

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ДІЛЯНОК ТРУБОПРОВІДІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ІЗ ЗУПИНКОЮ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРОДУКТУ

Ю. Г. Мельниченко¹, Г. Г. Мельниченко¹, Т. Я. Додик²

¹ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019 Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342)727138;

² ЛВДС «Броди» філія МН «Дружба» ПАТ «Укртранснафта»;
80600, Львівська область, Бродівський р-н, с. Смільне, урочище
(промисловий центр), буд. 6; e-mail: utmnychenko@iung.edu.ua

Проведено критичний аналіз існуючої технології звільнення від продукту ділянок магістральних нафтопроводів на суші на період ремонту та встановлено її недоліки. Проведено огляд сучасних пристроїв для перекривання порожнини магістральних нафтопроводів на період ремонту, зокрема проаналізовано переваги та недоліки кожної з розглянутих конструкцій пристроїв. На основі даного огляду запропоновано оптимальну конструкцію пристрою для перекривання порожнини ділянок нафтопроводів на суші на період ремонту.

Приведено переваги та недоліки запропонованого пристрою. Обґрунтовано необхідність моделювання руху запропонованого перекривального поршня в процесі його доставлення в місце герметизації. Сформульовано математичну модель руху перекривального пристрою вздовж магістральних нафтопроводів. Запропоновано методику розрахунку нестационарного потоку під час руху та зупинки перекривального пристрою в магістральних нафтопроводах.

Ключові слова: магістральний нафтопровід, перекривальний поршень, моделювання, нестационарний потік

Перекривання порожнини нафтопроводів є однією з основних операцій, які знаходяться в переліку обов'язкових етапів виведення ділянок магістральних нафтопроводів у ремонт. На сьогоднішній день проблема перекривання порожнини магістральних нафтопроводів на період ремонту вирішується шляхом звільнення ділянки нафтопроводу від продукту та введення в нього ущільнювального елемента для ізолювання газоповітряної суміші, яка знаходиться в нафтопроводі, від зони виконання зварювально-монтажних робіт [1,2]. Основною задачею ущільнювача є недопущення потрапляння імовірних перетоків нафти через суміжні лінійні засувки в зону виконання зварювальних робіт а також ізолювання джерела займання, яким є зона виконання зварювальних монтажних робіт, від газоповітряної суміші яка знаходиться все-

редині звільнена від ділянки нафтопроводу. В якості ущільнювача найширше практиці застосовуються глиняні пробки, які облаштовується, як правило, вручну, тобто є трудозатними, і які через імовірно низьку культуру виконання робіт характеризуються низькою надійністю. Очевидним недоліком глиняних пробок є вплив на якість продукту оскільки зайняті пробки залишаються в трубопроводі після виконання зварювального відновних робіт.

Важливим напрямом в сучасній нафтогазовій науці є розроблення сучасних технічних засобів, які могли б перейняти на себе функцію глиняних пробок. Узагальнюючи проведений огляд наявних на ринку пристроїв для перекривання порожнини трубопроводів їх можна класифікувати на два типи: пристрої які доставляються в місцях герметизації разом з продуктом та пристрої які вводяться в порожнину трубопроводу ззовні не на місці [3].

Зважаючи на значний недолік пристроїв другого типу, а саме необхідність облаштування високовартісних ріднопрохідних трійників у місті герметизації, найбільш безболісним з точки зору впливу на стінки трубопроводу та бажаним методом герметизації є використання інтелектуальних перекривальних пристроїв [4,5].

Що ж є на заваді широкого застосування даних пристроїв у практиці? Серед недоліків таких конструкцій пристроїв є їх надзвичайно висока вартість. Саме тому на практиці ці пристрої знайшли своє застосування тільки на морських ділянках трубопроводу, оскільки в даних умовах вони є безальтернативними. Для того щоб визначити причини високої вартості таких продуктів необхідно детально розглянути їхню будову.

В загальному інтелектуальні перекривальні пристрої складається з наступних блоків обладнання:

- блок гальмування/фіксації пристрою в точці герметизації;
- блок ущільнення середовища під тиском
- блок забезпечення виконавчих механізмів джерелом енергії
- блок живлення елементів керування пристроями
- блок забезпечення зв'язку системи керування пристроєм із пультом управління пристроєм на поверхні.

