

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ БЕЗТРАНШЕЙНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ КОМУНІКАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЄЮ “ТЯГОВИЙ ПОРШЕНЬ[®]”

¹Я. В. Дорошенко*, ²К. А. Поляруш, ¹В. Б. Запужляк

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

²ПАТ "Київенерго" СВП "Київські Теплові Мережі" РТМ "Печерськ";
01103, м. Київ, вул. Товарна, 1, тел. (044) 5298875,
e-mail: djfoog@gmail.com, pubrel@kievenergo.com.ua

Описано технологію безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій “Тяговий поршень[®]”, яка полягає в протягуванні поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий. Поршень рухається під тиском повітря, яке подається в запоршневий простір компресором. Міжтрубний простір в робочому котловані герметизується ущільнювальною системою.

Розроблено і побудовано експериментальний стенд для визначення сил опору, які діють на рухому систему під час реконструкції трубопроводних комунікацій технологією “Тяговий поршень[®]”, наведено його принципову схему. Експериментально визначено зусилля, яке необхідне для протягування одного погонного метра поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим трубопроводом, силу тертя між манжетами поршня і стінкою зношеного сталевого трубопроводу та силу тертя поліетиленової труби в манжетах ущільнювальної системи. Визначено суму експериментально визначених сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий.

Розроблено і побудовано експериментальну установку для дослідження динаміки протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий.

Експериментальні дослідження виконувались для різних нахилів зношеного сталевого трубопроводу до горизонту, різних витрат повітря, різних зовнішніх діаметрів поліетиленових труб.

Експериментально визначено закономірності зміни тиску повітря на початку трубопроводу в часі під час руху поршня сталевую трубою та протягування поршнем поліетиленової труби зношеною сталевую. Досліджено залежність швидкості протягування від об’ємної витрати повітря та від довжини протягнутої ділянки.

Виконавши експериментальні випробування, встановлено, що розроблена технологія “Тяговий поршень[®]” може застосовуватись для реконструкції трубопроводних комунікацій.

Ключові слова: витрата повітря, поліетиленова труба, протягування, сила тертя, тягове зусилля, швидкість протягування.

Описана технология бестраншейной реконструкции трубопроводных коммуникаций “Тяговий поршень[®]”, которая заключается в протягивании поршнем нового полиэтиленового трубопровода в изношенный стальной. Поршень движется под давлением воздуха, подаваемого в запоршневое пространство компрессором. Межтрубное пространство в рабочем котловане герметизируется уплотнительной системой.

Разработан и построен экспериментальный стенд для определения сил сопротивления, действующих на подвижную систему при реконструкции трубопроводных коммуникаций по технологии “Тяговой поршень[®]”, приведена его принципиальная схема. Экспериментально определено усилие, необходимое для протягивания одного погонного метра полиэтиленовой трубы в изношенном стальном трубопроводе, определена сила трения между манжетами поршня и стенкой изношенного стального трубопровода, сила трения полиэтиленовой трубы в манжетах уплотнительной системы. Определена сумма сил сопротивления, действующих на подвижную систему при протягивании поршнем нового полиэтиленового трубопровода в изношенный стальной.

Разработана и построена экспериментальная установка для исследования динамики протягивания поршнем нового полиэтиленового трубопровода в изношенный стальной.

Экспериментальные исследования выполнялись для различных наклонов изношенного стального трубопровода к горизонту, различных расходов воздуха, различных наружных диаметров полиэтиленовых труб.

Экспериментально определены закономерности изменения давления воздуха в начале трубопровода при движении поршня по стальной трубе и при протягивании поршнем полиэтиленовой трубы изношенной стальной трубой. Исследованы закономерности изменения скорости протягивания от объемного расхода воздуха и длины протянутого участка.

Результат экспериментальных испытаний показал, что разработанная технология "Тяговый поршень[®]" может применяться для реконструкции трубопроводных коммуникаций.

Ключевые слова: полиэтиленовая труба, протягивание, расход воздуха, сила трения, скорость протягивания, тяговое усилие.

The article describes the technology of the trenchless reconstruction of distribution pipelines using the "T-type Traction Piston[®]" technology. The essence of this technology is drawing a new polyethylene pipeline into a worn steel one using a piston. The piston moves under the pressure of air supplied into behind-the-piston space by the compressor. The annular space in the boring (operating) trench is sealed with a sealing system.

