

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**ФІЛІПЧУК Олександр Олександрович**



УДК 622.691

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА  
КЕРУВАННЯ ГАЗОПОТОКАМИ СИСТЕМ ЗБОРУ ГАЗУ  
ВИСНАЖЕНИХ РОДОВИЩ**

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

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

Івано-Франківськ – 2019

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

**Грудз Володимир Ярославович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри газонафтопроводів і газонафтосховищ

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент

**Говдяк Роман Михайлович**, генеральний директор інжинірингової компанії «Машекспорт» (м. Київ).

кандидат технічних наук

**Якимів Микола Мирославович**, заступник директора з комерційної діяльності та стратегічного розвитку ТЗОВ «Геогазцентр» (м. Київ).

Захист відбудеться 11 червня 2019 р. о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З 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 07 травня 2019 р.

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



Пилипів Л.Д.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Згідно із класифікаціями різних газовидобувних компаній родовище вуглеводнів вважається таким, що перейшло у завершальну стадію розробки, якщо пройшло піковий період видобутку або розробляється встановлену кількість років. Такі родовища рахуються виснаженими і є суттєвим викликом в плані експлуатації, оскільки в кількісному обсязі їх близько 70 %, а обсяг вуглеводнів, що видобуваються з пластів цих родовищ, сягає 73 %, в той час як нові родовища займають частку до 3 %.

З іншого боку, цих 73 % обсягу видобутку для найбільшої газовидобувної компанії України в 2018 році становитимуть близько 11,3 млрд. м<sup>3</sup> і його основна частина в понад 10 млрд. м<sup>3</sup> припадатиме на родовища, що розробляються в газовому режимі на виснаження. Підтримання базового видобутку з цих родовищ в першу чергу пов'язано із оптимізацією робочих тисків на гирлі свердловин, отже, питання пошуку шляхів мінімізації допустимих тисків на гирлах свердловин є доволі актуальним. Фактично єдиним шляхом зменшення величин робочих тисків є компримування природного газу, оскільки це зменшуватиме пластовий тиск і, відповідно, збільшуватиме обсяг видобутку вуглеводнів з газоносного пласта. Отже, априорі ми розглядаємо, що дотискувальна компресорна станція вже знаходиться в газозбірній системі родовищ відповідно в складі централізованого або групового пункту збору.

Але мінімізація робочих тисків залежить від гідравлічного опору трьох основних систем наземної інфраструктури: збору, підготовки та компримування, міжпромислового транспортування природного газу. Ці системи чинять певний гідравлічний опір, величина якого залежить від ефективності роботи кожної із них, відповідно, чим менша величина цього гідравлічного опору, тим менший перепад тиску між гирлом свердловини і дожимною компресорною станцією (ДКС), і видобуток вуглеводнів для «brown field» буде зростати. Таким чином, видобуток природного газу і термін рентабельної розробки родовища напряму залежить від ефективності роботи систем збору, підготовки і транспортування природного газу, а отже питання підвищення ефективності їх експлуатації є актуальним, оскільки взаємопов'язує режими роботи системи «вибій свердловини - гирло - груповий пункт збору газу - внутрішньопромисловий газопровід - центральний газозбірний пункт».

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідної роботи:

– «Реалізація пілотного проекту по оптимізації роботи свердловин та системи збору, компримування та міжпромислового транспортування продукції з використанням програмного забезпечення PipeSim (Schlumberger)» АТ «Укргазвидобування» (наряд-замовлення № 101 УГВ/2018-2018 (тема № 45.858/2018-2018));

– Стратегії нарощування газу власного видобутку «20/20»;

– Операційних планів з видобутку природного газу.

**Мета роботи** полягає в збільшенні продуктивності виснажених газових родовищ шляхом підвищення гідравлічної ефективності газозбірної системи і раціонального планування газопотоків в системі міжпромислового транспортування газу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

– проаналізувати існуючий стан газовидобувної системи в розрізі «пласт – магістральний газопровід» та вплив гідравлічної ефективності газозбірної системи на робочий тиск свердловин і рівень базового видобутку для родовищ, що розробляються в газовому режимі на виснаження;

– розробити математичну модель процесів збору та транспортування газу «виснажених» родовищ, враховуючи динаміку гідравлічної ефективності її елементів від вибою свердловини до установки підготовки вуглеводнів;

– оцінити вплив гідравлічного стану системи збору і міжпромислового транспортування газу та змодельовати поведінку газозбірної системи в умовах впровадження заходів підвищення її гідравлічної ефективності;

– розробити заходи з раціонального вибору газових потоків системи міжпромислового транспортування газу, а також зміну напрямку газових потоків на промислах та оцінкою ефективності в сучасних програмних комплексах, що використовують всесвітньовідомі математичні моделі руху газорідних потоків.

**Об'єктом досліджень** є системи збору і міжпромислового транспортування природного газу.

**Предметом досліджень** є гідравлічний стан системи збору і міжпромислового транспортування природного газу та чинники, що впливають на його зміну.

**Методи дослідження.** При виконанні роботи використано системний аналіз режимів роботи газовидобувної і газозбірної системи, теорія кінематики і гідродинаміки газорідних сумішей в трубопроводах, методи математичного моделювання і відомі математичні моделі руху стисливого середовища, теорія розробки газових покладів, методи оптимізації і їх реалізація в програмному забезпеченні, статистична обробка даних експлуатації газопромислових об'єктів на основі створення комплексної моделі газовидобувної системи.

