

УДК 622.691.4

Тимків Д.Ф., Горін П.В., Романова В.В.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ ШЛЕЙФІВ СВЕРДЛОВИН

**Мета.** Метою даної роботи є отримання моделі руху еластичного полімерного поршня через порожнину шлейфа свердловини і визначення періодичності очистки діючих шлейфів.

**Методи дослідження.** Формування фізичної моделі поршня із полімерного матеріалу з густиною, необхідною для його руху у вигляді пробки, що виштовхуватиме накопичену рідину із внутрішньої порожнини трубопроводу різного призначення. Фізичне моделювання протягом обраного періоду процесу руху пружно-полімерної композиції з 1,5 % вмістом полімеру, яку для надання їй форми розміщено в нещільному синтетичному матеріалі, через порожнину моделі шлейфу свердловини, змонтовану з скляних труб малого діаметру.

**Наукова новизна.** Експериментально отримано рівняння регресії, що описує час проходження поршня через порожнину модельного трубопроводу, дані якої апроксимовано для фактичних умов експлуатації шлейфів свердловин. Впровадження запропонованої моделі на діючих шлейфах свердловин автоматизує процес їх періодичної очистки від накопичених забруднень різних типів за рахунок отримання часових моделей відкриття відповідної запірної арматури на блоці вхідних ниток від шлейфів свердловин на установку.

**Практична значимість.** Зменшення виробничо-технологічних витрат на продування шлейфів свердловин від накопичених забруднень рідинного та суспендованого типу, підвищення обсягів вилучення вуглеводневої продукції з свердловин для родовищ, що розробляються в газовому режимі на виснаження при низькому робочому тиску, підвищення надійності експлуатації газозбірних мереж в цілому за рахунок нівелювання впливу чинника можливих залпових перерозподілів рідини в системі «гирло свердловини – шлейф – установка підготовки газу». Крім того, оскільки для газоконденсатних родовищ одним із основних забрудників є вуглеводнева рідина, впровадження заходу дозволить підвищити обсяги відокремлення суміші легких вуглеводнів в сепараційному обладнанні установок попередньої і комплексної підготовки газу.

**Результати.** Зменшення обсягів втрат природного газу під час його видобування, збору і підготовки, зменшення імовірності виникнення аварійних ситуацій, збільшення обсягів видобутку газу.

**Постановка проблеми та стан її дослідження.** Найчастіше стабілізація видобутку природного газу передусім пов'язана із пошуком резервів робочого тиску свердловин, варіації зменшення величини якого дозволять збільшити різницю між пластовим тиском та тиском на гирлі свердловини, викликаючи додатковий приплив газу. З цією метою вводяться в експлуатацію дотискувальні компресорні станції, знаходяться та залучаються до низьконапірної мережі газопостачання нові потужні споживачі природного газу, очищуються газопроводи та шлейфи свердловин, замінюється обладнання ус-

тановок збору і підготовки газу, удосконалюється сам процес підготовки газу тощо [1]. Будь-який із перелічених заходів спрямовано на зниження величини робочого тиску свердловин. Але слід зважати і на процес перерозподілу мас рідини та інших типів забруднень в ланках системи «свердловина – шлейф – установка збору і підготовки газу – промисловий газопровід», що постійно змінює втрати тиску на транспортування газу власного видобутку, негативно позначаючись на величині робочого тиску свердловин родовища [2].

На даний момент операції по звільненню від накопичених стовпів рідини в порожнині ліфтових труб та шлейфах проводяться [3]:

- 1) продуванням трубного простору свердловини;
- 2) продуванням затрубного простору свердловини;
- 3) закачуванням піноутворювача ПАВ типу «Сольпен» з подальшим продуванням;
- 4) продуванням шлейфу на геологічний сепаратор на установку збору і підготовки газу;
- 5) очистка шлейфів за допомогою пін (поодинокі випадки);
- 6) розріз труби із втручанням газу в атмосферу;
- 7) закачуванням метанолу (в умовах гідратування).