The authors have designed and constructed the experimental stand to determine the resistance forces which act on the movable system during the reconstruction of the distribution pipelines using the "T-type Traction Piston[®]" technology. Its schematic diagram is presented. Using experimental methods the authors have determined the effort which is required to draw one linear metre of a polyethylene pipeline into a worn steel pipeline, the friction force of the piston cups on the walls of the worn steel pipeline and the friction force of the polyethylene pipe in the cups of the sealing system. The authors have ascertained the sum of experimentally determined resistance forces which act on a movable system while drawing a new polyethylene pipeline into a worn steel one by the piston.

The authors have designed and constructed the experimental installation (unit) to study the dynamics of drawing a new polyethylene pipeline into a worn steel one by a piston.

The experimental studies have been carried out for various tilts of a worn steel pipeline as to the horizon, various air rates, various external diameters of polyethylene pipes.

The authors have experimentally determined the regularities of the air pressure change at the pipeline start over time during the movement of the piston inside a steel pipe and while drawing the polyethylene pipe within the worn steel one by a piston. The dependence of the drawing velocity on the air-flow rate and on the length of the drawn section has been studied.

The experimental tests have proved that "T-type Traction Piston[®]" technology can be used for the reconstruction of the distribution pipelines.

Key words: air rate, polyethylene pipe, drawing, friction force, traction effort, drawing velocity.

Вступ. Обсяг зношених підземних трубопроводних комунікацій в Україні постійно зростає, що посилює проблему забезпечення надійної їх роботи і безпечної експлуатації. Найактуальнішою є ця проблема в великих містах України, де трубопроводні комунікації дуже розгалужені. Вибірковий ремонт дефектів стінки труби зношених трубопроводів є марним витрачанням коштів та часу. Потрібне повне оновлення зношених мереж газо-, тепло-, водопостачання. На сьогодні в багатьох великих містах України реконструкція трубопроводних комунікацій є однією з пріоритетних задач.

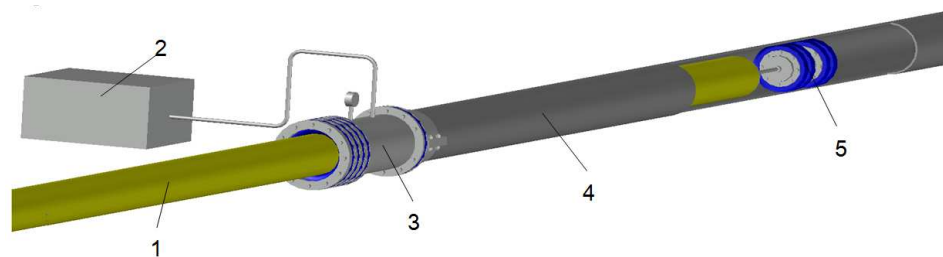
Традиційна траншейна реконструкція трубопроводних комунікацій у великих містах є малодоцільною через велику тривалість виконання робіт, великі обсяги земляних робіт, перекидання руху транспорту, проходів пішоходів, руйнування дорожнього покриття, пошкодження зелених насаджень тощо.

Уникнути цих незручностей і додаткових витрат, пов'язаних з відновлювальними роботами, та пришвидшити їх можна застосуванням безтраншейних технологій, які дають змогу виконувати реконструкцію без зовнішнього доступу до трубопроводу.

Є декілька технологій безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій [1, 2]. Найрозповсюдженішою є протягування полі-

етиленової труби меншого діаметра в зношений сталевий трубопровід – "труба в трубі" [3]. Також безтраншейні реконструкції виконуються протягуванням поліетиленової труби в зношений сталевий трубопровід з розширенням протягнутої труби, щоб вона щільно прилягала до внутрішньої стінки зношеного трубопроводу – технології "U-лайн", "Swagelining" [4] та протягуванням синтетичного рукава в зношений сталевий трубопровід [5]. Тяговими засобами для усіх існуючих технологій безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій є лебідки, різноманітні гідродомкратні установки, трактори та інша колісна техніка, які розміщують біля або в приймальному котловані.

Дорошенко Я. В., Поляруш К. А. та Запужляк В. Б. [6, 7] розробили технологію безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій "Тяговий поршень[®]". Ця технологія полягає в протягуванні поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий. Отримано залежності для розрахунку сил опору, які діють на рухому систему, розрахунку необхідного тиску в запоршневому просторі, щоб поршень протягнув новий поліетиленовий трубопровід усією довжиною реконструйованого горизонтального чи похилого зношеного сталевого трубопроводу.