**Положення, що виносяться на захист.** Закономірності функціонування технічних засобів підвищення гідравлічної ефективності системи збору газу.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в тому, що:

– вперше аналітично досліджено вплив гідравлічної ефективності елементів системи збору і міжпромислового транспортування газу на продуктивність виснаженого родовища на основі реалізації створеної математичної моделі газозбірної системи в розрізі «пласт – магістральний газопровід»;

- встановлено характер руху газу в насосно-компресорних трубах свердловини та промислових газопроводах на базі створеної математичної моделі, що дало можливість науково обґрунтувати розроблення нових конструкцій очисних пристроїв для підвищення гідравлічної ефективності елементів системи збору та міжпромислового транспортування газу;

- оцінено вплив гідравлічного стану системи збору і міжпромислового транспортування газу на основі математичного моделювання та поведінку газозбірної системи в умовах впровадження заходів підвищення її гідравлічної ефективності;

- розроблено заходи з раціонального вибору газових потоків системи міжпромислового транспортування газу, а також зміну напрямку газових потоків на промислах з оцінкою підвищення ефективності в сучасних програмних комплексах, що використовують всесвітньовідомі математичні моделі руху газорідних потоків.

**Практичне значення отриманих результатів.** В результаті дослідження гідравлічної ефективності системи збору і міжпромислового транспортування газу визначено проблемні ділянки, на яких змодельовано впровадження конструктивних елементів для зменшення гідравлічного опору. Запропоновано впровадження моніторингу гідравлічного стану системи.

Аналіз інтегрованої моделі газозбірної системи дозволив обґрунтувати доцільність зміни напрямку транспортування газу і зниження робочих тисків, що дозволило наростити рівень видобутку природного газу на 10 %.

На основі результатів досліджень розроблено техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження технічних рішень в промислову експлуатацію, показано отриманий економічний ефект.

**Особистий внесок здобувача.** Безпосередньо автором:

- розроблено модель процесів збору та міжпромислового транспортування газу, враховуючи динаміку гідравлічної ефективності системи [2, 2.1, 3, 4, 5, 10, 11, 13, 14, 15];

- запропоновано впровадження моніторингу гідравлічного стану системи в режимі «on line» для визначення проблемних ділянок [1, 4, 10, 11,];

- запропоновано удосконалення очищення трубопроводів системи збору газу і насосно-компресорних труб свердловин новими конструктивними елементами [2, 2.1, 3, 7, 8, 13];

- оцінено ефективність впровадження заходів по зміні напрямку газових потоків на рівні видобутку газу [1, 8, 5, 6];

- автор брав безпосередню участь у створенні і впровадженні інтегрованої математичної моделі системи та оцінюванні реакції на методи оптимізації її роботи [2, 2.1, 3, 6, 13, 15].

**Апробація роботи.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика – 2017» (м. Івано-Франківськ, 2017 р.), II міжнародній науково-технічній конференції «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу PGE-2018»

(м. Івано-Франківськ, 2018 р.), міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази» ІГГ-2018 (м. Івано-Франківськ, 2018 р.), XXVI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2018)» (м. Харків, 2018 р.) (2 тези), міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення», №29 (м. Тернопіль, 2018 р.), міжнародній науково-практичній веб-конференції молодих учених та студентів «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2018» (17-19 вересня 2018 року), (м. Івано-Франківськ, 2018 р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 15 друкованих праць, із них 1 – стаття у міжнародному наукометричному науковому журналі, що індексується в наукометричній базі даних Scopus, 3 – у міжнародних наукових журналах, що індексуються в світових наукометричних базах даних і системах; 2 – у наукових фахових виданнях, затверджених ДАК України, 2 – патенти на корисну модель; 7 – тез доповідей на міжнародних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 183 сторінках машинописного тексту, складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 131 сторінку друкованого тексту. Робота ілюстрована 3 таблицями та 51 рисунком. Список використаних джерел містить 83 найменувань.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, показано актуальність теми, її зв'язок з науковими планами, програмами, мету і задачі досліджень, її наукову новизну і практичну цінність, а також особистий внесок автора в результати досліджень.

**Перший розділ** присвячено дослідженням стану проблеми на основі аналізу літературних джерел, формуванню та конкретизації задач досліджень. Розглядаються питання, пов'язані з аналізом способів підвищення продуктивності газових родовищ на стадії виснаження

Дослідженню гідравлічної ефективності газопроводів і методів її підвищення присвячено роботи Галіулліна З.Т., Грудза В.Я., Девічева В.В., Жидкової М.О., Тимківа Д.Ф., Шварца М.Е., Якиміва М.М., Яковлева Є.І. та ін. Ними розглянуті режими роботи магістральних газопроводів, можливості регулювання динаміки роботи, вивчені аспекти розрахунків ефективності та методи її підвищення. Однак, проблемі діагностування систем збору газу на промислах і методам покращення їх технічного стану практично не приділено уваги.

З метою виявлення найбільш забруднених елементів системи збору газу на промислі проводиться постійний контроль. Під час експлуатації газопроводів контроль полягає у визначенні максимально можливого

завантаження трубопроводу при певному робочому тиску та оцінці гідравлічної ефективності газопроводу (для видобувного підприємства – оцінці загальних втрат тиску під час збору або транспортування продукції, що викликана забрудненнями, визначення місць накопичення цих забруднень та їх орієнтовного об'єму). Оскільки гідравлічний стан трубопроводу не є величиною сталою, то його зміни слід постійно контролювати, тобто здійснювати моніторинг гідравлічного стану.

Відповідно, гідравлічний стан системи збору та транспортування газу виснажених родовищ є чи не найважливішим чинником, що впливає на розподіл величин робочого тиску і суттєво позначається на об'ємах видобутку газу.

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

В **другому розділі** розглядаються питання дослідження гідравлічної ефективності системи збору та міжпромислового транспортування газу окремо кожного з елементів і її вплив на продуктивність родовища.

Одним з визначальних факторів, що обумовлюють дебіт свердловин газового родовища і його продуктивність є наявний перепад тиску між продуктивним пластом і трубопроводом, в який подається видобутий газ. Величина наявного перепаду тиску є вихідним положенням при проектуванні газозбірної системи і міжпромислових колекторів.

На стадії виснаження родовища наявний перепад тиску зменшується за рахунок падіння пластового тиску. При цьому величина газодинамічного опору системи збору газу постійно зростає за рахунок накопичення в трубопроводах рідкої фази і твердих відкладень, які частково перекривають переріз газового потоку і створюють умови виникнення двофазних течій в трубах. Збільшення газодинамічного опору системи збору газу в комплексі з падінням пластового тиску призводять до зменшення дебіту свердловин, а, значить, зниження продуктивності родовища.

