

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ**  
**УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

**Горін Петро Вікторович**

УДК 622.691.4

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОПРОВІДІВ ГАЗОЗБІРНИХ**  
**СИСТЕМ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ ПРОМИСЛІВ**

Спеціальність 05.15.13 – трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Івано-Франківськ – 2021**

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор  
**ТИМКІВ Дмитро Федорович**,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри інженерії програмного забезпечення.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, доцент  
**ГОВДЯК Роман Михайлович**,  
ТОВ Інжинірингова компанія «Машекспорт»,  
м. Київ, генеральний директор;

кандидат технічних наук, доцент  
**КОСТІВ Василь Васильович**,  
ТОВ «Оператор ГТС України»,  
заступник головного інженера з експлуатації (західний регіон).

Захист відбудеться 22 квітня 2021 року о 10 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 в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 19 березня 2021 року.

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

Джус А. П.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Найчастіше стабілізація видобутку природного газу, передусім, пов'язана з пошуком резервів робочого тиску свердловин, варіації зменшення величини якого дозволять збільшити різницю між пластовим тиском і тиском на гирлі свердловини, викликаючи додатковий приплив газу. Для цього 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 та підготовки газу, вдосконалюється сам процес підготовки газу тощо. Будь-який із перелічених заходів спрямований на зниження величини робочого тиску свердловин. Але слід зважати і на процес перерозподілу мас рідини й інших типів забруднень у 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.

Враховуючи, що на початку епохи видобутку нафти та газу в Україні для облаштування нафтогазопромислових об'єктів використовувалися трубопроводи з різними товщинами стінки та внутрішніми діаметрами, встановлювалась нерівнопрохідна запірна арматура, відсутність камер пуску-прийому очисних поршнів. Загалом, відсутність такого поняття як «очищення систем трубопроводів» є значним викликом при підході до вибору методу, а також засобів для очищення газозбірних систем у реаліях сьогодення. Аналізуючи наявні сучасні розробки та засоби для очищення газозбірних систем, варто відзначити відсутність універсальних очисних пристроїв, які можна було б використовувати як для трубопроводів зі змінними діаметрами по довжині, так і для різних діаметрів трубопроводів із наявною нерівнопрохідною арматурою без необхідності облаштування камер пуску-прийому очисних поршнів, а також відсутністю необхідності виготовлення нової конструкції очисного пристрою під різні діаметри трубопроводів.

Тому, враховуючи нагальну актуальність впровадження заходів щодо зменшення втрат тиску, основну увагу буде присвячено вибору раціонального способу очистки газопроводу (або звільнення порожнини газопроводу для збору попутного газу) від накопичених забруднень. Він залежить від прийнятої системи збору продукції (централізованої чи децентралізованої) та її конфігурації (технічної характеристики), рельєфу місцевості з наявністю природних пасток рідини; якісного складу газу і його вологовмісту; термодинамічних умов експлуатації в різні періоди року, які, у підсумку, формують різні структурні форми руху газорідинного потоку в газозбірній мережі, від точності визначення яких і залежить вибір раціонального методу очищення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано в рамках першого етапу довгострокової стратегії розвитку ПАТ «Укрнафта», яким передбачено покращення поточної діяльності із розвідки, видобутку і збуту, та

розпорядження Кабінету міністрів України №1079-р від 26 грудня 2016 р. про схвалення концепції розвитку газовидобувної галузі України.

Дослідження вибраного напрямку проводились в рамках виконання науково-дослідних робіт, базових для підготовки і подання дисертаційної роботи.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є збільшення обсягу видобутку природного газу шляхом підвищення ефективності роботи газопроводів під час переміщення природного газу від місць видобутку до точки передачі газу в магістральний газопровід.

Вказана мета досягається вирішенням таких **завдань** дослідження:

- аналіз режимів роботи промислових трубопроводів та оцінка впливу ефективності їх роботи при застосуванні різних методів очистки на рівень робочого тиску на гирлі свердловин і обсяги видобутку газу;

- розробка математичної моделі структурних форм течії газових і газорідних потоків для родовищ на різних етапах його розробки;

- експериментальні дослідження пружно-полімерних композицій для створення еластичних поршнів, що застосовуватимуться для очищення внутрішньої порожнини шлейфів свердловин і міжпромислових газопроводів;

- адаптація експериментальних досліджень руху пружно-полімерних композицій порожниною трубопроводу для діючих газозбірних мереж.

**Об'єкт дослідження** – процес переміщення природного та попутного газу від місць видобутку до точки передачі у магістральний газопровід.

**Предмет дослідження** – вплив ефективності роботи газозбірної системи на обсяги видобутку газу з родовищ на різних стадіях його розробки.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи математичного моделювання квазістаціонарних режимів роботи промислових газопроводів, інтегральні перетворення, теорії узагальнених функцій, згладжування та диференціювання диспетчерських даних, даних польових досліджень і експериментальних даних, застосовано новітні комп'ютерні технології для одержання числових результатів досліджень.

**Положення, що виносяться на захист.** Закономірності впливу структурних форм руху газових і газорідних потоків у різних стадіях розробки родовищ на вибір способу очищення внутрішньої порожнини газопроводів газозбірної системи.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

У дисертаційній роботі проведені експериментальні й теоретичні дослідження, на основі яких:

- удосконалено методологію досліджень структурних форм газових і газорідних потоків на різних стадіях розробки родовищ;

- вперше розроблено пружно-полімерну композицію, що займає внутрішній переріз трубопроводу і тримає форму під час проходження всієї довжини ділянки, що піддається очищенню;

- отримано математичну часову модель руху пружно-полімерної композиції порожниною рельєфного трубопроводу за умов різних структурних рухів потоку;

- вдосконалено методологію досліджень очищення внутрішніх порожнин шлейфів свердловин і міжпромислових газопроводів.

**Практичне значення отриманих результатів.** У результаті виконання досліджень розроблено композиційний пристрій для очищення трубопроводів із нерівнопрохідною арматурою та змінним діаметром по довжині. Даний пристрій є універсальним для всіх типів і розмірів трубопроводів. Також перевагою даного очисного пристрою є те, що для проведення очищення трубопроводів їх не потрібно облаштовувати камерами пуску-прийому очисних пристроїв.