1 – протягуваний поліетиленовий трубопровід; 2 – компресор; 3 – ущільнювальна система;
4 – зношений сталевий трубопровід; 5 – поршень

Рисунок 1 – Схема протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий

Викладені в [6, 7] розробки та дослідження є теоретичними. Для практичної реалізації розробленої технології “Тяговий поршень[®]” потрібно підібрати компресор для виконання робіт, експериментально визначити вплив основних чинників на динаміку процесу, визначити, які з них підвищують ефективність процесу. Для підбору компресора треба визначити, яким має бути тиск в запоршневому просторі, щоб поршень з прикріпленням до нього поліетиленовим трубопроводом рухався усією довжиною реконструйованої ділянки трубопроводу.

Мета роботи полягає в експериментальному визначенні трудоздатності розробленої технології безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій “Тяговий поршень[®]” та дослідженні ефективності її застосування.

Завданнями експериментальних досліджень були:

- перевірка можливості протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий трубопровід;
- експериментальне визначення сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий трубопровід;
- експериментальні дослідження динаміки протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий трубопровід.

Виклад основного матеріалу

Розроблена технологія безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій “Тяговий поршень[®]” [6, 7] полягає в протягуванні поршнем 5 нового поліетиленового трубопроводу 1 всередині зношеного сталевого 4 (рис. 1). Щоб поршень 5 рухався сталевим трубопроводом 4, в запоршневий простір треба подавати компресором 2 під тиском повітря. При цьому, щоб в запоршневому просторі підтримувався необхідний тиск, треба герметизувати простір між новим поліетиленовим трубопроводом 1 та

зношеним сталевим 4. Для цього розроблено ущільнювальну систему 3, яку в робочому котловані або колодязі фланцем чи хомутом треба прикріпити до торця зношеного сталевого трубопроводу 4. Міжтрубний простір ущільнюється кільцевими гумовими ущільненнями, які затискаються фланцями. Кільцеві гумові ущільнення повинні герметизувати міжтрубний простір і не випускати з нього повітря та забезпечити можливість протягування нового поліетиленового трубопроводу 1 зношеним сталевим 4. Тому їх внутрішня частина повинна бути вигнута в напрямку протягування. Тоді під тиском повітря в міжтрубному просторі вони будуть притискатись до стінки протягуваного нового трубопроводу 1.

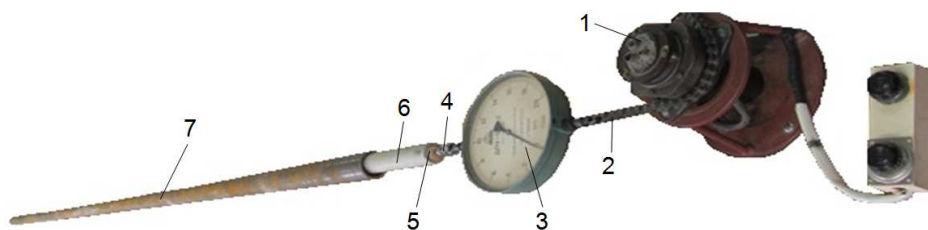
Експериментальні дослідження виконано в лабораторії спорудження магістральних трубопроводів кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Для експериментального визначення сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий, розроблено універсальний експериментальний стенд.

Універсальність експериментального стенду полягає в можливості:

- дослідження процесів протягування нового поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим;
- дослідження руху поршня сталевим трубопроводом;
- дослідження процесів очищення трубопроводу.

Стенд складається з електродвигуна та динамометра ДПУ-002-2 (рис. 2). Динамометром 3 вимірюється сила, з якою електродвигун 1 тягне новий поліетиленовий трубопровід 6 ділянкою зношеного сталевого трубопроводу 7. Динамометр 3 з'єднаний з електродвигуном 1 ланцюгом 2, кінець якого закладений на зірочку електродвигуна 1. Також динамометр 3 з'єдна-



1 – електродвигун; 2 – ланцюг; 3 – динамометр; 4 – тяга; 5 – оголовок;
6 – протягуваний поліетиленовий трубопровід; 7 – зношений сталевий трубопровід
Рисунок 2 – Експериментальний стенд для визначення сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий

Таблиця 1 – Результати експериментального визначення сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий

$D_{з.л}, мм$	$F_{Т.н.пр}, \frac{H}{м}$	$F_{Т.у.с}, H$	$F_{Т.м.л}, H$	F, H
32	1,0	84,7	42,7	131,4
40	1,3	103,9	42,7	151,8

ний з оголовком 5 поліетиленового трубопроводу 6 тягою 4. Для легкої та швидкої заміни динамометра 3 в разі потреби його з'єднання з ланцюгом 2 і тягою 4 виконано карабінами.