Існує чималий ряд обладнання в якому кожен з цих блоків знайшов свою реалізацію. Однак як свідчить результати дослідження роботи даних пристроїв у виробничих умовах такі пристрої характеризуються дуже низьким рівнем надійності спрацювання [5]. Тому проблемі забезпечення надійності та стійкості пристрою присвячено дуже багато уваги, зокрема авторами згаданої статті пропонується обладнати такі пристрої розширювальними еластичними камерами, які у разі аварійної втрати стійкості пристрою наповнюються продуктом під тиском і за рахунок цього щільно прилягають до внутрішньої стінки трубопроводу, утримуючи таким чином сам пристрій (рисунки 1).

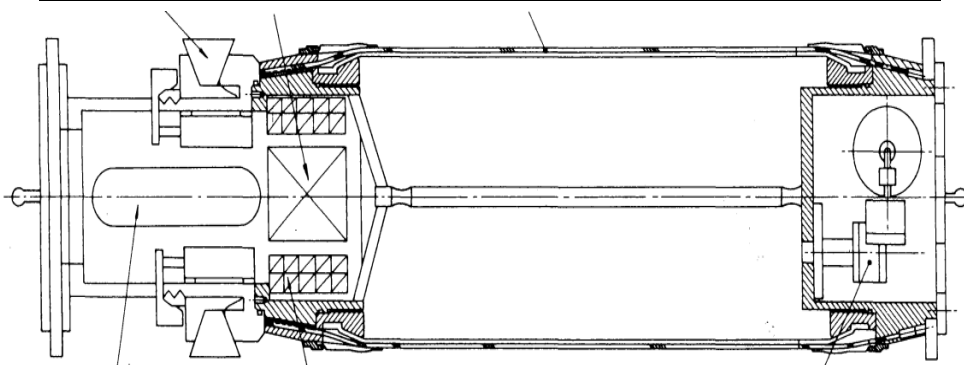


Рис. 1. Перекривальний пристрій, обладнаний еластичною камерою.

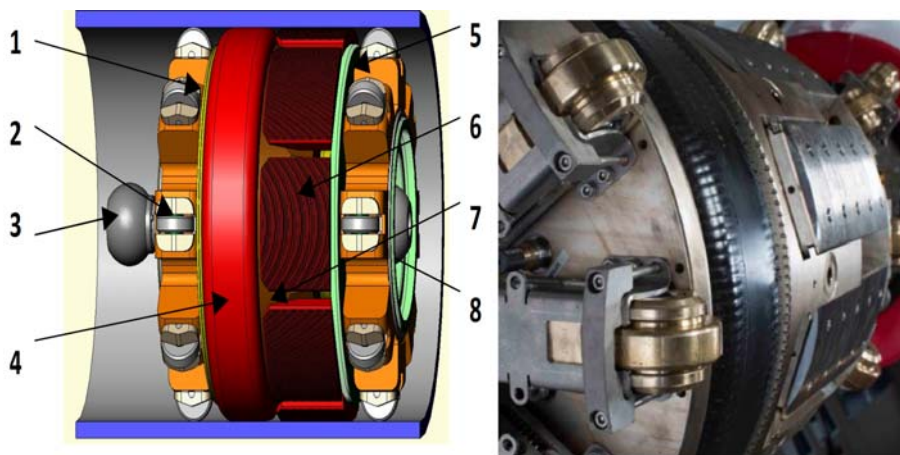
Іншим напрямком забезпечення надійності стабілізації пристрою є застосування кількох ступенів гальмування пристрою які є незалежними між собою [4,9]. Так пристрій, розглянутий в останній праці, складається з чотирьох-п'яти модулів з'єднаних між собою послідовно за допомогою шарнірних з'єднань (рисунок 2).



T.D. Williamson's SmartPlug Isolation Tool.

Рис. 2. Перекривальні пристрої, що використовуються на морських трубопроводах

Внутрішні модулі так званих ізоляційних потягів складають герметизації та гальмівні елементи (рисунок 3). Модуль герметизації позиціюється співвісно з трубопроводом за допомогою роликів опор. Гальмування здійснюється за рахунок розпирання гальмівних колодок в радіальному напрямку. Герметизація здійснюється за рахунок стискування пакера стискаючою головкою. Пакер виконаний з армованої гуми.



1 – стискаюча головка; 2 – роликові опори; 3 – шарнірне з'єднання; 4 – ущільнювальні пакер; 5 – розпираючий диск; 6 – гальмівні колодки; 7 – основа кріплення гальмівних колодок; 8 – мікрогідроліка живлення виконавчих механізмів.