Проведене дослідження дало змогу провести очищення діючих шлейфів свердловин Пасічнянського нафтогазового родовища з метою зменшення втрат тиску між гирлом свердловини і вузлом входу, зменшення протиску в системі збору попутного газу, що, в підсумку, дозволило збільшити обсяги видобутку газу.

**Особистий внесок здобувача.** Безпосередньо автором:

– проаналізовано та систематизовано типові схеми збору попутного газу, газорідних сумішей та сухого газу на промислах і найбільш часто вживані заходи щодо підвищення ефективності роботи газозбірних мереж [1, 6, 9, 12];

– визначено структурні форми руху газових і газорідних потоків у горизонтальних трубах і їх притаманність для різних стадій розробки родовищ [3, 4, 10, 12];

– встановлено залежність між режимом роботи газопроводу і величиною робочого тиску на гирлі свердловин, обрано раціональний спосіб очистки газозбірних систем і реалізованого його у фізичній моделі [2, 3, 5, 11];

– розроблено математичну модель руху фізичної моделі еластичного поршня порожниною діючого шлейфа свердловини чи міжпромислового газопроводу й адаптовано її на практиці експлуатації газозбірних мереж [1, 4, 9, 11].

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертації доповідалися на Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика-2017» (м. Івано-Франківськ, 15 - 19 травня, 2017р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазпромислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 14 - 16 листопада, 2017 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (м. Дніпро, 28 - 30 березня, 2017 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика - 2017» (м. Івано-Франківськ, 15-19 травня, 2017 р.); збірник наукових праць «ЛОГОΣ». 2017. Частина 2. С. 175-180.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 друкованих праць, із них: 2 – у міжнародних наукових журналах, що індексуються в світових наукометричних базах даних і системах, 4 – у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України, 1 – патент на корисну модель; 5 – тези доповідей на міжнародних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 29 рисунків і 18 таблиць. Список використаної літератури вміщує 105 найменувань. Роботу викладено на 149 сторінках машинописного тексту, обсяг основного тексту дисертації складає 113 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета та задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Приведена інформація про апробацію та впровадження результатів роботи, розкритий особистий внесок автора у вирішення поставлених задач, вказана кількість наукових публікацій.

У першому розділі проведено системний аналіз впливу гідравлічного стану газозбірної системи виснажених українських нафтових і газоконденсатних родовищ на обсяги видобутку газу, товарного газу та появу ризиків аварійних відмов.

У цій роботі з безлічі представлених думок і систематизованих експлуатаційних даних ми спробували виокремити нагальні, на нашу думку, проблеми експлуатації надземної частини родовищ на завершальній стадії розробки, виявити їх взаємозв'язок із підземними процесами та представити шляхи вирішення проблемних питань на прикладі конкретних родовищ.

Різниця між величинами тиску є втратами тиску на підйом продукції свердловини на денну поверхню та її транспортування газопроводами системи видобутку та збору газу. Ці втрати, як відомо, є реакцією на гідроопір системи, складовими якого є незменшуваний гідроопір тертю, що зростає в умовах низького робочого тиску, та гідроопір місцевим опорам і забрудненням, на кількісний вміст яких вказує зміна оперативних даних. Впровадженням певного комплексу заходів можна зменшити об'єм забруднень, і нівелювати вплив місцевих опорів. Це скорочує загальний гідроопір системи; відповідно, скорочується величина втрат тиску в системі. Відповідно, можна досягти зменшення величини робочого тиску на гирлі свердловини.

В результаті проведеного системного аналізу роботи газозбірних мереж і даних науково-технічних джерел виявлено, що газозбірні системи українських нафтових і газоконденсатних родовищ є застарілими з точки зору облаштування їх нерівнопрохідною запірною арматурою. Це фактично унеможливує проведення періодичної очистки традиційними поршнями-скребками.

Зважаючи на це, актуальним залишиться питання підтримання їх пропускну здатності і надійності на високому рівні. Одним із аспектів підтримання газозбірних систем у безаварійному стані та забезпечення ефективного видобутку вуглеводнів є вилучення забруднень різного типу з понижених місць системи промислових газопроводів і шлейфів свердловин.

Наразі відсутній системний підхід до вирішення проблеми ідентифікації рідинних і твердих накопичень у порожнині промислових газопроводів і шлейфів свердловин. Попри це окремим складовим питанням присвячена детальна увага певними фахівцями.

Вирішено питання, яким чином формуються забруднення конденсатного типу на певному кілометрі траси газозбірної мережі та їх вплив на режими роботи газозбірних систем та обладнання для підготовки газу.

На основі проведеного аналізу літературних джерел з поставленої проблеми конкретизовано мету і задачі досліджень.

У другому розділі проведено дослідження структур руху газорідних сумішей і вибір найбільш раціональних способів відведення забруднень з порожнини трубопроводу.

Періодична очистка внутрішньої порожнини газопроводів дозволяє підвищити гідравлічну ефективність і надійність транспортування газу за рахунок підтриманням максимальної продуктивності газопроводів при постійних енерговитратах на компресорних станціях (КС) і стабільній роботі газоперекачувальних агрегатів (ГПА), запобігаючи потраплянню забруднень і рідини у технологічні лінії. Залежно від виду та кількості забруднень застосовуються відповідні засоби очистки внутрішньої порожнини газопроводу. Для проведення періодичної очистки газопроводи обладнуються стаціонарними камерами прийому та запуску очисних поршнів.

Для очистки трубопроводів, зазвичай, використовують скребки або поршні різних конструкцій. Існують конструкції поршнів, оснащені різноманітними приладами з широкими інформаційно-логічними можливостями. На сьогодні жодна з конструкцій не може бути успішно використана на трубопроводах змінного діаметру та з нерівнопрохідною запірною арматурою. Основною причиною обмеження використання цієї групи технічних пристроїв є забезпечення часткової очистки трубопроводів, що мають місцеві звуження лише круглого перерізу. Проте, їх неможливо застосувати для труб з широко розповсюдженими кранами виробництва колишнього СРСР, встановленими в 1957-1975 рр на всіх газопроводах DN 300-700 із прохідним перерізом пробки трапецеподібної форми.

Вуглеводнева рідина та вода, як більш щільні складові суміші, займатимуть в рельєфному трубопроводі певний об'єм, формуючи, залежно від швидкості потоку, хвильову, розшаровану, пробкову або кільцеву структуру. Відмінність структури залежить не лише від швидкості потоку (яку визначатиме завантаження трубопроводу), але і від типу ділянки, якою проходить газорідний потік.