Внутрішній діаметр сталеві труби $D_{в.с} = 49 мм$. Дослідження виконувались п'ять разів для поліетиленових труб зовнішніми діаметрами $D_{з.л1} = 32 мм$, $D_{з.л2} = 40 мм$. Довжина сталеві і поліетиленові труб складала 4 м. Середнє арифметичне значення показів динамометра для кожної поліетиленові труби ділилось на довжину поліетиленові труби. Отримане значення (табл. 1) є зусиллям $F_{Т.н.пр}$, яке необхідне для протягування одного погонного метра поліетиленового трубопроводу зношеним сталевим.

Також поліетиленова труба проштовхувалась в ущільнювальну систему, і динамометром п'ять разів вимірювалась сила тертя поліетиленові труби в манжетах ущільнювальної системи $F_{Т.у.с}$. Такі дослідження виконувались для поліетиленових труб зовнішнім діаметром $D_{з.л2} = 32 мм$ та $D_{з.л3} = 40 мм$. Середні арифметичні значення виміряних величин наведено в табл. 1.

Всередину сталевого трубопроводу замість поліетиленового трубопроводу поміщався поршень, і динамометром п'ять разів вимірювалась сила тертя манжет поршня $F_{Т.м.л}$ до стінок зношеного сталевого трубопроводу. Середні арифметичні значення виміряних величин наведено в табл. 1.

Сума експериментально визначених сил опору, які діють на рухому систему під час протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий,

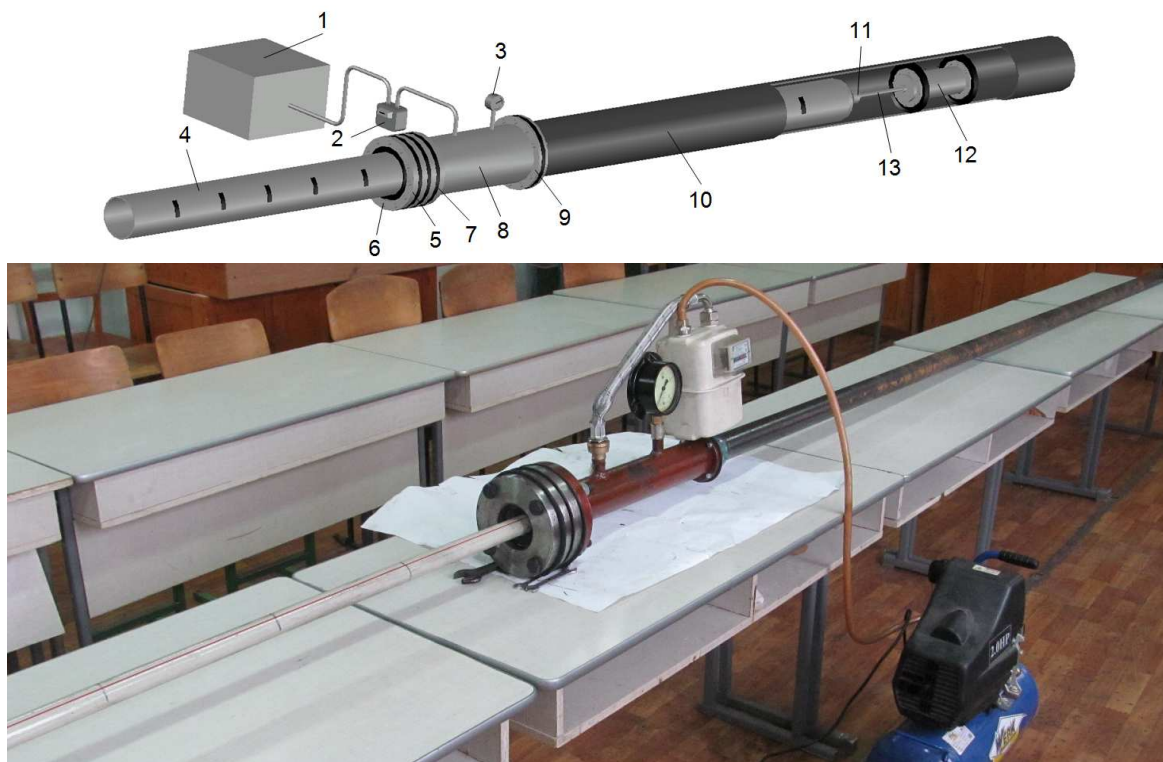
$$F = F_{Т.н.пр}L + F_{Т.м.л} + F_{Т.у.с}. \quad (1)$$

Результати розрахунків за (1) наведені в табл. 1.