Зростання газодинамічного опору насосно-компресорних труб свердловини і газопроводів системи збору газу загальноприйнято оцінювати коефіцієнтом гідравлічної ефективності, який визначається відношенням фактичної і проектної пропускної здатності і являється функцією технічного стану трубопроводів.

Для підвищення коефіцієнта гідравлічної ефективності трубопроводів і насосно-компресорних труб необхідно приймати рішення про комплекс заходів з очищення трубопроводів від рідкої фази і твердих відкладень. Однак, для прийняття такого рішення необхідно провести ряд обстежень трубопроводів системи збору газу і насосно-компресорних труб свердловин, в результаті якого слід дати оцінку впливу гідравлічної ефективності кожного з елементів системи на зростання дебіту свердловин, що дозволить визначити об'єкти першочергового обслуговування та періодичність проведення запланованих заходів.

Для оцінки впливу гідравлічної ефективності кожного з елементів системи збору газу на продуктивність родовища створено математичну

модель системи на базі характеристик насосно-компресорних труб, шлейфів, колекторів, яка пов'язує дебїти свердловин з характеристиками системи збору (в тому числі коефіцієнтами гідравлічної ефективності) при відомому наявному перепаді тисків пласта і трубопроводу. При цьому характеристики елементів системи збору газу побудовані на основі моделей стаціонарної течії газу в насосно-компресорних трубах, шлейфах, колекторах. Шляхом виключення проміжних тисків отримано вираз, що пов'язує параметри газозбірної системи (в тому числі коефіцієнти гідравлічної ефективності) з наявним перепадом тисків в пласті і трубопроводі.

$$P_{пл}^2 \cdot e^{-2s} - P_{к}^2 = (aq + bq^2)e^{-2s} - \left[ \frac{\theta}{E_c^2} e^{-2s} \cdot q^2 + \frac{c_{ш}}{E_{ш}^2} q^2 + \frac{c_{к}}{E_{к}^2} (\sum_{i=1}^n q_i) \right] \quad (1)$$

де  $E_c, E_{ш}, E_{к}$  – коефіцієнти гідравлічної ефективності відповідно насосно-компресорних труб, шлейфів, колекторів;  $P_{пл}, P_{к}$  – тиски в пласті і в кінці колектора;  $q_i$  – дебїт  $i$ -тої свердловини при їх загальній кількості  $n$ ;  $a, b$  – коефіцієнт фільтраційного опору;

$$\theta = 0,0133 \cdot \lambda_{теор} \cdot \frac{z^2 \cdot T^2}{d^5} \cdot (e^{2s} - 1) \quad (2)$$

$$s = 0,031415 \cdot \frac{\Delta L}{z \cdot T} \quad (3)$$

$$c_{ш(к,с)} = \frac{\lambda_{теор.ш(к,с)} \Delta E_{ш(к,с)} T L_{ш(к,с)}}{c d_{ш(к,с)}^5} \quad (4)$$

$c$  – коефіцієнт, що залежить від вибору системи одиниць.

Отримана модель дозволяє визначити дебїт свердловини в залежності від коефіцієнтів гідравлічної ефективності елементів газозбірної системи при заданому перепаді тисків в пласті і трубопроводі. Вважаючи свердловини рівнодебїтними, таку залежність отримано у вигляді

$$q = -\frac{a}{2(b - c_{сист.}^2 e^{2s})} + \sqrt{\frac{a^2}{4(b - c_{сист.}^2 e^{2s})^2} + \frac{P_{п}^2 - P_{к}^2 \cdot e^{2s}}{b - c_{сист.}^2 e^{2s}}} \quad (5)$$

де

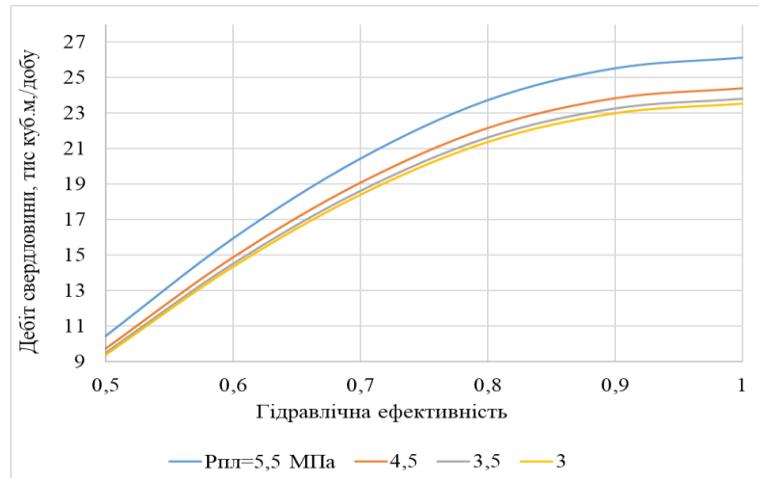
$$\frac{\theta}{E_c^2} e^{-2s} + \frac{c_{ш}}{E_{ш}^2} + \frac{c_{к}}{E_{к}^2} \cdot n^2 = c_{сист.}^2 \quad (6)$$

Реалізація моделі дозволила отримати результати, що характеризують вплив гідравлічної ефективності елементів системи збору газу на дебїт свердловин, які у вигляді графіків подано на рисунку 1.