Переважає більшість із цих заходів призводить до простого перерозподілу мас рідини між ділянками системи, адже під час продувки (або створення умов для високошвидкісного газового потоку) зменшення об'єму рідинної пробки відбувається лише до якогось певного нормального значення. При цьому чим довше експлуатується свердловина, чим менший тиск на гирлі свердловини, чим менша її потужність, тим менше можливості впливати на її локацію за допомогою високошвидкісного потоку газу.

Застосування піноутворювачів для створення та подальшого проштовхування під дією робочого тиску свердловини або компресорним способом пінної пробки вимагає визначених параметрів очистки (щонайменше стабільну без суттєвих коливань лінійну швидкість руху пінної пробки (поршня) в межах 2–4 м/с), що відповідатиме її цілісності і роботі в якості проштовхуючого поршня [4].

Зважаючи на те, що на даний момент в галузі немає ефективного методу підвищення ефективності роботи шлейфів та зниження негативного впливу забруднень рідинного та твердого типу на величину робочого тиску свердловин на завершальній стадії експлуатації, ми пропонуємо в якості технічного рішення розробку пружного рідинного поршня та технології очистки шлейфів свердловин за його допомогою.

У статті представлені результати експериментальних досліджень процесу очищення шлейфу свердловини за допомогою еластичних полімерних поршнів з саморуйнуючою оболонкою. Розраховано і апроксимовано до реальних умов експлуатації час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу і обсяг забруднень, що видаляються з шлейфу в процесі очищення.

Вибір чинників для дослідження стійкості пружно-полімерної композиції та характеру її роботи в порожнині шлейфу має в першу чергу базуватися на апріорній інформації, тобто інформації, що базується на власному досвіді дослідників. Саме тому перед дослідженням характеру очистки внутрішньої порожнини шлейфів свердловин за допомогою пружно-полімерної композиції дослідниками виконано попередні (апріорні) дослідження.

Метою даної роботи є отримання моделі руху еластичного полімерного поршня через порожнину шлейфа свердловини і визначення періодичності очистки діючих шлейфів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати дві основні задачі:

1. Створення фізичної моделі поршня із полімерного матеріалу з густиною, необхідною для його руху у вигляді пробки, що виштовхуватиме накопичену рідину із внутрішньої порожнини трубопроводу різного призначення.

2. Постановка експерименту на фізичній моделі для визначення часу проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу шлейфа.

**Методика проведення досліджень.** Для практичної реалізації поставлених задач виготовлено пружно-полімерні композиції наступного складу. В таблиці 1 представлено характер поведінки композиції в порожнині моделі шлейфу, що визначено під час проведення попередніх експериментальних досліджень

Таблиця 1 – Характеристика полімерів, які використано для створення пружно-полімерної композиції

№	Полімерна композиція, мас. %.	Густина, кг/м <sup>3</sup>	В'язкість за Брукфільдом, СПз	Характер поведінки композиції
1	0,5	1025	86	Руйнується під дією газового потоку, поводить себе як рідина
2	1,0	1030	92	Руйнується під дією газового потоку, розпадається на частини, що переміщуються через внутрішню порожнину труби
3	1,5	1030	99	Частково зберігає форму, веде себе як пробка
4	2,0	1035	104	Поводить себе як не ньютонівська рідина, розпадається на окремі желеподібні частини
5	2,5	1040	116	Розпадається на окремі желеподібні частини, погано переміщується у внутрішній порожнині

За характером поведінки для подальших досліджень обрано зразок №3, але оскільки під дією потенціальної енергії газу, композиція втрачає форму прийнято рішення використати допоміжні засоби для сприяння композиції поводити себе в якості суцільного об'єкту (поршня) в порожнині шлейфа.

В якості допоміжних засобів використано такі речовини і об'єкти, таблиця 2. Характер поведінки допоміжних засобів досліджено на найбільш екстремальних режимах з точки зору розробки родовищ на завершальній стадії (низький робочий тиск, величина якого прямує до атмосферного, низький дебіт, що відповідає швидкості руху газу до 0,5 м/с).