Для експериментальних досліджень динаміки протягування нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий поршнем розроблено і виготовлено експериментальну установку (рис. 3), яка складається зі зношеної сталеві труби 10 внутрішнім діаметром 49 мм і довжиною 4 м. До сталеві труби 10 фланцем 9 кріпиться ущільнювальна система, яка складається з трубної котушки 8, фланців 5 і затиснутих болтами 6 трьох кільцевих гумових ущільнень 7 товщиною 3 мм, манометра 3 та патрубку, до якого приєднано лічильник GF-1 OKTAVA та компресор 1. В сталеву трубу 10 запасовано очисний поршень 12, до якого тягою 13 за оголовок 11 прикріплена нова поліетиленова труба 4, на яку чорним маркером з кроком 0,25 м нанесені позначки. Експериментальні дослідження виконувались для поліетиленових труб зовнішнім діаметром 32 та 40 мм.

Дослід повторювався для різних нахилів зношеного сталевого трубопроводу до горизонту, різних витрат повітря.

Перед виконанням експериментальних досліджень було визначено масу поршня та поліетиленових труб. Маса поршня складала 0,13 кг, одного погонного метра поліетиленові труби



1 – компресор; 2 – лічильник; 3 – манометр; 4 – протягнутий 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 3 – Експериментальна установка для досліджень динаміки протягування поршнем нового поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий

зовнішнім діаметром 32 мм – 0,5 кг, а зовнішнім діаметром 40 мм – 0,7 кг.

Дослідження виконують таким чином. Поліетиленову трубу 4 з оголовком 11 (рис. 3) прошовують в ущільнювальну систему через кільцеві гумові ущільнення 9 до тих пір, поки вона не вийде з трубної котушки 8 з протилежного боку. Тоді в оголовок 11 вкручують тягу 13, до якої кріпиться поршень 12. Після цього поршень 12 запасовують у зношену сталеву трубу 10. Тоді до торця сталеві труби 10 кріплять ущільнювальну систему. Після цього до патрубків ущільнювальної системи приєднують лічильник 2 та компресор 1, яким починають закачувати повітря в простір між сталеві трубою 10 і новою поліетиленові трубою 4. Міжтрубним простором повітря поступає в запоршневий простір. Оскільки ущільнювальна система не випускає повітря з міжтрубного простору, то тиск за поршнем 12 зростає. Поршень починає рухатись, зтягаючи за собою поліетиленову трубу 4 в сталеву 10. При цьому під час протягування вимірюється тиск манометром 3, витрата повітря – лічильником 2. Під час виконання експериментальних досліджень визначають швидкість протягування поліетиленової труби 4 сталеві трубою 10 (фіксують час, за який нанесені на поліетиленову трубу з кроком 0,25 м чорні позначки заходять в кільцеві гумові ущільнення). Для цього виконується посекундний відеозапис.

на нові труби 4 сталеві трубою 10 (фіксують час, за який нанесені на поліетиленову трубу з кроком 0,25 м чорні позначки заходять в кільцеві гумові ущільнення). Для цього виконується посекундний відеозапис.

На першому етапі експериментально досліджувалась динаміка руху поршня сталеві трубою без прикріпленої до нього поліетиленові труби. Під час руху поршня вимірювалися тиск, об'ємна витрата повітря та фіксувався час протягування. Для точного визначення усіх цих значень виконувався відеозапис для посекундного уповільненого перегляду. При об'ємній витраті повітря $0,0079 \text{ м}^3/\text{с}$ час руху поршня склав 1,2 с. Розрахункова середня швидкість руху поршня – $3,33 \text{ м/с}$. За низкою вимірів тиску побудовано криву (рис. 4) зміни тиску на початку трубопроводу під час руху поршня. З графіка видно, що тиск після відкриття крана до початку руху поршня збільшується до $0,035 \text{ МПа}$ і є в два рази більшим за тиск під час його руху, що обумовлено силою тертя спокою між манжетами поршня та стінкою сталеві труби. Після початку руху поршня тиск падає до $0,011 \text{ МПа}$, що обумовлено різким збільшенням швидкості руху поршня,

яке, в свою чергу, призводить до зменшення сили тертя між манжетами поршня та стінкою сталевго трубопроводу. Після цього тиск збільшується до 0,019 МПа. В момент вилітання поршня зі сталевго труби відбувається надзвичайно різке збільшення тиску – до 0,039 МПа з миттєвим падінням до нуля. При цьому чуто звуковий сигнал “хлопок”.