Рис. 3. Модуль герметизації та гальмування перекривання пристрою

Подібна конструкція пристроїв випускається кількома європейськими та американськими виробниками і, як свідчить практика, успішно себе показали у виробничих умовах. Однак на суші дані пристрою не знайшли своє застосування з огляду на їх високу вартість. Найбільша частка сумарної вартості пристрою зумовлена його повною автономністю. Однак дана властивість не є обов'язковою на суші.

Останнім часом з'явилося кілька розробок які поєднують в собі переваги інтелектуальних перекривання поршнів та водночас не є повністю автономний. Зокрема в наступній праці розглянуто перекривальний пристрій, робота якого активізується шляхом виконання в просторі врізки через яку здійснюється зниження тиску в середовищі які герметизуються [6] (рисунок 4). Такі маніпуляції є свого роду втручання в роботу пристрою ззовні та керування ним. Дана ідея використана авторами

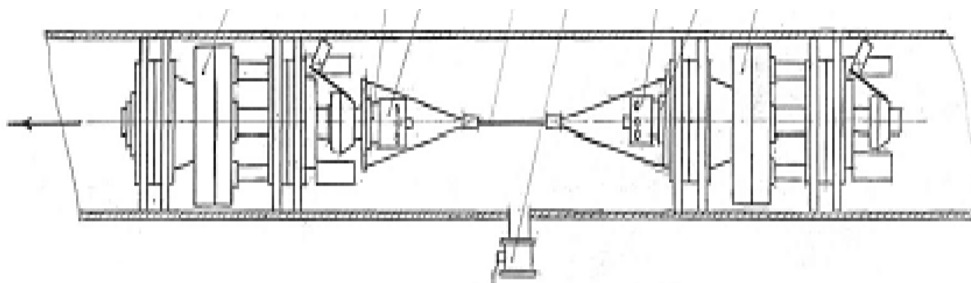


Рис. 4. Конструкція перекривального пристрою, що керується фізично ззовні

даної статті для розроблення пристрою для герметизації порожнини трубопроводу, що активізується із отвору малого діаметру, виконаного врізкою в трубі під тиском [7, 8]. Згідно технології отвір стінці труби виконується після гальмування пристрою та зупинки перекачування нафти. При цьому важливим етапом такої технології повинно стати прогнозування положення пристрої після зупинки перекачування нафти у місці герметизації.

Таким чином, **метою даного дослідження** є розроблення методу прогнозування положення перекирванльного пристрою після зупинки перекачування продукту.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати кілька етапів. Першим етапом є побудова загальної математичної моделі руху пристрою разом з потоком продукту праці вигляд моделі в формі помірного потоку в часткових похідних для нафти що рухається нафтопроводі рівняння руху продукту мають в загальному наступний вигляд [10]

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -v \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\xi |v|}{2D} M - \rho \frac{\pi D^2}{4} g \frac{dz}{dx}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{\pi D^2 / 4} \frac{1}{c^2} \frac{\partial M}{\partial x}, \quad (2)$$

де M – масова витрата продукту; v – осереднена швидкість по перерізу потоку; D – внутрішній діаметр трубопроводу; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору; ρ – густина продукту; g – прискорення вільного падіння p – тиск в продукту; c – швидкість поширення звукових хвиль в рідині; x , z – відповідно поздовжня горизонтальна та вертикальна координата осі трубопроводу; t – час.

Для потоку продукту в якому рухається поршень система рівнянь (1-2) повинна бути доповнена законом збереження руху, записаного для поршня у наступному вигляді

$$m \frac{dV_{порш}}{dt} = (p_1 - p_2) \cdot A - m \cdot g \cdot \sin \beta - F_k(V_{порш}), \quad (3)$$

де m – маса пристрою, що рухається у потоці продукту; $V_{порш}$ – швидкість руху пристрою; p_1 і p_2 – відповідно тиск до та після пристрою за напрямком руху пристрою; β – кут нахилу осі трубопроводу до горизонту; A – площа поперечного перерізу трубопроводу; F_k – контактна сила між манжетами та опорами пристрою і стінкою трубопроводу.

Контактна сила визначається багатьма факторами і є предметом досліджень великого ряду вітчизняних та закордонних вчених. В загальному вона визначається за наступною залежністю

$$F_k = 2 * (-S_x + F_{дин}) - S_{const}, \quad (4)$$

де S_{const} – постійна складова контактної сили, зумовлена тертям роликів об стінки трубопроводу в процесі руху пристрою; $F_{дин}$ – ди-

намічний вплив потоку рідини на пристрій внаслідок обтікання рідиною очисного поршня; S_x – сила тертя пристрою об стінки трубопроводу.