Отже, виходячи із аналізу апріорної інформації та попередніх досліджень, під час планування експериментальних досліджень використано об'єкт досліджень: пружно-полімерна композиція з 1,5 % вмістом полімеру, яку розміщено в нещільному синтетичному матеріалі, що руйнується за певний проміжок часу, для надання композиції форми.

Таблиця 2 – Допоміжні засоби для пружно-полімерної композиції

№	Назва	Характер застосування	Характер поведінки під час руху	Забезпечення надання композиції форми
1	Самоущільнювальна манжета	Розміщується перед композицією і діє в якості поршня під впливом тиску газу	Застригає в запірній (нерівно прохідній) арматурі та в місцях ущільнень та переходів	частково забезпечує
2	Поршень губкового або поролонового типу	Те саме	Застригає в місцях ущільнень та місцевих звужень	частково забезпечує
3	Оболонка із нещільного синтетичного матеріалу	Пружно-полімерна композиція розміщується в оболонку після чого запасовується через вузол вводу в порожнину моделі шлейфу	Рухається без зупинок через порожнину шлейфу, не застригає, під час руху частки композиції проходять через нещільності матеріалу змащуючи стінки труби і забезпечуючи гладкостінний рух моделі	забезпечує

Відповідно до програми та методики проведення експериментальних досліджень завданням математичного моделювання є визначення:

– часу проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу, с;

– коефіцієнта очистки порожнини труби від накопичених забруднень.

За результатами проведення експерименту необхідно знайти математичну модель об'єкта дослідження, під якою розуміють рівняння, що зв'язує показники процесу з чинниками, що діють на нього  $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Для випадку, що розглядається:

$$t = f(V_{забр}, q, \rho_{забр}),$$

де  $t$  – час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу, с;  $V_{забр}$  – об'єм забруднень різного типу в порожнині трубопроводу,  $dm^3$ ;  $q$  – продуктивність свердловини,  $dm^3/c$ ;  $\rho$  – густина забруднень,  $kg/dm^3$ .

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження спрямовано на отримання рівняння регресії, що адекватно описує вплив усіх значимих чинників на функцію відгуку із найменшою похибкою [5].

Час проходження пружно-полімерної композиції через внутрішню порожнину трубопроводу із гладкою поверхнею внутрішньої стінки труби за результатами експериментальних досліджень можна описати регресійною моделлю, що має наступний вигляд

$$\frac{t}{l} = 16,24 - 0,81\omega(q) + 0,84V_{забр} + 0,85\rho_{забр}, \text{ (с/дм)}. \quad (1)$$

В цьому рівнянні швидкість руху газового потоку в трубопроводі регулювалась за допомогою крану в кінцевій точці шляхом його відкриття-закриття.

В реальних умовах експлуатації, зокрема шлейфів свердловин, лінійна швидкість газу залежить від режиму роботи свердловини (робочого тиску, температури і дебіту), а також від технічної характеристики труби [6]:

$$\omega = \frac{q}{F} \cdot \frac{z \cdot T \cdot P_0}{P \cdot z_0 \cdot T_0} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1,033 \cdot q \cdot z \cdot T}{1 \cdot 273,15 \cdot P \cdot d^2} = 5,575 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2}, \text{ (дм/с)}, \quad (2)$$

де  $P_0, T_0, z_0$  – тиск, температура і коефіцієнт стиснення газу в нормальних умовах;  $P, T, z$  – тиск (кгс/см<sup>2</sup>), температура (К) і коефіцієнт стиснення газу в реальних умовах експлуатації;  $q$  – дебіт свердловини, тис. м<sup>3</sup>/добу.