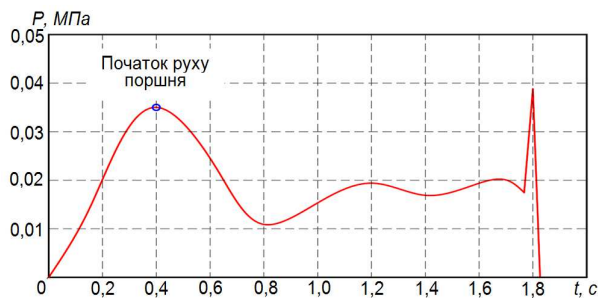


Рисунок 4 – Зміна тиску на початку трубопроводу в часі під час руху поршня сталевгою трубою

Зі зменшенням об’ємної витрати повітря відбувається незначне зменшення середньої швидкості руху поршня. У разі збільшення нахилу сталевго трубопроводу до 30° відбувається незначне збільшення тиску на початку трубопроводу порівняно з тиском, який був при горизонтальному положенні труби.

На другому етапі експериментально досліджувалась динаміка протягування поршнем поліетиленових труб зовнішнім діаметром 32 мм та 40 мм зношеною сталевгою трубою. Експериментальна установка наведена на рис. 3. Під час протягування вимірювалися тиск, об’ємна витрата повітря та фіксувався час. Для поліетиленової труби зовнішнім діаметром 32 мм при об’ємній витраті повітря 0,005 м³/с час протягування склав 2,1 с. Розрахункова середня швидкість протягування – 1,9 м/с. За низкою вимі-

рів тиску побудовано криву (рис. 5, а) зміни тиску в часі під час протягування. З графіка видно, що тиск після відкриття крана до початку протягування збільшується до 0,087 МПа, що обумовлено силою тертя спокою. Після початку протягування тиск падає до 0,074 МПа, оскільки сила тертя зменшується зі збільшенням швидкості. Далі відбуваються незначні коливання тиску з його незначним збільшенням до 0,075 МПа. В момент вильоту поліетиленової труби з кільцевих гумових манжет ущільнювальної системи відбувається різке падіння тиску до нуля, при цьому чуто звуковий сигнал – “хлопок”.

У разі збільшення нахилу сталевго трубопроводу до 30° відбувається незначне (до 0,03 МПа) збільшення тиску на початку трубопроводу порівняно з тиском, який був при горизонтальному положенні труби, протягом усього часу протягування.

Аналогічні дослідження були виконані для поліетиленової труби зовнішнім діаметром 40 мм. При об’ємній витраті повітря 0,005 м³/с час протягування склав 2,5 с, а розрахункова середня швидкість протягування – 1,64 м/с. Крива зміни тиску на початку трубопроводу під час протягування поліетиленової труби зовнішнім діаметром 40 мм наведена на рисунку 5, б. З графіка (рис 5, б) видно, що тиск після відкриття крана до початку протягування збільшується до 0,1 МПа. Після початку протягування тиск падає до 0,086 МПа. Далі відбувається незначне коливання тиску з його збільшенням до 0,09 МПа.

Основним методом регулювання швидкості протягування є зміна об’ємної витрати повітря. Для експериментального вивчення функціональної залежності середньої швидкості протягування від об’ємної витрати повітря виконано низку вимірів середньої швидкості протягу-

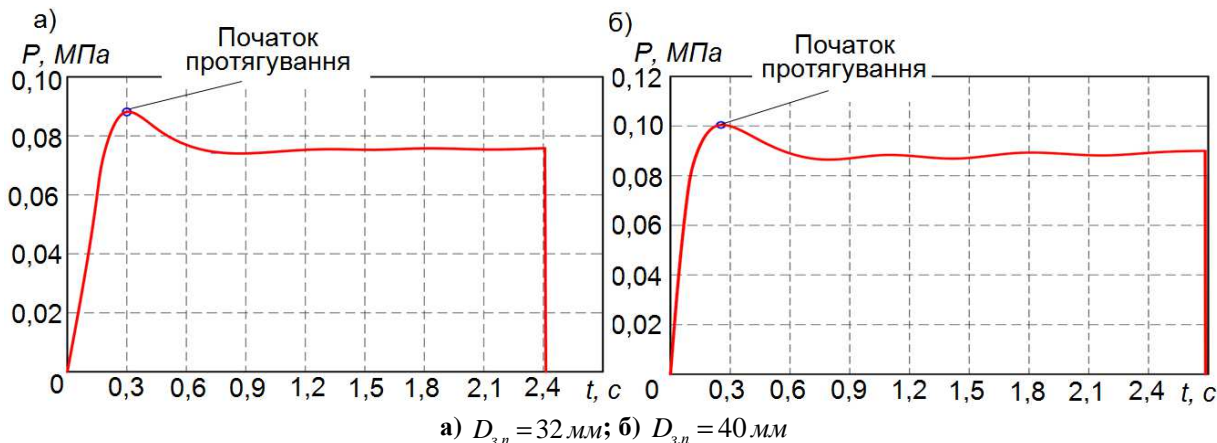


Рисунок 5 – Зміна тиску на початку трубопроводу в часі під час протягування поліетиленової труби зовнішнім діаметром 32 мм зношеною сталевгою трубою