Для визначення останньої пропонується використати напрацювання проф. Грудза В. Я. [11]

$$\frac{S_x}{S_0} = \exp(-\mu^n (1 - \Theta V) \cdot x \cdot 10^{-5}) \quad (5)$$

де S_0 , S_x – значення сили тертя ущільнюючих елементів очисного пристрою відповідно перед продувкою і після проходження пристроєм відстані x , м; μ – відповідно абсолютна в'язкість рідини; Θ , n – постійні коефіцієнти, що залежать від типу очисного пристрою.

Враховуючи факт, що частина рідини буде перетікати через манжети очисних пристроїв симуляція роботи цілого нафтопроводу повинна враховувати це перетікання. При цьому ключовою повинна бути залежність для витрати продукту через манжети очисних пристроїв, яку пропонується визначати за працею [12]

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \left(\frac{\delta^2}{12 \cdot \mu} \cdot \frac{\Delta p}{L} - \frac{\delta}{2} \cdot V_{порш} \right) \quad (6)$$

де R – внутрішній радіус трубопроводу; μ – динамічна в'язкість рідини; L – довжина пристрою; $\Delta p = p_1 - p_2$.

В загальному, систему рівнянь (1)–(2) пропонується розв'язувати методом кінцевих різниць із застосуванням явно-неявної схеми розбиття [13]. При цьому на кожному кроці по часу під час розрахунку всієї системи приймаємо припущення про те, що перекривальний пристрій рухається по трубопроводу зі сталою швидкістю за наявного перепаду тиску на пристрої.

Для окремого моменту часу шуканими величинами для пристрою є перепад тиску на пристрої та швидкість руху самого пристрою. Для визначення даних невідомих скористаймося системою рівнянь (3)–(6).

Розв'язування згаданої системи рівнянь авторами пропонується здійснювати наступним чином. Ділянка нафтопроводу, по якій рухається інтелектуальний перекривання і пристрій, розбивається на дві: до та після пристрою. Для поточного моменту часу визначається відстань яку проходить поршень з наявною на даний момент швидкістю за умовно вибраний крок Δt . Протягом цього проміжку часу умовно вважаємо пристрій нерухомим. Однак для даного моменту часу наявність самого пристрою є джерелом нестационарності на обох ділянках до та після пристрою. Тому крок часу Δt розділяється на внутрішні кроки Δt з якими здійснюється розрахунок нестационарного розподілу гідродинамічних параметрів по довжині і в часі на обох ділянках.

При переході на новий крок по часу Δt положення пристрою змінюється на крок по довжині $V_{пиг} \cdot \Delta t$. Відповідно довжина ділянки до

пристрою збільшується, а після пристрої – зменшується на цю ж величину.

Для наступного кроку по часу Δt розв'язується крайова задача для обох ділянок з кроком по часу Δt та початковими умовами, що дорівнюють результату нестационарного розрахунку на попередньому кроці часу Δt . При цьому граничною умовою для ділянки що знаходиться позаду пристрою стане масова витрата, яка дорівнює

$$M_{кин}^{I \text{ oil}} = V_{порш} \cdot A + Q; \quad (7)$$

а граничною умовою для пристрою попереду пристрою буде тиск на вході ділянки, який дорівнює

$$P_{поч}^{II \text{ oil}} = P_{кин}^{I \text{ oil}} - \Delta p \quad (8)$$

Даним методом можна спрогнозувати нестационарний рух очисного пристрою по магістральному нафтопроводу залежно від граничних умов цілого нафтопроводу. Таким чином ми можемо змоделювати зупинку нафтопроводу та реакцію перекривального пристрою на таку зупинку.

Очевидно, що даний метод варто реалізувати в програмному середовищі та отримати відповідний результат.

Література

1. Регламент по вырезке и врезке "катушек" соединительных деталей, заглушек, запорной и регулирующей арматуры и подключению участков магистральных нефтепроводов: РД 153-39.4-130-2002. – [чинний від – 2002-09-05]. – М., Транснефть, 2002. – 156 с.
2. Oil and gas pipeline systems: Z662-15. – [чинний від – 2015-06]. – Toronto, Ontario, Canada, CSA Group, 2015. – 670 с.
3. Мельниченко Ю.Г. Розрахунок форми поверхні гумової манжети перекривального пристрою, яка притискається до внутрішньої поверхні труби // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – 1(54). – с. 41-49
4. Aleksandersen, J., & Tveit, E. (). Remotely Controlled Pipeline Isolation System. // International Society of Offshore and Polar Engineers. International Offshore and Polar Engineering Conference Seattle, USA. – 2000. – May 28-June 2 – с. 115-119. [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/ISOPE-I-00-129?id=conference-paper%2FISOPE-I-00-129>
5. Towers-Perkins, P., Luff, R.E., & Patel, K. A Piggable Intervention Plug. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/SPE-19275-MS. – (1989, January 1).
6. Пат. 111921 Україна, МПК (2006.01) F16L 55/18. Пристрій для перекриття трубопроводу / І.В. Гнатюк, М.О. Майданович, А.І. Гнатюк, М.Р. Овчінніков (UA). – № а201504593; заявл. 12.05.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

