

УДК 622.691.4

О.В.КУСТУРОВА, канд. техн. наук

*УкрНДІгаз ПАТ Укргазвидобування, м. Харків*

А.П.КРИМОВ, О.П.ВАРАВІНА, С.А.ОЛЕШКО, Т.О.КУЗНЄЦОВА

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИСТКИ ШЛЕЙФІВ СВЕРДЛОВИН**

Наведено результати експериментальних досліджень процесу очищення шлейфу свердловини за допомогою пружно-полімерного поршня з саморуйнівною оболонкою. Розрахований і апроксимований до реальних вимог експлуатації час проходження пружно-полімерної композиції крізь порожнину трубопроводу та об'єм забруднення, що видаляється зі шлейфу в процесі очищення.

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса очистки шлейфа скважины с помощью эластичных полимерных поршней с саморазрушающейся оболочкой. Рассчитано и аппроксимировано к реальным условиям эксплуатации время прохождения упруго-полимерной композиции через полость трубопровода и объем загрязнений, удаляемых из шлейфа в процессе очистки.

The paper presents the results of experimental studies of the pigging field line process with flexible polymer pistons equipped self-destroying shell. The passage of elastic polymer composition through the cavity of the pipeline and the pollution that is removed from the plume within the cleaning process are calculated and approximated to the real conditions of exploitation.

*Ключові слова:* очищення шлейфу, пружно-полімерна композиція, порожнина трубопроводу, модель шлейфу.

Найчастіше стабілізація видобутку природного газу передусім пов'язана з пошуком резервів робочого тиску свердловин, варіації зменшення величини якого дозволять збільшити різницю між пластивим 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 установок збору і підготовки газу, удосконалюється сам процес підготовки газу тощо. 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.

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

- 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 втрулюванням газу в атмосферу;
- 7) закачуванням метанолу (в умовах гідратуотворення).

Переважає більшість з цих заходів призводить до простого перерозподілу мас рідини між ділянками системи, адже як вже наголошувалось під час продувки (або створення умов для високошвидкісного газового потоку) зменшення об'єму рідинної пробки відбувається лише до якогось певного нормального значення. При чому 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 амплітуд у часі лінійну швидкість руху пінної пробки (поршня) в межах 2-4 м/с), що відповідатиме її цілісності і роботі в якості проштовхуючого поршня.

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.

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) досліді.

Для практичної реалізації поставлених цілей виготовлено пружно-полімерні композиції наступного складу (табл. 1). В табл. 1 представлено характер поведінки композиції в порожнині моделі шлейфу, що визначено під час проведення попередніх експериментальних досліджень.

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 (попшня) в порожнині шлейфа.

В якості допоміжних засобів використано такі речовини і об'єкти (табл. 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).

Таблиця 1 – Характеристика полімерів, що 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		Руйнується під дією газового потоку, поводить себе як рідина
2	1,0	1030		Руйнується під дією газового потоку, розпадається на частини, що переміщуються через внутрішню порожнину труби
3	1,5	1030		Частково зберігає форму, веде себе як пробка
4	2,0	1035		Поводить себе як не ньютонівська рідина, розпадається на окремі желеподібні частини
5	2,5	1040		Розпадається на окремі желеподібні частини, погано переміщується у внутрішній порожнині

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.

Відповідно до програми та методики проведення експериментальних досліджень та даних звіту про їх проведення завданням математичного моделювання є:

- час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу, с;
- коефіцієнт очистки порожнини труби від накопичених забруднень.

Таблиця 2 – Допоміжні засоби для пружно-полімерної композиції

№	Назва	Характер застосування	Характер поведіння під час руху	Забезпечення надання композиції форми
1	Самоущільнювальна манжета	Розміщується перед композицією і діє в якості поршня під впливом тиском газу	Застрягає в запірній (нерівно проходній) арматурі та в місцях ущільнень та переходів	частково забезпечує
2	Поршень губкового або поролонового типу	Те саме	Застрягає 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 застрягає, під час руху частки композиції проходять через нещільності матеріалу змашуючи стінки труби і забезпечуючи гладкостінний рух моделі	забезпечує

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,  $дм^3$ ;  $q$  – продуктивність свердловини,  $дм^3/с$ ;  $\rho$  – густина забруднень,  $кг/дм^3$ .

Дослідження спрямовано на обрання такої кількості неповторюваних дослідів і на стількох рівнях, щоб у підсумку отримати рівняння регресії, що адекватно описує вплив усіх значимих чинників на функцію відгуку із найменшою похибкою.

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 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 (ро-

бочого тиску, температури і дебіту), а також від технічної характеристики труби:

$$\omega = \frac{q}{F} \cdot \frac{z \cdot T \cdot P_0}{P \cdot z_0 \cdot T_0} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1,033 \cdot q \cdot z \cdot T}{1.273,15 \cdot P \cdot d^2} = 5,575 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2}, \quad (2)$$

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:

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

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, долі одиниці;  $i$  – гідравлічний ухил висхідних ділянок шлейфа свердловини до горизонту, рад.

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

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

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 в четверо. Враховуючи це, та підставляючи формули (2) і (3) в формулу (5) отримаємо час проходження пружно-полімерної композиції через його порожнину для шлейфа певної довжини, дотримуючись критеріїв подібності:

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

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 розрахунків – середній тиск в шлейфі свердловини, кгс/см<sup>2</sup>;  $d$  – внутрішній діаметр шлейфа свердловини, м;  $\rho_{забр}$  – густина забруднень в порожнині трубопроводу (для оціночних розрахунків: для газових родовищ – вода

густиною  $1000 \text{ кг/м}^3$ , для газоконденсатних і нафтових родовищ – конденсат або багатозфазова суміш з густиною – від  $680$  до  $840 \text{ кг/м}^3$ , для родовищ на завершальній стадії експлуатації із наявністю в забрудненнях значної маси твердих домішок (глини, піску) зважених в потоці рідини – глинисто-водяна суспензія густиною  $1100 \text{ кг/м}^3$ .

Формула (6) дає змогу оцінити час проходження полімерно-пружної композиції в якості очисного поршня від гирла свердловини до блоку входних 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 засуву на вході свердловини в УКПГ і відкрити засуву для продувки на амбар, в якому уловлюватимуться залишки забруднень і поршень. Час саморуїнування 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 [1]:

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

де  $V_{забр}^{до}$ ,  $V_{забр}^{після}$  – розрахунковий об'єм забруднень до і після проведення операцій по очистці шлейфа свердловини, що визначається за формулою [2]

$$V_{забр} = a \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \quad (\text{м}^3) \quad (8)$$

відповідно до гідравлічної ефективності та рельєфу місцевості.

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.

1. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды / Г.С. Лутошкин. – М.: Недра, 1977. – 192 с.

2. Братах М.І. Спосіб визначення об'єму забруднень в порожнині газопроводів, що транспортують газ власного видобутку / М.І. Братах // Проблеми нафтогазової промисловості: зб. наук. праць. – К.: ДП Науканафтогаз, 2007. – Вип. 5. – С. 628-634.

Отримано 09.12.2013