Об'єм забруднень, що накопичено в трубопроводі запишемо, як [7]:

$$V_{забр} = a \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \text{ (дм}^3\text{)}, \quad (3)$$

де  $D, L$  – геометричні параметри шлейфа: внутрішній діаметр і довжина, відповідно, дм;  $a$  – прийемо як коефіцієнт, що характеризує ступінь заповнення геометричного об'єму газопроводу рідиною, і визначається за формулою:

$$a = 0,2513 - 0,2099E - 0,09083i + 0,641875(1 - E)(1 - i), \quad (4)$$

де  $E$  – коефіцієнт гідравлічної ефективності шлейфа, частки одиниці;  $i$  – гідравлічний похил висхідних ділянок шлейфа свердловини до горизонту, рад.

Реальний час проходження 1 дм через порожнину обраного для експериментальних досліджень трубопроводу із гладкою внутрішньою поверхнею становив:

$$t = (16,24 - 0,81\omega(q) + 0,84V_{забр} + 0,85\rho_{забр}) / 60,30, \text{ (с)}. \quad (5)$$

Згідно із результатами звіту про проведення експериментальних досліджень час проходження через внутрішню порожнину трубопроводу із жорсткою стінкою, опір якої моделювався шляхом розміщення певного об'єму бориту в трубі, збільшується вчетверо. Враховуючи це, та підставляючи формули (2) і (3) в формулу (5) отримуємо час проходження пружно-полімерної композиції через його порожнину для шлейфа певної довжини, дотримуючись критеріїв подібності:

$$t = \frac{2}{3} \cdot L \cdot (16,24 - 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 210 \cdot a \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}), \text{ (с)}, \quad (6)$$

де  $L$  – довжина шлейфа свердловини, м;  $q$  – дебіт свердловини, тис.м<sup>3</sup>/добу;  $z$  – коефіцієнт стиснення газу, для інженерних або оціночних розрахунків – 0,96;  $T$  – температура газового потоку, К;  $P$  – тиск в досліджуваному перерізі шлейфу, для інженерних розра-

хунків – середній тиск в шлейфі свердловини [8], кгс/см<sup>2</sup>;  $d$  – внутрішній діаметр шлейфа свердловини, м;  $\rho_{\text{забр}}$  – густина забруднень в порожнині трубопроводу (для оціночних розрахунків: для газових родовищ – вода густиною 1000 кг/м<sup>3</sup>, для газоконденсатних і нафтових родовищ – конденсат або багатофазова суміш з густиною – від 680 до 840 кг/м<sup>3</sup>, для родовищ на завершальній стадії експлуатації із наявністю в забрудненнях значної маси твердих домішок (глини, піску) зважених в потоці рідини – глинисто-водяна суспензія густиною 1100 кг/м<sup>3</sup>) [9].

Формула (6) дає змогу оцінити час проходження полімерно-пружної композиції в якості очисного поршня від гирла свердловини до блоку вхідних ниток на УКПГ, враховуючи рельєф траси шлейфа, забруднення його внутрішньої порожнини і їх тип та режим роботи свердловини, що в підсумку дасть змогу вчасно закрити засувку на вході свердловини в УКПГ і відкрити засувку для продувки на амбар, в якому уловлюватимуться залишки забруднень і поршень. Час саморуйнування оболонки для пружно-полімерної композиції має бути не меншим за розрахований час за рівняннями регресії.

Ефективність заходів з очистки внутрішньої порожнини шлейфа свердловини за допомогою пружно-полімерної композиції оцінюють за коефіцієнтом очистки шляхом порівняння даних про гідравлічну ефективність шлейфа до і після проведення очисних операцій [2]:

$$k_{\text{оч}} = \frac{V_{\text{забр}}^{\text{до}} - V_{\text{забр}}^{\text{після}}}{V_{\text{забр}}^{\text{до}}}, \quad (7)$$

де  $V_{\text{забр}}^{\text{до}}$ ,  $V_{\text{забр}}^{\text{після}}$  – розрахунковий об'єм забруднень до і після проведення операцій по очистці шлейфа свердловини, що визначається за формулою (3) [7] відповідно до гідравлічної ефективності та рельєфу місцевості [10].