7. Додик Т.Я. Встановлення передумов забезпечення герметичності магістральних нафтопроводів на період ремонту їх ділянок з використанням тимчасового перекриваючого пристрою / Т.Я. Додик, Ю.Г. Мельниченко, Г.Г. Мельниченко [та ін] // Нафтогазова галузь України: наук.-вироб. журн. – 2017. – №6. – с. 19-21.
8. Додик Т.Я. Обґрунтування допустимості застосування технології локалізації ділянок магістральних нафтопроводів за допомогою перекиривальних пристроїв / Т.Я. Додик, Ю.Г. Мельниченко, Г.Г. Мельниченко [та ін] // Прикарпатський вісник НТШ: Число. – 2017. – Випуск 4 – с. 121-125.
9. Midlife enhancement, without the crisis. Pipeline isolation allows for safe installation of accommodation and control modules on Yolla platform // THE AUSTRALIAN PIPELINER. – 10/2014. – с. 96. [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://info.tdwilliamson.com/hubfs/Article/PAPER-Article-ISO-NII-SmartPlug-YollaPlatformMidlifeEnhancement201410.pdf>
10. F. Esmailzadeh, D. Mowla, and M. Asemani, Shiraz U. Modeling of Pig Operations in Natural Gas and Liquid Pipeline // SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, U.S.A., 24–27 September 2006. [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-102049-MS?id=conference-paper%2FSPE-102049-MS>.
11. Ковалко М.П. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків, Д.Ф. Тимків, Л.С. Шлапак, О.М. Ковалко; За редакцією М.П. Ковалка. – Київ: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. – 600 с.
12. Simple Hydrodynamic Models for the Prediction of Pig Motions in Pipelines / L.F.A. Azevedo, A.M.V. Braga, A.O. Nieckele, and M.F. Naccache, // Offshore Technology Conference held in Houston Texas, 69 May 1996. [Електронний ресурс]. Режим доступу – <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/OTC-8232-MS?id=conference-paper%2FOTC-8232-MS>
13. Мельниченко Ю.Г. Особливості розв'язування крайової задачі при розрахунку нестационарних неізотермічних потоків в магістральних газопроводах / Мельниченко Ю.Г., Тимків Д.Ф. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007 – 1(22). с. 27-29.

Стаття надійшла до редакційної колегії 13.12.2018 р.

Рекомендовано до друку д.т.н., професором Грудзом В.Я., д.т.н., професором Говдяком Р.М. (м. Київ)

**CURRENT STATE AND PROBLEMS CONCERNING
LOCALISATION TECHNOLOGIES OF OIL PIPELINES
FOR THEIRS REPAIR WITH TERMINATION
OF OPERATING**

Y. G. Melnychenko¹, G. G. Melnychenko¹, T. Y. Dodyk²

¹ *Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas;*

76019 Ivano-Frankivsk, Karpatska str. 15; tel: (0342)727138

² *LVDS «Brody» branch MN «Druzhba» PJSC «Ukrtransnafta»;*

*80600, Lviv region, Brody distr., village of Smilne, urochyshe Promyslovy
centr, 6; e-mail: ymelnychenko@nung.edu.ua*

The critical analysis of current technology of onshore oil pipeline sections releasing from product for theirs repair are undertaken. Its shortcomings are established. The overview of modern plugging devices for oil pipelines sections localization while being repaired is provided, in particular the advantages and disadvantages of each considered one were analyzed. On the basis of this review an optimal plugging pig construction for oil pipeline sections isolation is proposed.

The advantages and disadvantages of the proposed device are given. The necessity of simulation of plugging pigs motion in the pipeline is proved. The mathematical model of the plugging device movement along the main oil pipelines is formulated. The methodology of transient flow calculation during plugging pigs motion and stopping in the oil pipeline was proposed.

Key words: *main oil pipeline, plugging pig, simulation, transient flow.*