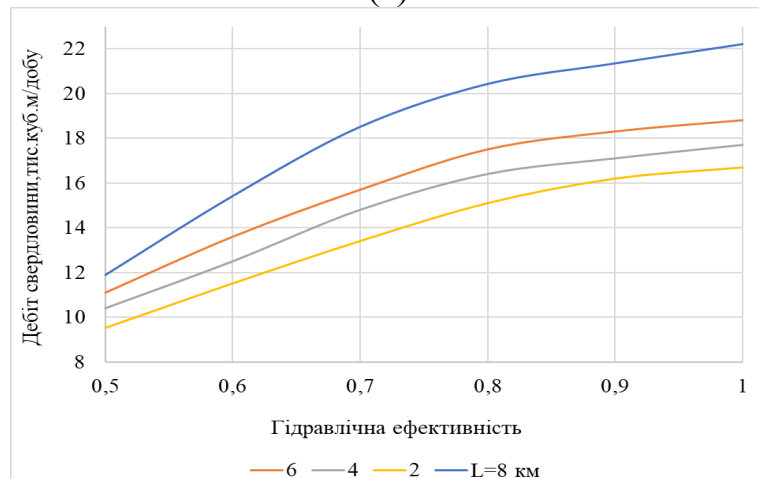
Аналіз результатів моделювання показує, що гідравлічна ефективність елементів газозбірної системи суттєво впливає на дебїт свердловин, а, значить, на продуктивність родовища. Так, при збільшенні гідравлічної ефективності насосно-компресорних труб в межах від 0,5 до 1,0 дебїт свердловини зростає в 2,78 рази. З зростанням пластового тиску залежність дебїту свердловини від гідравлічної ефективності насосно-компресорних труб не змінюється. При пластовому тиску 3 МПа збільшення гідравлічної ефективності насосно-компресорних труб від 0,5 до 1,0 призводить до



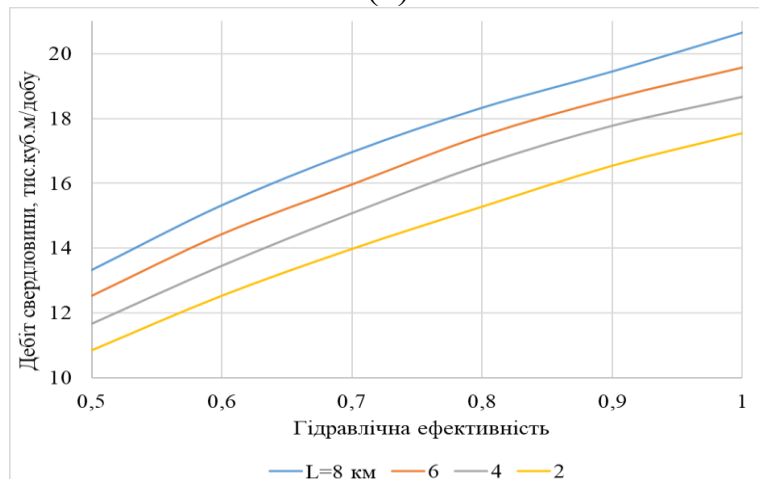
зростання дебіту свердловини в 2,51 рази і при пластовому тиску 5,5 МПа спостерігається аналогічна картина.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 1 – Залежність дебіту свердловин від гідравлічної ефективності НКТ (а), шлейфів (б), колекторів (в)

Для шлейфів також характерно зростання дебіту свердловини при зростанні гідравлічної ефективності. З збільшенням довжини шлейфа ця залежність посилюється. Так, при довжині шлейфа 8 км збільшенні гідравлічної ефективності в межах від 0,5 до 1,0 призводить до зростання дебіту свердловини в 1,96 рази, а при довжині шлейфа 2 км зростання дебіту свердловини при аналогічному збільшенні гідравлічної ефективності складає 1,66 рази.

Для колектора зростання дебіту свердловини при зростанні гідравлічної ефективності дещо уповільнене. З збільшенням довжини колектора ця залежність посилюється. Так, при довжині колектора 8 км збільшенні гідравлічної ефективності в межах від 0,5 до 1,0 призводить до зростання дебіту свердловини в 1,62 рази, а при довжині колектора 2 км зростання дебіту свердловини при аналогічному збільшенні гідравлічної ефективності складає 1,46 рази.

Для дослідження динаміки коефіцієнту гідравлічної ефективності міжпромислових газопроводів було проведено вимірювання фактичних технологічних параметрів на окремих ділянках. З метою оцінки впливу зміни температури навколишнього середовища на показник коефіцієнту гідравлічної ефективності, вимірювання проводилось в зимовий та літній періоди експлуатації.

В результаті проведених досліджень гідравлічного стану системи міжпромислового транспортування газу, було прийнято рішення здійснити моніторинг коефіцієнта гідравлічної ефективності із вимірювання технологічних параметрів системи щодобово (рисунки 2, 3).

Аналізуючи побудовані графіки залежності продуктивності та коефіцієнта гідравлічної ефективності від розрахункового об'єму забруднень (рисунок 2) і вплив кінцевого тиску та температури газу на коефіцієнт гідравлічної ефективності та продуктивності (рисунок 3) на основі розрахункових даних, хочеться відмітити, що при накопиченні рідинної фази в промисловому трубопроводі відмічаються пониження показника коефіцієнта гідравлічної ефективності, при відносно незмінній продуктивності. Досліджуючи побудовані графіки легко помітити, що при накопиченні рідинних забруднень в трубопроводі відзначається пониження пропускної здатності газу, що відповідно тягне за собою пониження коефіцієнта гідравлічної ефективності.