Таким чином, у статті представлені результати експериментальних досліджень процесу очищення шлейфу свердловини за допомогою еластичних полімерних поршнів з саморуйнуючою оболонкою. Розраховано і апроксимовано до реальних умов експлуатації час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу і обсяг забруднень, що видаляються з шлейфу в процесі очищення.

**Висновки.** Технічним результатом застосування запропонованого способу очистки внутрішньої поверхні трубопроводів є зменшення втрат тиску між гирлом свердловини та установкою збору і підготовки газу, між іншими об'єктами газозбірної системи за рахунок досягнення високої ефективності очистки, що в підсумку призводить до збільшення пропускної здатності системи і можливості нарощування обсягів видобутку газу з родовищ.

Метод може отримати широке впровадження в Україні, де понад 80 % родовищ знаходяться на завершальній стадії розробки, розробляються на виснаження в газовому режимі із постійними зниження величини робочого тиску. Із плином часу саме втрати тиску в наземній частині стають визначальними для подовження терміну розробки родовища, можливості укрупнення об'єктів збору шляхом вибору оптимального місця встановлення дотискувальних компресорних станцій тощо. Наступним етапом в реалізації моделі є розробка технології її реалізації на діючих промислах із можливістю автоматизованого процесу запасування і приймання полімерних поршнів на гирлі свердловини і блоці вхідних ниток установок.

Література

1. Разработки и эксплуатация нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений / [Ш.К. Гиматудинов, И.И. Дунюшкин, В.М. Зайцев та ін.]. – Москва: Недра, 1988. – 302 с. – (Учебник для ВУЗов).
2. Зниження втрат тиску в системі газопроводів як один із чинників збільшення обсягів видобутку газу на родовищах / І.І. Капцов, С.О. Саприкін, М.І. Братах, В.Є. Співак. // Нафтова і газова промисловість. – 2009. – №2. – С. 58–59.
3. Бойко В.С. Довідник з нафтогазової справи / В.С. Бойко, Р.М. Кондрат, Р.С. Яремійчук., 1996. – 620 с. – (Львів).
4. Капцов И.И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах / И.И. Капцов. – Москва: Недра, 1988. – 160 с.
5. Братах М.І. Динаміка рідинних формувань в порожнині міжпромислового газопроводу / М.І. Братах, І.М. Рузіна, А.В. Соболева. // Питання розвитку газової промисловості України. – 2009. – №37. – С. 287–293.
6. Довідник працівника нафтогазового підприємства / [В.В. Розгонюк та ін.], – Київ: Росток, 2001. – 1092 с.
7. Братах М.І. Спосіб визначення об'єму забруднень в порожнині газопроводів, що транспортують газ власного видобутку / Михайло Іванович Братах. // Збірник наукових праць «ДП Науканафто-газ». – 2007. – №5. – С. 628–634.
8. Дячук В.В., Бікман Є.С., Кисельова С.О. Проектування розробки і облаштування газових (газоконденсатних) родовищ: Навчальний посібник / За заг. ред. докт. техн. наук, професора Редько О.Ф. – Харків, БУРУНіК, 2009. – 304 с.
9. СОУ 09.1-30019775-246:2015 Методика визначення гідравлічного стану газопроводів системи збору та транспортування газу з родовищ ПАТ «Укргазвидобування»: наказ ПАТ «Укргазвидобування» № 347 від 05.10.2015 р. – 39 с.
10. Дячук В.В. Основи розробки та облаштування родовищ природних газів: Навчальний посібник/ За заг. ред. докт. геол.-мінер. наук, проф. Лур'є А.І. – Харків, ПП ФО Кирилук Н.В., 2005. – 120 с.

