.

An experimental unit was developed and constructed to investigate the dynamics of plunging a new polyethylene pipeline into a worn steel one. On the basis of experimental tests it is established that the extension of the pig of a new polyethylene pipeline with worn steel is technologically possible and can be used for the reconstruction of pipelines of gas and heat networks, and the preparation time of the equipment for the work is 1-2 minutes.

For a polyethylene pipe with an outside diameter of 32 mm and a length of 4 m at a flow rate of air of 0.005 m³/s, the drawing time was 2.1 s.

The dependence of the average drawing speed was experimentally investigated on the volume flow rate, the outer diameter of the extended polyethylene pipeline and the geometric inclination of the steel worn pipeline to the horizon. These studies were performed by the method of mathematical planning of the experiment. On the basis of determining the significance of the regression equation coefficients, it is established that the main factor with the greatest influence on the speed of the draw is the volume air flow.

It has been experimentally found that the speed of pulling on a pig of a plastic pipe with worn steel increases sharply at the beginning of the stretching. After such a sharp increase at the beginning of the stretch, it increases slightly. Thus, at a volume flow rate of 0.005 m³/s, the average velocity of the polyethylene pipe being drawn with an outer diameter of 32 mm is 2.1 m/s, and an outer diameter of 40 mm is 1.7 m/s, which is extremely high and impossible to achieve none of the existing methods of trenchless reconstruction of gas and heat pipelines.

The technique and technology of trenchless reconstruction of gas and heat pipelines is developed by extending the pig into the worn steel pipeline of a new polyethylene pipeline – "Pulling pig^P" and a new hose – "Pulling pig^H". A feature of the "Pulling pig^P" technology is the sealing of the space between the new polyethylene pipeline and the worn steel developed sealing system. Due to this, the compressed air does not come out of the pipe, but presses on the pig, which in turn extends the new plastic pipeline with worn steel.

The peculiarity of the "Pulling pig^H" technology is that the reel with a hose is inserted into a sealed cylindrical chamber connected to the worn steel pipeline. At the same time, the pig is stored in the worn steel pipeline and the hose is attached to it. The air compressor is then fed into the vapor space and the pig extends the hose with a worn steel pipeline.

Key words: pig, pulling, polyethylene pipe, hose, traction, CFD modeling, Navier-Stokes equation, dynamic mesh.

**Друк: підприємець Голіней О.М.
м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 128
тел. (0342) 58 04 32, +38 050 540 30 64
папір офсетний, друк цифровий
формат 60x84 /16, ум. друк. 0,9 арк.
Зам. № 154 від 13.08.2020, наклад 100 прим.**