Визначено, що широкий діапазон критеріїв подібності, які описують рух течії в трубопроводах газозбірної та продуктозбірної систем, притаманний різним формам руху газорідного потоку з широким діапазоном вмісту природного і зв'язаного газу в складі суміші.

Представлено алгоритм, основним завданням якого є визначення реальних структурних форм течії багатофазового середовища і обрання для кожної з них раціонального методу відведення забруднень.

Для розробки алгоритму структури однорідної течії та течії однорідних потоків виконано ряд послідовних етапів: складено план профіль траси трубопроводу за планом профілем визначено еквівалентні висхідну і низхідну ділянки траси і кути їх нахилу; визначено структури потоку і коефіцієнти гідравлічного опору для конкретних висхідних та низхідних ділянок та проведено їх гідравлічний розрахунок, який дозволяє підтвердити наявність забруднень на певній ділянці газозбірної системи, оцінити їх якісний і кількісний склад. Визначено, що дані трубопроводи перекачують, здебільшого, багатофазове середовище, оскільки їх режими роботи описуються широким діапазоном чисел Фруда, Рейнольдса та різним об'ємним газовмістом.

Визначено режими перекачування рідинно-газової суміші на висхідній ділянці трубопроводу:

а) визначається величина  $V^*$

$$V^* = (8,2 - 0,017 \cdot \bar{\mu}^{-0,6}) \cdot \left( Re_2 \cdot Fr_c \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \right)^{-1/3} \cdot \exp[(8 + 62 \cdot \bar{\mu}) \cdot \beta_1], \quad (1)$$

де  $\bar{\mu} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$  – приведена в'язкість;  $\mu_1, \mu_2$  – динамічна в'язкість рідинної та газової фази відповідно, Па·с;

$\beta_1 = \frac{Q_1}{Q_c}$  – вміст рідини в потоці рідинно-газової суміші;

$Q_1, Q_c$  – об'ємні витрати рідини та суміші відповідно, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_1, \rho_2$  – густина рідинної та газової фаз, кг/м<sup>3</sup>;  $Re_2 = \frac{\rho_2 \cdot w_c \cdot D}{\mu_2}$  – число Рейнольдса, яке описує режим руху газу в

складі суміші;  $w_c = \frac{4Q_c}{\pi D^2}$  – швидкість рідинно-газової суміші, м/с;  $Fr_c = \frac{w_c^2}{gD}$  – критерій

Фруда для рідинно-газової суміші.

При  $V^* \leq 1$  – режим течії, кільцевий;

$V^* > 1$  – режим течії, пробковий або розшарований;

б) визначається критерій Фруда  $Fr^*$  за вмістом газу та рідини в суміші:

$$Fr^* = \left( 0,2 + \frac{2 \cdot \sin \alpha_{max}}{\lambda_p} \right) \cdot \beta_1^{-2} \cdot \exp(-2,5 \cdot \beta_2), \quad (2)$$

де  $\beta_2 = 1 - \beta_1$  – вміст газу в потоці рідинно-газової суміші;  $\alpha_{max}$  – максимальний кут нахилу низхідних ділянок еквівалентної траси трубопроводу, рад.;  $\lambda_p$  – коефіцієнт гідравлічного опору.

Гідравлічний розрахунок висхідної ділянки трубопроводу:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \lambda_c \cdot \frac{w_c^2}{2D} \left( \frac{\beta_1^2}{\varphi_1} \rho_1 + \frac{\beta_2^2}{\varphi_2} \rho_2 \right) + (\varphi_1 \rho_1 + \varphi_2 \rho_2) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

де  $\rho_1, \rho_2$  – густина рідинної та газової фаз відповідно;  $\varphi_1, \varphi_2$  – дійсний газовміст для кільцевого і пробкового потоку відповідно.

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_1^*}{1 + 200 \cdot \beta_1} + \frac{5,5 \cdot \sqrt{100 \cdot \beta_1}}{\left( Re_1 Fr_c \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \right)^{1/3}}, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = K \cdot \left[ 1 - \exp \left( -4,4 \cdot \sqrt{\frac{Fr_c}{Fr_\alpha}} \right) \right] \cdot \beta_2, \quad (5)$$

де  $\varphi_1^*$  – дійсний об'ємний вміст рідини при нульовому подаванні рідини;  $K$  – коефіцієнт, що враховує вплив в'язкості рідини.



На основі алгоритму визначення структурних форм руху й оцінки гідравлічного стану промислових трубопроводів, які перекачують багатофазове середовище розроблено послідовність вибору раціональних способів відведення рідини з порожнини трубопроводу за їх принципом дії. Така послідовність дозволяє відкинути наперед визначені неефективні методи для того чи іншого типу промислових трубопроводів з подальшого аналізу.

Для кожної конкретної ділянки трубопроводу, відповідно до її орієнтації в просторі, за алгоритмом, представленим у попередньому розділі, обирається структура (тип) руху рідинно-газового потоку та розраховуються відповідні параметри гідравлічного стану. Оцінюють дійсний гідравлічний стан висхідних і низхідних ділянок трубопроводів за фактичним коефіцієнтом гідравлічного опору, який розраховують відповідно до структури рідинно-газового потоку за алгоритмом.

Усереднюють фактичний коефіцієнт гідроопору за довжиною досліджуваних ділянок із певною орієнтацією в просторі:

$$\lambda_c^\phi = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{ci}^\phi \cdot l_i}{l_{екв}}, \quad (6)$$

де  $n$  – кількість досліджуваних ділянок незалежно від їх орієнтації в просторі;  $\lambda_{ci}^\phi$  – фактичний коефіцієнт гідроопору кожної з ділянок;  $l_i$  – фактична довжина кожної з ділянок, м;  $l_{екв}$  – загальна довжина трубопроводу, м.

Розраховують втрати тиску для дійсного гідравлічного стану трубопроводу:

$$\Delta P_{зідр} = 1,05 \cdot \lambda_c^\phi \cdot \frac{l_{екв}}{D} \cdot \frac{w_c^2 \cdot \rho_c}{2}, \quad (7)$$

де 1,05 – коефіцієнт збільшення фактичного гідроопору за рахунок місцевих опорів.