Bibliography (transliterated)

1. Razrabotki i ehkspluataciya neftyanyh, gazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij / [SH.K. Gimatudinov, I.I. Dunyushkin, V.M. Zajcev ta in.]. – Moskva: Nedra, 1988. – 302 p. – (Uchebnik dlya VUZov).
2. Znizhennya vtrat tisku v sistemi gazoprovodiv yak odin iz chinnikiv zbil'shennya obsyagiv vidobut ku gazu na rodovishchah / I.I. Kapcov, S.O. Saprikin, M.I. Bratah, V.Є. Spivak. // Naftova i gazova promislovist'. – 2009. – №2. – P. 58–59.
3. Bojko V.S. Dovidnik z naftogazovoї spravi / V.S. Bojko, R.M. Kondrat, R.S. YAremijchuk., 1996. – 620 p. – (L'viv).
4. Kapcov I.I. Sokrashchenie poter' gaza na magistral'nyh gazoprovodah / I.I. Kapcov. – Moskva: Nedra, 1988. – 160 p.
5. Bratah M.I. Dinamika ridinnih formuvan' v porozhnini mizhpromisloвого gazoprovodu / M.I. Bratah, I.M. Ruzina, A.V. Soboleva. // Pitannya rozvitku gazovoї promislovosti Ukraїni. – 2009. – №37. – P. 287–293.
6. Dovidnik pracivnika naftogazovogo pidpriemstva / [V.V. Rozgonyuk ta in.], – Kiїv: Rostok, 2001. – 1092 p.

7. Bratah M.I. Sposib viznachennya ob'emu zabrudnen' v porozhnini gazoprovodiv, shcho transportuyut' gaz vlasnogo vidobutku / Mihajlo Ivanovich Bratah. // Zbirnik naukovih prac' «DP Naukanafto-gaz». – 2007. – №5. – P. 628–634.

8. Dyachuk V.V., Bikman Є.S., Kisel'ova S.O. Proektuvannya rozrobki i oblashtuvannya gazovih (gazokondensatnih) rodovishch: Navchal'nij posibnik / Za zag. red. dokt. tekhn. nauk, profesora Red'ko O.F. – Harkiv, BURUNiK, 2009. – 304 p.

9. SOU 09.1-30019775-246:2015 Metodika viznachennya gidravlichnogo stanu gazoprovodiv sistemi zboru ta transportuvannya gazu z rodovishch PAT «Ukrgazvidobuvannya»: nakaz PAT «Ukrgazvidobuvannya» № 347 vid 05.10.2015. – 39 p.

10. Dyachuk V.V. Osnovi rozrobki ta oblashtuvannya rodovishch prirodnih gaziv: Navchal'nij posibnik/ Za zag. red. dokt. geol.-miner. nauk, prof. Lur'e A.I. – Harkiv, PP FO Kirilyuk N.V., 2005. – 120 p.

УДК 622.691.4

Тымкив Д.Ф., Горин П.В., Романова В.В.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ШЛЕЙФОВ СКВАЖИН**

В данной работе экспериментально получено уравнение регрессии, которое описывает время прохождения эластичного полимерного поршня через полость модельного трубопровода, данные которого аппроксимированы для фактических условий эксплуатации шлейфов скважин. Внедрение предложенной модели на действующих шлейфах скважин автоматизирует процесс их периодической очистки от накопленных загрязнений различных типов за счет получения временных моделей открытия соответствующей запорной арматуры на блоке входных ниток от шлейфов скважин на установку. Данный метод приведет к уменьшению объемов потерь и расхода природного газа во время его добычи, сбора и подготовки, а также к уменьшению вероятности возникновения аварийных ситуаций и увеличению объемов добычи газа.

Tymkiv D.F., Gorin P.V., Romanova V.V.

### **MODELING THE FLOW LINE PIGGING PROCESS**

In this paper, the regression equation, which describes the transit time of the elastic polymer pig through the model pipeline, is experimentally obtained. The data of the above-mentioned equation is approximated for the actual conditions of operation of the flowlines. Implementation of the proposed model in existing flowlines will automate the process for periodic cleaning of various types of accumulated slugs by obtaining time-depending models for opening of the corresponding valves at the gathering station. This method will allow reduction of losses of natural gas during its gathering and processing, as well as the risk of potential accidents. It will also increase gas production.