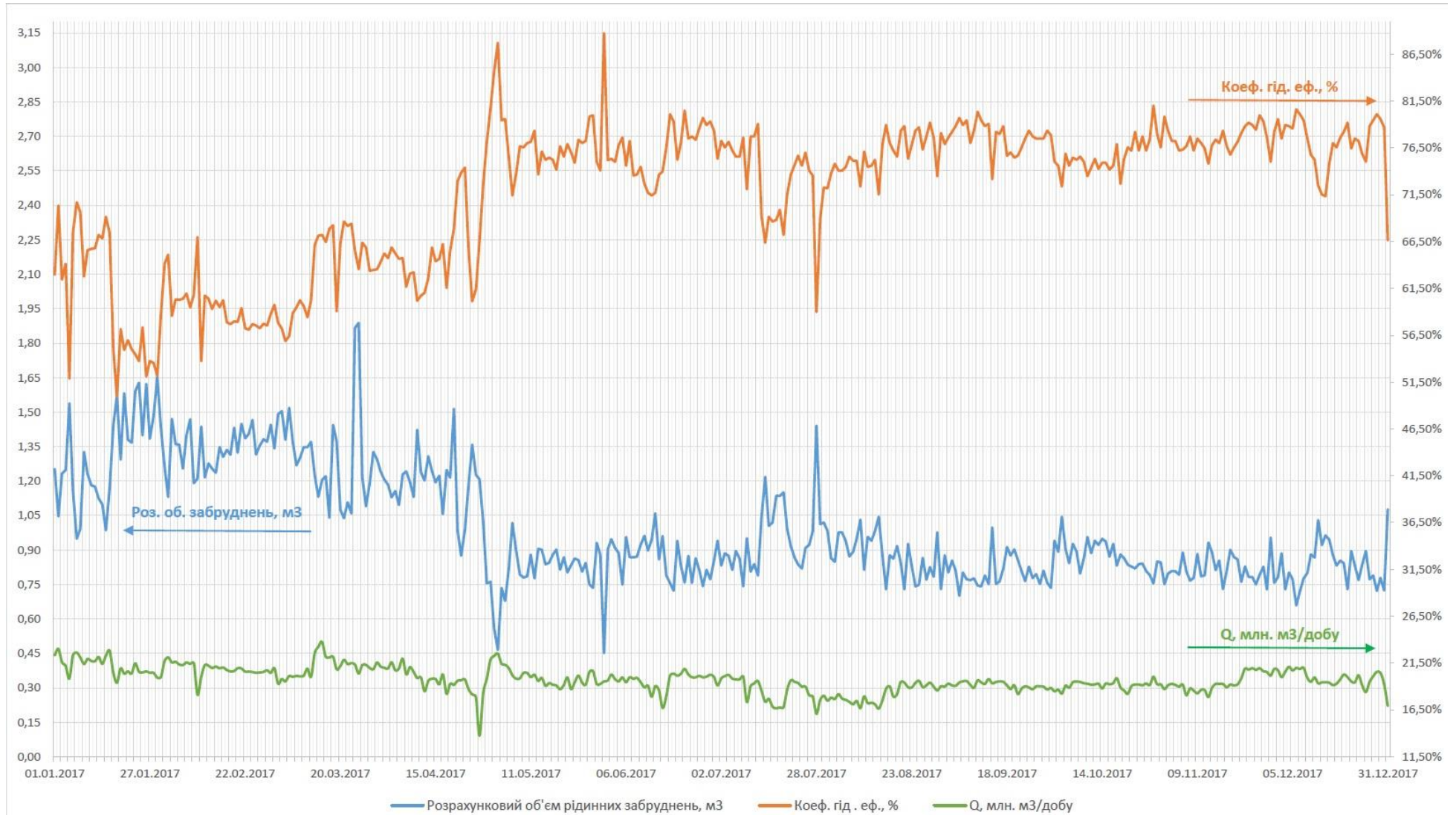


Рисунок 2 – Динаміка продуктивності та коефіцієнта гідравлічної ефективності в залежності від розрахункового об'єму забруднень