Оперуючи значеннями початкового робочого тиску і розрахунковими втратами тиску, визначають розрахунковий кінцевий тиск і порівнюють його із вимірними показниками за даними опитувачів або приладовим вимірюванням. Якщо значення розрахункового кінцевого тиску є вищим вимірних, фіксують утворення забруднень у понижених місцях траси трубопроводу (рис. 1).

Представлено результати адаптації розробленого математичного алгоритму для діючої ділянки трубопроводу, що транспортує багатофазове середовище.

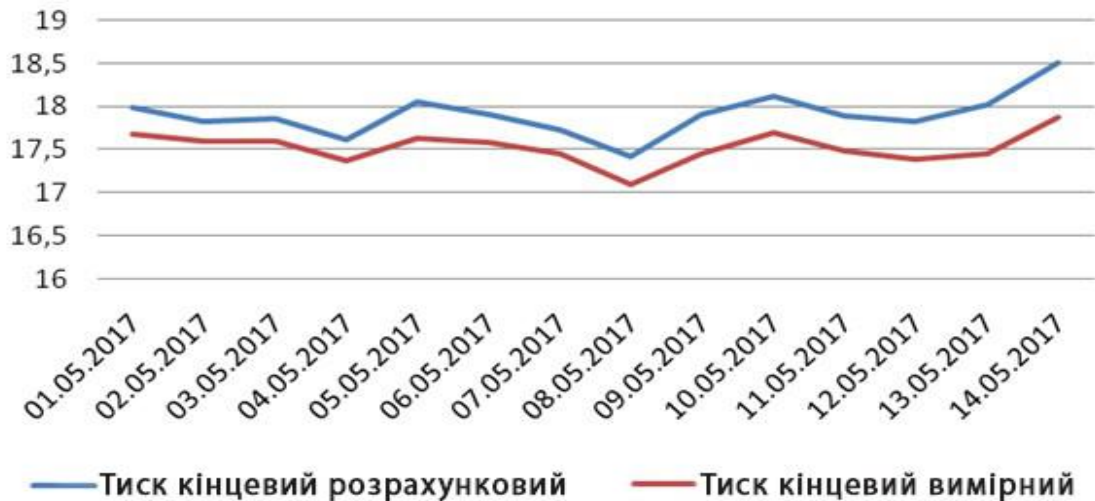
Встановлено, що вибір оптимального заходу необхідно здійснювати на основі оцінки впливу трьох чинників:

- структурної форми руху суміші, під час перекачування якої формуються забруднення;

- істинного газомісту, що визначає однорідність газового чи рідинного потоку і визначає тип трубопроводу, з яким дослідник має справу;

- гідравлічного стану, який зумовлює необхідність відведення рідини.

Також вибір заходу здійснюється відповідно до принципу його дії та базуючись на математичній моделі зміни структурної форми руху газорідинної суміші або забруднення, яка підтверджується експериментальними дослідженнями.



**Рисунок 1** – Графік зміни розрахункового та вимірного кінцевих тисків

Визначено, що найбільш раціональним способом очистки міжпромислових газопроводів і шлейфів свердловин є пропускання очисних поршнів, застосування яких, однак, обмежується для газозбірних систем зрілих родовищ. Удосконалення конструкції таких очисних поршнів можливе лише завдяки суттєвому збільшенню їх еластичності, що вимагає створення композиційного матеріалу, який би тримав форму, рухаючись у вигляді пробки порожниною трубопроводу з оптимальним часом проходження між початковою та кінцевою точками. Ці завдання реалізовано в експериментальних дослідженнях, представлених у наступних розділах дисертаційної роботи.

**У третьому розділі** представлено експериментальні дослідження очистки системи шлейфів свердловин із використанням пружно-полімерної композиції.

Для виконання стендових експериментальних досліджень моделі еластичного поршня, здатного проходити місцеві звуження та опори під час очищування внутрішньої поверхні трубопроводу, розроблено «Програму із методикою стендових експериментальних досліджень пружної полімерної композиції для очистки шлейфів свердловин», якою передбачено комплексні роботи за наступними етапами, відповідно до рекомендацій проведення експериментальних досліджень.

У результаті проведення стендових досліджень, встановлено, що пружно-полімерна композиція на основі 1,5% полімеру (гуарова камідь, загущена боратовим зшивачем), яка за об'ємом становить двадцять частину об'єму очищуваного трубопроводу, ефективно очищає гладкостінний трубопровід (еквівалентною шорсткістю 0,015 мм).

За результатами проведення експерименту необхідно знайти математичну модель об'єкта дослідження – рівняння, яке зв'язує показники процесу з чинниками, що діють на нього:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Для випадку, що розглядається:

$$t = f(V_{зобр}, q, \rho_{зобр}), \quad (8)$$

де  $t$  – час проходження пружно-полімерної композиції порожниною трубопроводу, с;  $V_{забр}$  – об'єм забруднень різного типу в порожнині трубопроводу, м<sup>3</sup>;  $q$  – продуктивність свердловини, м<sup>3</sup>/с;  $\rho$  – густина забруднень, кг/м<sup>3</sup>.

За середніми значеннями функції відгуку відшукуємо рівняння лінійної моделі або рівняння регресії:

$$y = b_0x + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3. \quad (9)$$

Коефіцієнти рівняння визначаємо за формулою:

$$b_n = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{nu} \bar{y}_u, \quad (10)$$

де  $N$  – число рядків матриці планування.

Після визначення коефіцієнтів рівняння регресії проводимо статистичний аналіз рівняння регресії, що складається з трьох етапів:

**I етап** – оцінка дисперсії відтворення або помилки експерименту. Для умов проведення дослідження визначено, що похибка відтворюваності  $S_0$  не перевищує 0,31 секунд для трубопроводу довжиною 6,3 м (або 0,05 секунди на 1 метр трубопроводу):

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 = \frac{2,5825}{27} = 0,09565, \quad (11)$$

де  $S_u^2$  – рядкові дисперсії.

Середньоквадратичне відхилення, або похибка відтворюваності:

$$S_0 = \sqrt{S_0^2} = \sqrt{0,09565} = 0,31. \quad (12)$$

**II етап** – оцінка значимості коефіцієнтів рівняння регресії. Перевірка здійснюється двома рівноцінними способами. Для обидвох способів спочатку визначаємо дисперсію коефіцієнтів регресії. За результатами перевірки умови значимості коефіцієнтів регресії виконуються, отже, всі коефіцієнти вважаються значимими;

**III етап** – оцінка адекватності моделі. Адекватність перевіряємо оцінкою співвідношення (13):

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_0^2}, \quad (13)$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності.