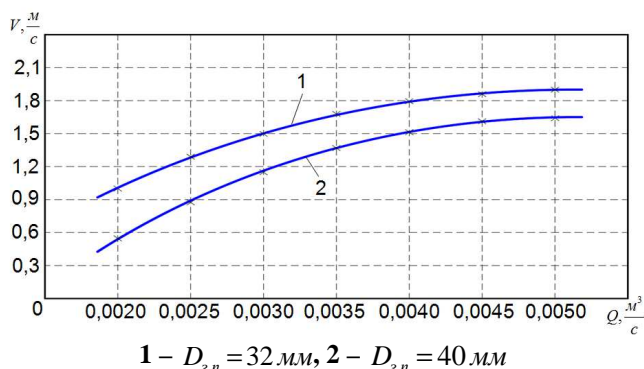


Рисунок 6 – Залежність швидкості протягування від об’ємної витрати повітря

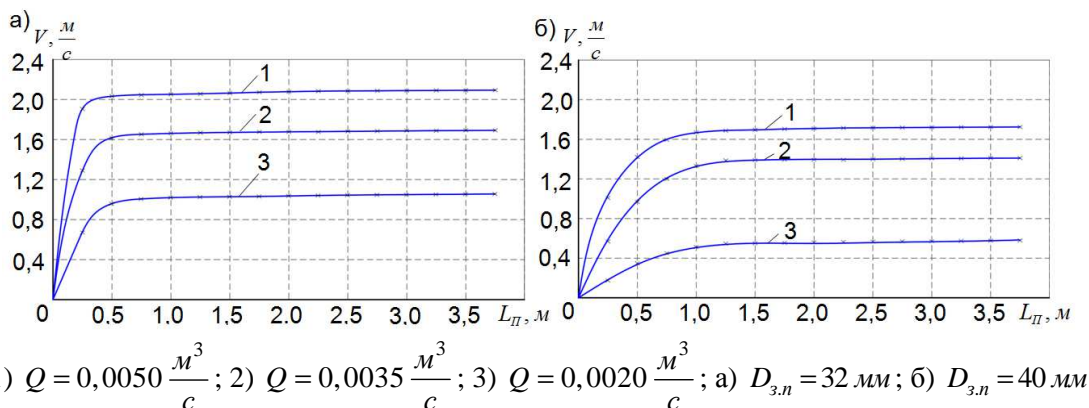


Рисунок 7 – Залежність швидкості протягування від довжини протягнутої ділянки поліетиленової труби

вання V для різних значень об’ємної витрати повітря Q , зовнішніх діаметрів протягнутого поліетиленового трубопроводу (32 мм та 40 мм). Вимірювання (для одних і тих самих значень чинників) виконано кілька разів. Середні значення результатів вимірювань подано графічно (рис. 6).

Експериментально досліджено залежність швидкості протягування поліетиленової труби зношеною сталеву трубою від довжини протягнутої ділянки поліетиленової труби. Вимірювалась швидкість протягування (фіксувався час, за який нанесені на поліетиленову трубу з кроком 0,25 м чорні позначки заходять в кільцеві гумові ущільнення (рис. 3)), при сталій об’ємній витраті.

За низкою вимірів швидкості протягування нової поліетиленової труби зношеною сталеву побудовано криві залежності швидкості протягування V від довжини протягнутої ділянки поліетиленової труби в сталеву для сталих значень об’ємної витрати. Дослідження виконувались для поліетиленових труб зовнішнім діаметром 32 мм (рис. 7, а) та 40 мм (рис. 7, б). З отриманих графічних залежностей видно, що на початковому етапі швидкість протягування різко зростає і після такого зростання стабілізується.

Висновки

Експериментально встановлено, що розроблена технологія “Тяговий поршень[®]” може застосовуватись для реконструкції трубопроводних комунікацій, а час підготовки обладнання до виконання робіт складає 1-2 хв.