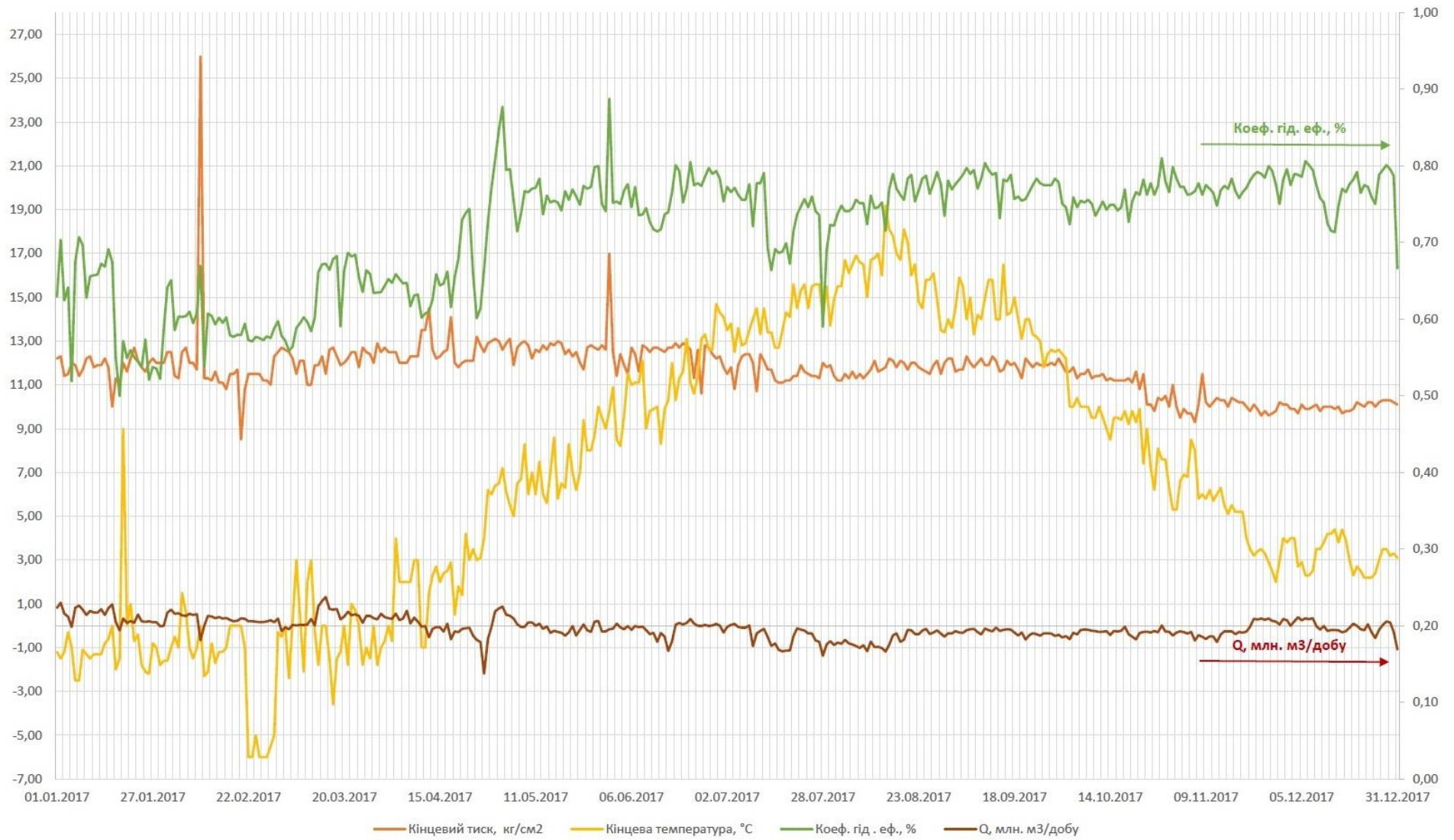


Рисунок 3 – Моніторинг впливу кінцевого тиску та температури на коефіцієнт гідравлічної ефективності та продуктивність промислового трубопроводу

На рисунках 2, 3 відмічаються «піки» накопичення рідини в порожнині промислового трубопроводу. При цьому, при досягненні критичного об'єму «пікових» значень накопичення рідинної фази, спостерігається «залповий винос» рідини із трубопроводу на установку комплексної підготовки газу, що негативно відбивається на роботі технологічного обладнання, та несе за собою створення нештатних ситуацій, або вихід із ладу обладнання, що в подальшому призводить до неефективної підготовки газу на даному УКПГ. Також встановлено, що при досягненні критичного об'єму забруднень в трубопроводі спостерігаються «піки» пониження показника коефіцієнта гідравлічної ефективності. Відповідно, при проходженні «залпового» викиду спостерігається така залежність, коли об'єм забруднень в трубопроводі зменшується, тоді показник коефіцієнта гідравлічної ефективності зростає.

В результаті досліджень було експериментально підтверджено залежність впливу температури навколишнього середовища на якість підготовки газу, а також вплив швидкості газового потоку на утворення рідинних забруднень в порожнині газопроводу.

Експериментально встановлено орієнтовні та критичні об'єми забруднень, а також відстежено місця найбільш ймовірної локалізації та накопичення рідини, що відповідають природним пасткам, які формуються в порожнині трубопроводу при проляганні його по пересіченому профілю траси. Встановлено похибки відхилення реального об'єму забруднень від розрахункового.

**Третій розділ** присвячено розробленню механічних засобів для підвищення ефективності елементів системи збору газу і режимів їх роботи.

Шляхом пониження гідравлічного опору трубопроводів в системі збору газу за рахунок розвантаження ДКС централізованого газозбірної пункту можна мінімізувати затрати пластової енергії на транспортування газу, а також забезпечити недопущення/попередження природного падіння видобутку природного газу виснажених родовищ. Аналіз промислової інформації дозволяє зробити висновок, що ще однією областю невиробничих витрат пластової енергії є шлейфи та міжпромислові трубопроводи, а точніше їх гідравлічний стан. Однією із причин даного прояву є низькі швидкості потоку продукції результатом чого є утворення рідинних пробок в газозбірній мережі. Як відомо, на теренах України даному компоненту системи не приділено належної уваги, внаслідок чого наявна невелика кількість робіт, що присвячена підвищенню гідравлічної ефективності роботи системи збору та міжпромислового транспортування газу виснажених родовищ.

Для підвищення гідравлічної ефективності роботи трубопроводів системи збору та міжпромислового транспортування газу та насосно-компресорних труб свердловин необхідно планувати їх періодичне очищення від рідкої фази та твердих відкладень. Специфічні умови трубопровідної системи збору газу не дозволяють безпосередньо використати пристрої і методику проведення технологічних операцій на магістральних

газопроводах. Тому необхідні додаткові дослідження та конструктивні розробки, які б сприяли очищенню трубопроводів систем збору газу і насосно-компресорних труб від рідкої фази і твердих нашарувань, що являються в основному відкладеннями солей.

Пристрій для очистки трубопроводів (рисунок 4) містить корпус, підпружинений золотник (вал) та випускні отвори. На порожнинному валу радіально розміщено циліндри, обертання яких забезпечується реактивною силою, що створюється випусканням газу через відкриті отвори сопел, розміщені на циліндрах, під дією перепуску газу з порожнинного валу за рахунок руху великого і малих поршнів, які стискають пружини і ущільнюють до стінок діючого трубопроводу елементи для руйнування твердих відкладень.

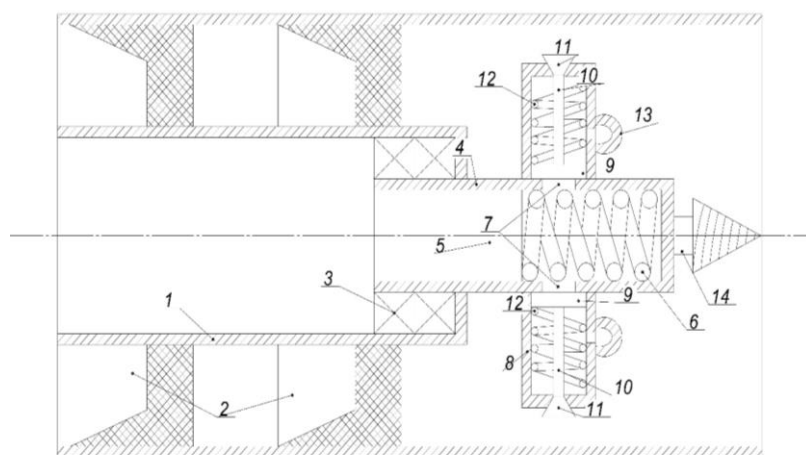


Рисунок 4 – Пристрій для очищення трубопроводу

Модель відноситься до засобів підвищення ефективності роботи трубопроводів шляхом очистки їх внутрішньої порожнини від накопичених твердих забруднень (глинистих, суспензійних, сольових, залишкових відкладів, продуктів корозійного і ерозійного зносу) за допомогою очисних пристроїв.