Умова (14) виконується, отже лінійне рівняння регресії з його значимими коефіцієнтами є адекватним, тобто розсіювання експериментальних даних змінного стану щодо рівняння регресії має аналогічний порядок, як і розсіювання, спричинене випадковими змінами в об'ємі дослідження:

$$F_p < F_T, \quad (14)$$

де  $F_T$  – табличне значення критерію Фішера.

Запишемо рівняння регресії (15) з його коефіцієнтами, враховуючи нелінійність – ефект взаємодії чинників і критерій, який оцінює границі

дослідження, а саме: відношення часу проходження композиції трубою з визначеною технічною характеристикою:

$$\frac{t}{l} = 16,24 - 0,81\omega(q) + 0,84V_{забр} + 0,85\rho_{забр}. \quad (15)$$

Пружно-полімерна композиція має розміщуватись в оболонці, що формуватиме циліндричну форму. Оболонка має бути нещільною, але доволі міцною для уникнення розривів під час проходження через порожнину діючого шлейфа свердловин. Оболонка має мати органічне походження, оскільки приймання пружно-полімерної композиції на УКПГ здійснюватиметься після проходження блоку вхідних ниток в геологічному сепараторі або в одному з сепараторів I ступені. Оболонка має руйнуватись після певного часу контакту з рідиною в сепараторі.

В промислових умовах, особливо при проходженні висхідних «сухих» ділянок шлейфів свердловин, можливе застрягання пружно-полімерної композиції в порожнині шлейфу. Тому технологія очистки діючого шлейфу свердловини має передбачити використання поршня, що складатиметься із двох частин:

I – пружно-полімерна композиція в оболонці (штовхаючий пристрій);

II – технічна вода з додаванням поверхнево-активних (миючих або слизьких) речовин та інгібітору корозії (речовина, яку штовхають).

Крім того, швидкість руху поршня в промислових умовах залежно від шорсткості трубопроводу впаде вчетверо (згідно з результатами досліджень для моделі шлейфа, що працює в агресивних умовах). До рівняння регресії слід внести корективи в якості корелюючого коефіцієнта, який для оцінки швидкості поршня становитиме – 0,25, а для оцінки часу проходження – 4.

Час саморуйнування оболонки для пружно-полімерної композиції має бути не меншим розрахованого часу за рівняннями регресії.

**Четвертий розділ** присвячено промисловій апробації підвищення ефективності роботи шлейфів свердловин при використанні композиційних матеріалів.

За реальних умов експлуатації, зокрема шлейфів свердловин, лінійна швидкість газу залежить від режиму роботи свердловини (робочого тиску, температури і дебіту), а також від технічної характеристики труби:

$$\omega = \frac{q}{F} \cdot \frac{z \cdot T \cdot P_0}{P \cdot z_0 \cdot T_0} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1,033 \cdot q \cdot z \cdot T}{1 \cdot 273,15 \cdot P \cdot d^2} = 5,575 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2}, \quad (16)$$

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

Виходячи з аналізу, представленого в попередньому підрозділі, об'єм забруднень, накопичений у трубопроводі, запишемо:

$$V_{забр} = a \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \quad (17)$$

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

$$a = 0,2513 - 0,2099E - 0,09083i + 0,641875(1 - E)(1 - i), \quad (18)$$

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

Реальний час проходження 1 м порожниною обраного для експериментальних досліджень трубопроводу з гладкою внутрішньою поверхнею становив:

$$t = (16,24 - 0,81\omega(q) + 0,84V_{забр} + 0,85\rho_{забр}) / 6,3. \quad (19)$$

Згідно з результатами звіту про проведення експериментальних досліджень час проходження внутрішньою порожниною трубопроводу з жорсткою стінкою, опір якої моделювався шляхом розміщення певного об'єму бариту в трубі, збільшується вчетверо. Враховуючи це та підставляючи формули 16 і 17 в формулу 19, отримаємо час, необхідний для подолання одного погонного дециметра шлейфа:

$$\begin{aligned} t &= \frac{4}{60,30} (16,24 - 0,81 \cdot 5,575 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 0,84 \cdot 10^3 \cdot a \frac{\pi d^2}{4} L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}) = \\ &= \frac{4}{60,30} (16,24 - 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 210 \cdot a \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}). \end{aligned}$$

Щодо шлейфа певної довжини, то час проходження пружно-полімерної композиції його порожниною, дотримуючись критеріїв подібності, можна оцінити за такою формулою:

$$t = \frac{40 \cdot L}{60,30} (16,24 - 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 210 \cdot a \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}),$$

або, спростивши,

$$t = \frac{2}{3} \cdot L \cdot (16,24 - 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 210 \cdot a \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}), \quad (20)$$

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 у досліджуваному перерізі шлейфу (для інженерних розрахунків – середній тиск в шлейфі свердловини, ат);  $d$  – внутрішній діаметр шлейфа свердловини, м;  $\rho_{забр}$  – густина забруднень у 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 зі значною масою в забрудненнях твердих домішок (глини, піску), зважених в потоці рідини – глинисто-водяна суспензія густиною 1100 кг/м<sup>3</sup>).

Ефективність заходів із очистки внутрішньої порожнини шлейфа свердловини за допомогою пружно-полімерної композиції оцінюють за коефіцієнтом очистки шляхом порівняння даних про гідравлічну ефективність шлейфа до та після проведення очисних операцій:

$$k_{оч} = \frac{V_{забр}^{до} - V_{забр}^{після}}{V_{забр}^{до}}, \quad (21)$$

де  $V_{забр}^{до}$ ,  $V_{забр}^{після}$  – розрахунковий об'єм забруднень до та після проведення операцій по очистці шлейфа свердловини.

Технологія дослідного випробування передбачає виконання робіт за етапами, представленими нижче.

I етап – передпроектний.