Сила тертя між манжетами поршня та стінкою зношеного сталевго трубопроводу та сила тертя поліетиленової труби в манжетах ущільнювальної системи є незначними та не чинять суттєвого впливу на процес протягування. Сила тертя між одним погонним метром поліетиленової труби і сталеві є мізерною і знаходиться в межах від 1 до 2 Н, а, отже, технологією “Тяговий поршень[®]” можна реконструювати ділянки трубопроводних комунікацій значної довжини.

Експериментально визначено закономірності зміни швидкості протягування поліетиленового трубопроводу в зношений сталевий залежно від об’ємної витрати повітря.

Експериментально досліджено залежність швидкості протягування від довжини протягнутої ділянки поліетиленової труби зношеною сталеву трубою при різних об’ємних витратах повітря. Встановлено, що швидкість протягування на початку протягування різко зростає і

після такого зростання стабілізується. Так, при об'ємній витраті повітря $0,005 \text{ м}^3/\text{с}$ швидкість протягування поліетиленової труби зовнішнім діаметром 32 мм складає 2,1 м/с, а 40 мм – 1,7 м/с, що є надзвичайно великою швидкістю, і її неможливо досягти жодним з існуючих методів безтраншейної реконструкції теплогазових мереж.

Література

1 Rameil M. Handbook of pipe bursting practice / M. Rameil. – Vulkan verlag, 2007. – 351 p.

2 Lueke S. J. Rehabilitation of underground infrastructure utilizing trenchless pipe replacement [Text] / S. J. Lueke, T. S. Ariaratnam // ASCE, Practice Periodical on Structural Design and Construction. – 2001. – Vol. 6. – Issue 1. – pp. 25-34.

3 Jung J. Y. Evaluation of trenchless technology methods for municipal infrastructure system [Text] / J. Y. Jung, K. S. Sinha // ASCE, Journal of Infrastructure Systems. – 2007. – Vol. 13. – Issue 2. – pp. 144-156.

4 Wróbel G. Swagelining as a method of trenchless pipelines rehabilitation [Text] / G. Wróbel, A. Pusz, M. Szymiczek, K. Michalik // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2009. – Vol. 33. – Issue 1. – pp. 27-34.

5 Koerner R. G. Geosynthetic use in trenchless pipe remediation and rehabilitation [Text] / R. G. Koerner, M. R. Koerner // Geotextiles and Geomembranes. – 1996. – Vol. 14. – Issue 3. – pp. 223-237.

6 Дорошенко Я.В. Розроблення технології безтраншейної реконструкції трубопроводних комунікацій очисним поршнем / Я.В. Дорошенко, К.А. Поляруш, В.Б. Запукхляк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2018. – № 3 (68). – С. 12-18.

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

REFERENCES

1 Rameil M. Handbook of pipe bursting practice / M. Rameil. – Vulkan verlag, 2007. – 351 p.

2 Lueke S. J. Rehabilitation of underground infrastructure utilizing trenchless pipe replacement [Text] / S. J. Lueke, T. S. Ariaratnam // ASCE, Practice Periodical on Structural Design and Construction. – 2001. – Vol. 6. – Issue 1. – pp. 25-34.

3 Jung J. Y. Evaluation of trenchless technology methods for municipal infrastructure system [Text] / J. Y. Jung, K. S. Sinha // ASCE, Journal of Infrastructure Systems. – 2007. – Vol. 13. – Issue 2. – pp. 144-156.

4 Wróbel G. Swagelining as a method of trenchless pipelines rehabilitation [Text] / G. Wróbel, A. Pusz, M. Szymiczek, K. Michalik // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2009. – Vol. 33. – Issue 1. – pp. 27-34.

5 Koerner R. G. Geosynthetic use in trenchless pipe remediation and rehabilitation [Text] / R. G. Koerner, M. R. Koerner // Geotextiles and Geomembranes. – 1996. – Vol. 14. – Issue 3. – pp. 223-237.

6 Doroshenko Ya.V. Rozroblennia tekhnologii beztransheinoi rekonstruktsii truboprovodnykh komunikatsii ochysnym porshnem / Ya.V. Doroshenko, K.A. Poliarush, V.B. Zapukhliak // Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – 2018. – No 3 (68). – pp. 12-18.

7 Pat. 129088 Ukraina, MPK F16L 1/028. Prystrii dlia beztransheinoi rekonstruktsii truboprovodnykh komunikatsii / Doroshenko Ya.V., Poliarush K.A., Zapukhliak V.B. (Ukraina). – No 201802905; Zaiavl. 22.03.2018; Opubl. 25.10.2018, Biul. № 20. – 3 p.