Для очистки внутрішньої поверхні НКТ від рідини розроблено пристрій (рисунок 5), який приводиться в дію природньою енергією свердловини, результатом чого є досить економічний метод очистки, що сприяє зниженню рівня рідини в газових свердловинах, що призводить до підвищення продуктивності свердловин з недостатнім забійним тиском.

Використання заданого способу витіснення рідини з порожнини НКТ на практиці вимагає оцінки характеру руху механічного пристрою по НКТ в процесі очистки, зокрема визначення часу переміщення його від вибою до гирла свердловини. З цією метою використано математичне моделювання процесу переміщення механічного пристрою під тиском газу по стовбурі свердловини.



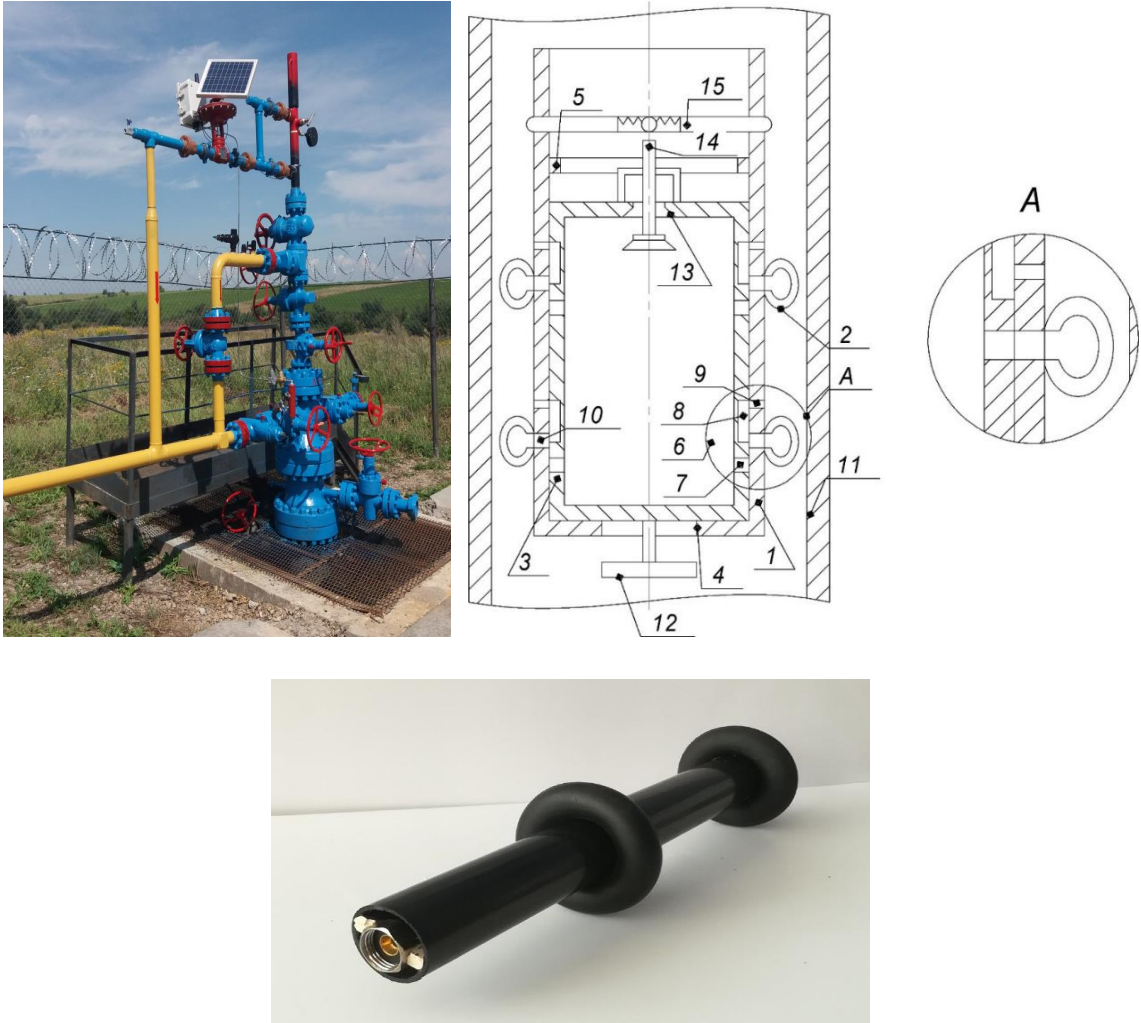


Рисунок 5 – Пристрій для очищення НКТ від забруднень

В основу математичної моделі покладено принцип д'Аламбера для динамічної системи сил. В результаті її реалізації отримано залежності, що дозволяють описати характер руху очисного пристрою в НКТ у вигляді

$$y^2 = \frac{2 \cdot \Delta}{\alpha} \exp\left(-\frac{2 \cdot k}{\alpha} z\right) \cdot \left[ Ei\left(\frac{2 \cdot k}{\alpha} z\right) - Ei\left(\frac{2 \cdot k}{\alpha} m\right) \right] - \frac{g}{k} (1 - \exp(-2 \cdot k \cdot x)) \quad (7)$$

$$y(x) = \frac{dx}{dt} = \left\{ \frac{2 \cdot \Delta}{\alpha} \exp\left(-\frac{2 \cdot k}{\alpha} z\right) \cdot \left[ Ei\left(\frac{2 \cdot k}{\alpha} z\right) - Ei\left(\frac{2 \cdot k}{\alpha} m\right) \right] - \frac{g}{k} (1 - \exp(-2 \cdot k \cdot x)) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