Технологічні вимірювання проводяться відповідно до правил і методології проведення таких видів робіт

Виміряти робочий тиск свердловини, температуру на гирлі свердловини з одночасним вимірюванням тиску на блоці вхідних ниток УКПГ. Виміряти за допомогою переносного або стаціонарного приладу обліку дебіт свердловини. Зібрати дані щодо типу родовища, компонентного складу газу та густини газового потоку. Оцінити тип забруднень і їх орієнтовну густину. Дослідити рельєф місцевості, визначити кути нахилу висхідних ділянок, кількість понижених місць трасою шлейфа.

Оцінити об'єм забруднень у порожнині шлейфа за формулою:

$$V_{забр}^{до} = a \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \quad (22)$$

де  $D$ ,  $L$  – геометричні параметри шлейфа: внутрішній діаметр і довжина відповідно, м;  $a$  – приймають як коефіцієнт, що характеризує ступінь заповнення геометричного об'єму газопроводу рідиною.

Визначають орієнтовний час проходження пружно-полімерної композиції порожниною шлейфа:

$$t = \frac{2}{3} \cdot L \cdot (16,24 - 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{q \cdot z \cdot T}{P \cdot d^2} + 210 \cdot a \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L + 0,85 \cdot 10^{-3} \rho_{забр}), \quad (23)$$

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 у досліджуваному перерізі шлейфу (для інженерних розрахунків – середній тиск в шлейфі свердловини, ат);  $d$  – внутрішній діаметр шлейфа свердловини, м;  $\rho_{забр}$  – густина забруднень у порожнині трубопроводу.

II етап – підготовчий.

Сформувати 2 бригади дослідників, одну з яких розмістити на площадці свердловини, другу – на блоці вхідних ниток УКПГ. Обидві бригади оснастити контрольно-вимірювальними приладами. Бригаду на гирлі свердловини оснастити обладнанням, необхідним для закачування пружно-полімерної композиції до порожнини шлейфа (високошвидкісним міксером, реагентами, основною речовиною, водою тощо) і допоміжним обладнанням (компресором, перехідниками, інструментами). Контроль руху поршня порожниною шлейфа необхідно здійснювати шляхом візуального спостереження за тиском на початку і в кінці шлейфа та за секундоміром. Обидві бригади необхідно оснастити засобами протипожежної безпеки й індивідуального захисту.

III етап – основний.

Основний етап проводиться в декілька стадій відповідно до руху поршня і регулюється засувами на фонтанній арматурі свердловини. Проведені роботи повністю відповідають вимогам правил розробки родовищ.

IV етап – заключний – оцінка ефективності очищення шлейфа свердловини.

Повторно вимірюють дебіт свердловини протягом визначеного часу, записують покази тиску на гирлі свердловини та на вході в УКПГ і відповідну зміну температури.

Оцінюють зміну коефіцієнту гідравлічної ефективності та відповідну зміну об'єму забруднень у порожнині шлейфа після проведення очищення.

Оцінюють коефіцієнт очищення порожнини шлейфу свердловини за формулою 21.

Рішення щодо ефективності проведення операцій з очистки приймають за отриманими результатами аналізу:

- зміни дебіту свердловини;
- зміни робочого тиску на гирлі свердловини;
- коефіцієнту очищення свердловини;
- кількості утилізованої рідини та її вартості.

Результати економічного розрахунку підтверджують, що низька величина робочого тиску на гирлі свердловин родовищ забезпечується високою ефективністю роботи газопроводів і низьких втрат тиску в технологічних об'язках ДКС та установок. Це зумовлює той факт, що централізована схема збору газу забезпечує, фактично, аналогічний обсяг видобутку газу, як і децентралізована схема збору. Впровадження вищеперерахованого переліку заходів дозволяє знівелювати вплив гідравлічних опорів у наземній інфраструктурі родовищ на величини робочого тиску свердловин, що дозволить досягти більшого припливу вуглеводнів. Прогнозне значення видобутку газу є функцією відгуку на спрацювання резерву робочого тиску свердловин і, фактично, є показником вуглеводневіддачі родовищ в умовах пониження робочих тисків. Тому варіант реконструкції системи збору з обладнанням її засобами для очистки рекомендується до впровадження як найменш затратний. Вже після його впровадження, що, в першу чергу, передбачає розвантаження газозбірної системи, на основі промислових і гідравлічних досліджень можна зіставити фактично отриманий приріст у видобутку газу з прогнозними показниками.

## **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ**

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень вирішена науково-практична задача підвищення ефективності газопроводів газозбірних систем нафтових і газових промислів. Основні результати полягають в наступному.

1. У результаті проведеного системного аналізу роботи газозбірних мереж і даних науково-технічних джерел виявлено, що газозбірні системи виснажених українських нафтових і газоконденсатних родовищ потребують звільнення від накопичених забруднень різного типу: це збільшить об'єм видобутку природного газу та зменшить ризики аварійних відмов обладнання. Поставлена задача вирішення проблеми очистки газозбірної системи обладнаної нерівнопрохідною запірною арматурою, з місцевими звуженнями, без проведення її заміни, а отже, без значних капіталовкладень.

2. Проаналізовано особливості експлуатації трубопроводів на нафтогазопромислових площах. Визначено, що такі трубопроводи перекачують здебільшого багатофазове середовище. Представлено алгоритм визначення структурної форми руху газорідного потоку, оцінки його типу і однорідності, визначення параметрів гідравлічного стану. На основі алгоритму розроблено

послідовність вибору раціональних способів відведення рідини з порожнини трубопроводу за їх принципом дії. Визначено, що найбільш раціональним методом очистки міжпромислових газопроводів і шлейфів свердловин є пропускання очисних поршнів. Поставлено завдання удосконалити конструкцію очисного поршня таким чином, щоб його застосування не обмежувалось відсутністю застарілої нерівнопрохідної запірної арматури в районах газозбірних систем виснажених родовищ України.

3. У результаті проведення стендових досліджень, встановлено що: пружно-полімерна композиція на основі 1,5% полімеру (гуарова камідь, загущена боратовим зшивачем), що за об'ємом становить двадцяті частину об'єму очищуваного трубопроводу, ефективно очищає гладкостінний трубопровід (еквівалентною шорсткістю 0,015 мм). Для запобігання застряганню поршня передбачено застосування пружно-полімерної композиції в оболонці та технічної воду з додаванням поверхнево-активних речовин й інгібітору корозії. За робочою матрицею планування експерименту розроблено рівняння регресії, що описують процес проходження поршня порожниною трубопроводу. Отримано математичну регресійну модель руху композиції, яка зв'язує час її проходження порожниною ділянки з певною технічною характеристикою зі швидкістю газового потоку, орієнтовним обсягом забруднень і їх типом в порожнині газопроводу.

4. Розроблену регресійну модель адаптовано до промислового використання шляхом зв'язку її з основними параметрами роботи шлейфа свердловини або міжпромислового газопроводу. Розроблено дослідну технологію реалізації процесу очищення діючих шлейфів свердловин для типових нафтових, газоконденсатних та газових родовищ за допомогою керування процесу на запірній арматурі свердловини і установки збору, і підготовки продукції. Проведено економічний розрахунок, його результати підтверджують, що низька величина робочого тиску на гирлі свердловин родовищ забезпечується високою ефективністю роботи газопроводів і низькими втратами тиску в технологічних об'язках ДКС та установок.

Технологію впроваджено на свердловинах Пасічнянського газоконденсатного родовища. Ефект полягав у зменшенні робочих тисків на гирлах свердловин та відповідному зростанні видобутку газу. Очікуваний ефект від впровадження становить 30% зростання видобутку газу до базового (до проведення очищення) згідно з актом впровадження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Горін П. В., Поляруш К. А., Тимків Д.Ф., Романова В.В., Добрунов Д.Є. Розробка способу очистки шлейфів свердловин. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2018. № 6(247). С. 213–222. (наукове фахове видання України).



2. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф., Братах М. І., Філіпчук О. О. Обґрунтування оптимальних методів очищення газопроводів для різних структур газорідинних потоків. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 1/2(45). С. 21–30. **(індексується в світових наукометричних базах даних і системах).**

3. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф., Романова В.В., Філіпчук О. О. Оцінка пропускної здатності системи газопроводів, що приймають і транспортують газ власного видобутку. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. № 1. С. 13–21. **(Естонія, індексується в світових наукометричних базах даних і системах, Scopus).**

4. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф., Голубенко В. П. Систематизація методів очистки газозбірних мереж для транспортування газу зрілих родовищ. *Комунальне господарство міст*. 2017. Вип. 134. С. 52-57. **(наукове фахове видання України).**

5. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф., Романова В. В. Моделювання процесу очистки шлейфів свердловин. *Інтегровані технології та енергозбереження*. № 1. С. 37-44. **(наукове фахове видання України).**

6. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф. Попутний нафтовий газ та його вплив на роботу типових газозбірних систем. *Нафтогазова енергетика*. 2018. № 1(29). С. 7-10. **(наукове фахове видання України).**

#### Патенти

7. Спосіб очищення внутрішньої порожнини трубопроводу: патент Україна. № 201803083, заявл. 26.03.18; опубл. 06.08.2003, № 21412/ЗУ/18. 7 с. Автори: **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф., Грудз В. Я. **(патент на корисну модель).**

#### Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. **Горін П. В.** Особливості експлуатації систем для сумісного збору нафти, газу, конденсату і води. *Нафтогазова енергетика-2017*: тези доп. 6-тої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Івано-Франківськ, 15-19 травня 2017 р. Івано-Франківськ, 2017. С. 382.

9. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф. Попутній нафтовий газ та його вплив на роботу типових газозбірних систем. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2017*: тези доп. 9-тої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Дніпро, 28-30 березня 2017 р. Дніпро, 2017. С. 148.

10. **Горін П. В.**, Тимків Д. Ф. Компонентний склад нафтогазового газу і його вплив на якісний склад забруднень газопроводів. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазовпромислового обладнання*: тези доп. 8-мої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Івано-Франківськ, 14-16 листопада 2017 р. Івано-Франківськ, С. 179-181.

11. **Горін П. В.** Математичне моделювання руху газорідинних сумішей при забрудненні трубопроводу. *Нафтогазова енергетика-2017*: тези доп. 6-тої Міжнар. наук.-техн. конф., м. Івано-Франківськ, 15-19 травня 2017 р. Івано-Франківськ, 2017. С. 190-191.

## **Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

12. **Горін П. В.**, Скрильник К. Ю., Снігур Є. В., Братах М. І. Гідравлічний розрахунок трубопроводів для перекачування двохфазових потоків із високим газовмістом. *Збірник наукових праць «ЛОГОΣ»*. 2017. Частина 2. С. 175-180.

## **АНОТАЦІЯ**

**Горін П. В. Підвищення ефективності газопроводів газозбірних систем нафтових і газових промислів. – 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. Івано-Франківськ, 2021.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності газопроводів газозбірних систем нафтових і газових родовищ.

Проведено системний аналіз роботи газозбірних мереж і даних науково-технічних джерел. Виявлено, що газозбірні системи зрілих українських нафтових і газоконденсатних родовищ є застарілими з точки зору облаштування їх нерівнопрохідною запірною арматурою, що, фактично, унеможливує проведення періодичної очистки традиційними поршнями-скребками. Проаналізовано особливості трубопроводів на нафтогазопромислових площах, які формують систему для збору нафтогазопромислової продукції. Визначено, що такі трубопроводи перекачують здебільшого багатофазове середовище. Представлено алгоритм визначення структурної форми руху газорідного потоку, оцінки його типу однорідності, визначення параметрів гідравлічного стану. Розроблено послідовність вибору найбільш раціональних способів відведення рідини з порожнини трубопроводу за їх принципом дії. Представлено результати адаптації розробленого математичного алгоритму для діючої ділянки трубопроводу, що транспортує багатофазове середовище. Створено пружно-полімерну композицію та фізичну модель руху поршня трубопроводом. Проведено моделювання руху пружно-полімерної композиції.

Систематизовано дані проведеного чинникового експерименту щодо поведінки пружно-полімерної композиції під час очищення гладкостінного трубопроводу. За результатами аналізу отримано математичну регресійну модель руху композиції, яка прив'язує час її проходження порожниною ділянки з певною технічною характеристикою зі швидкістю газового потоку, орієнтовним обсягом забруднень і їх типом у порожнині газопроводу. Розроблену регресійну модель адаптовано до промислового використання. Розроблено дослідну технологію реалізації процесу очищення діючих шлейфів свердловин для типових нафтових, газоконденсатних та газових родовищ.

*Ключові слова: газозбірна система, багатозфазове середовище, очисний поршень, технологія очистки.*

## АННОТАЦІЯ

**Горін П. В. Повышение эффективности газопроводов газосборных систем нефтяных и газовых промыслов. – 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. Ивано – Франковск, 2021.

Диссертация посвящена повышению эффективности газопроводов газосборных систем нефтяных и газовых месторождений.

Выявлено, что газосборные системы зрелых украинских нефтяных и газоконденсатных месторождений, устаревшие с точки зрения обустройства их неравнопроходной запорной арматурой, фактически исключают возможность проведения периодической очистки традиционными поршнями-скребками.

Проведен обзор литературы посвященной проблемам сбора нефтяного газа и очистки системы трубопроводов. Анализируя имеющиеся современные разработки и средства для очистки газосборных систем, хочется отметить отсутствие универсальных очистных устройств, которые можно было бы использовать, как для трубопроводов со сменными диаметрами по длине, так и для различных диаметров трубопроводов с имеющейся неравнопроходной арматурой без необходимости обустройства камерами пуска-приема очистных поршней, а также отсутствием необходимости изготовления новой конструкции очистного устройства под разные диаметры трубопроводов. Предложено в качестве технического решения разработку упругого жидкостного поршня и технологии очистки шлейфов скважин с его помощью.

Приведен компонентный состав типичных газового, газоконденсатного и нефтяного месторождений Украины. Решено вопрос, каким образом формируются загрязнения конденсатного типа на определенном километре трассы газосборной сети, их влияние на режимы работы сети и оборудования для подготовки нефтяного газа.

Представлен алгоритм определения структурной формы движения газожидкостного потока, оценки его типа (за основным перекачиваемым продуктом) и однородности, определения параметров гидравлического состояния: номинальных и реальных потерь давления во время сбора и транспортировки продукции, обуславливающих различные значения конечного давления на исследуемых участках трубопровода.

Систематизированы методы и способы очистки газосборных сетей для транспортировки нефтяного газа зрелых месторождений. Построен алгоритм выбора рационального способа отвода загрязнений из полости трубопровода. Для очистки газопроводов малой протяженности (ответвления, промышленные

газопроводы) с неравнопроходной запорной арматурой предложен метод скоростного потока газа. Представлены результаты адаптации разработанного математического алгоритма для действующего участка трубопровода, транспортирующего многофазную среду.

Для выполнения стендовых экспериментальных исследований модели эластичного поршня, способного проходить местные сужения и опоры во время очистки внутренней поверхности трубопровода, разработана «Программа с методикой стендовых экспериментальных исследований упругой полимерной композиции для очистки шлейфов скважин». Создана физическая модель движения поршня по трубопроводу. Смоделирована работа действующего шлейфа с агрессивными условиями эксплуатации.

В промышленных условиях, особенно при прохождении восходящих «сухих» участков шлейфов скважин, возможно застревание упруго-полимерной композиции в полости шлейфа. Поэтому технология очистки действующего шлейфа скважины должна предусмотреть использование поршня, состоящего из двух частей:

- упруго-полимерная композиция в оболочке (толкающее устройство);
- техническая вода с добавлением поверхностно-активных (моющих или скользких) веществ и ингибитора коррозии (вещество, которое толкают).

Проведено математическое моделирование результатов экспериментальных исследований. Систематизированы данные проведенного факторного эксперимента относительно поведения упруго-полимерной композиции при очистке гладкостенного трубопровода. По результатам анализа получена математическая регрессионная модель движения композиции, связывающая время ее прохождения полостью участка с определенной технической характеристикой со скоростью газового потока, ориентировочным объемом загрязнений и их типа в полости газопровода. Проведена аппроксимация результатов экспериментальных исследований для применения композиции на действующих шлейфах скважин.

Разработанная регрессионная модель адаптирована к промышленному использованию путем связи ее с основными параметрами работы шлейфа скважины или межпромышленного газопровода (фактически с технологическим режимом его работы). Модель показывает, насколько плотной необходимо создать композицию до момента разрушения ее внешней эластичной оболочки и время начала приема загрязнений в сепарационном оборудовании установок.

Разработана исследовательская технология реализации процесса очистки шлейфов скважин для типовых нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений с помощью управления процесса на запорной арматуре скважины и установки сбора, и подготовки продукции. Технология внедрена на скважинах действующего газоконденсатного месторождения. Эффект заключался в уменьшении рабочих давлений на устьях скважин и соответствующем росте добычи газа.

*Ключевые слова: газосборная система, многофазная среда, очистной поршень, технология очистки.*

## ANNOTATION

***Gorin P. V. Efficiency improving of gas pipelines in gas collection systems of oil and gas industries. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.***

The thesis has been written to get scientific degree of candidate of technical sciences major in 05.15.13 - Pipeline Transportation, Oil-and-Gas Storages. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2021.

The thesis was devoted to efficiency improving of gas pipelines in gas collection systems of oil and gas industries

System analysis of gas-collecting networks and data of scientific and technical sources has been carried out. It has been revealed that the gas-collecting systems of mature Ukrainian oil and gas condensate deposits are outdated in terms of the closure ties arrangement of uneven permeability, which in fact excludes the possibility of periodic cleaning with traditional pig-scrappers. Peculiarities of pipelines on oil and gas fields, which form the system for collecting oil and gas products are analyzed. It was determined that such pipelines mostly pump a multiphase environment. An algorithm for determination of the structural motion form the gas-liquid flow, evaluation of its homogeneity, determination of its hydraulic state parameters was presented. The sequence of choosing the optimal methods for removing fluid from the cavity of the pipeline has been developed based on their principle of action. The adaptation results of the developed mathematical algorithm for the operating area of the pipeline transporting the multiphase environment was presented. The elastic-polymer composition and the physical model of the movement of the piston along the pipeline have been created. The motion simulation of the elastic-polymeric composition has been carried out.

The data of the conducted factor experiment on the behavior of the elastic-polymeric composition during the cleaning of the smooth-walled pipeline was systematized. According to the analysis results, the mathematical regression model of composition motion that binds its passage through the cavity of a site with a certain technical characteristic with the speed of gas stream, the approximate volume of pollution and its type in the cavity of the gas pipeline is obtained. The developed regression model was adapted for industrial use. The experimental technology of process realization of clearing existing well loops for typical oil, gas condensate and gas fields has been developed.

*Key words: gas-collecting system, multiphase environment, cleaning piston, purification technology.*