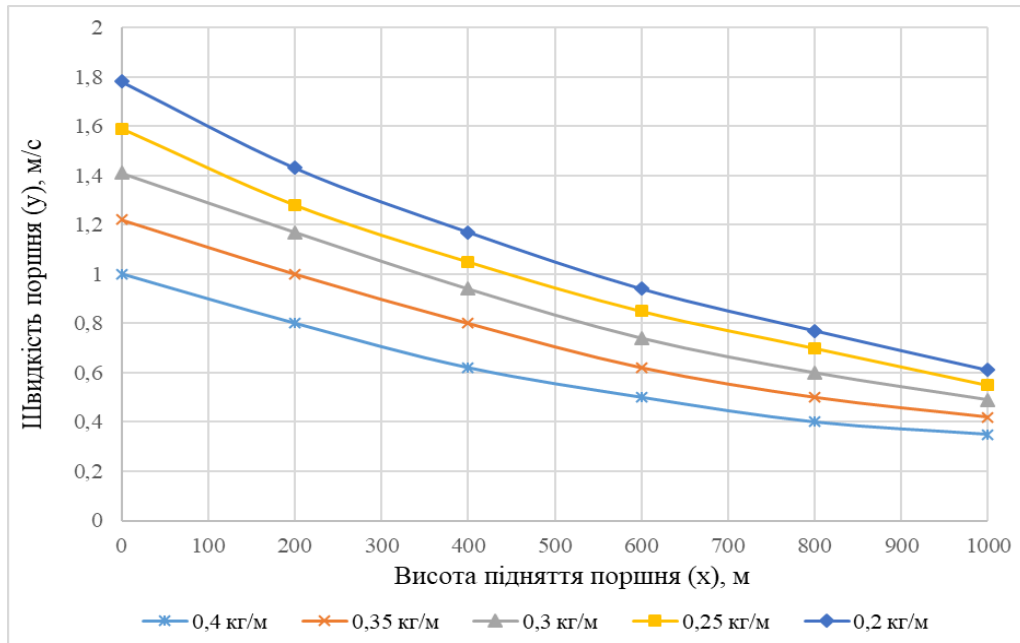
$$x = x(t); \quad \frac{dx}{dt} = y(x), \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{d}{dt} y(x) = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{dt} = y \frac{dy}{dx}, \quad z = m + \alpha \cdot x \quad (9)$$

де  $m$  – маса поршня;  $\alpha$  - товщина рідинної плівки на стінках НКТ.

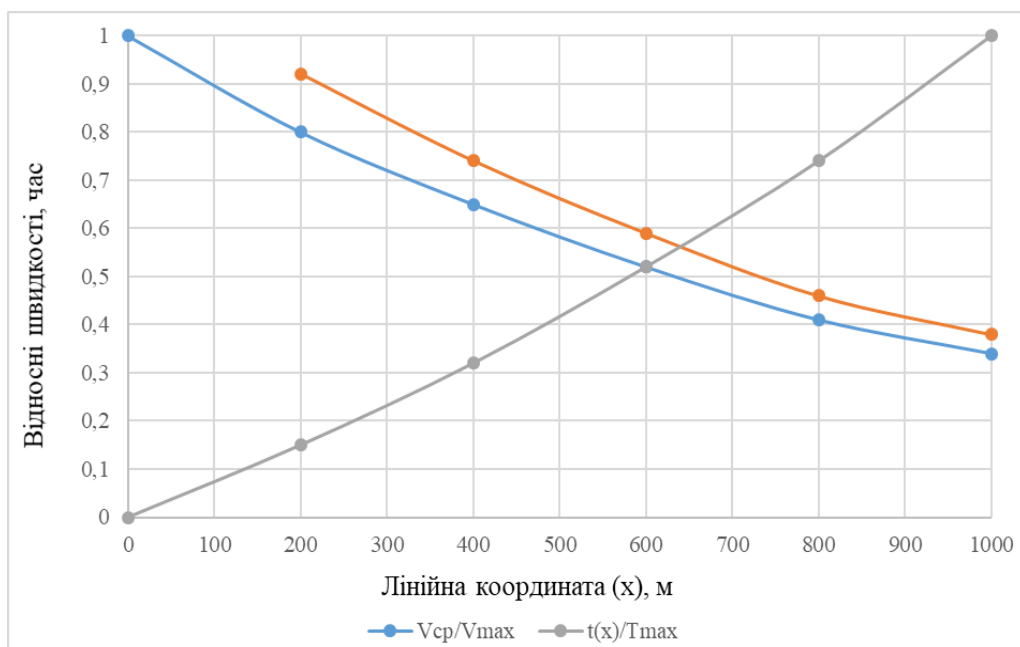
В результаті проведених розрахунків побудовано графічні залежності швидкості руху механічного очисного пристрою від його координат в системі НКТ, які приведені на рисунку 6.

Аналіз результатів показує, що із зростанням лінійної координати очисного механічного пристрою його швидкість зменшується, що пояснюється розширенням газу в свердловині і внаслідок цього зменшенням

його потенціальної енергії. Так, при питомій масі рідини 0,2 кг/м швидкість руху пристрою змінюється від 1,77 м/с в початковому перерізі до 0,58 м/с на висоті 1000, тобто на 67,2 %. Збільшення питомої маси рідини в НКТ також призводить до зниження швидкості руху пристрою. При збільшенні питомої маси рідини до 0,4 кг/м початкова швидкість знижується до 0,98 м/с, тобто на 44,6 %, а кінцева – до 0,37 м/с, тобто на 11,9 %.



а) залежність швидкості руху поршня від його підняття для різних значень  $\alpha$



б) принцип побудови закону переміщення пристрою в свердловині

Рисунок 6 – Характер руху поршня в свердловині

На основі математичного моделювання отримано закономірність характеру руху очисного механічного пристрою в насосно-компресорних



трубах свердловини в процесі підвищення її гідравлічної ефективності і витиснення рідкої фази. Отримані результати дозволяють побудувати характер руху пристрою в часі для прогнозування загальної тривалості процесу.

На графіку (рисунок 7) показано порівняння режиму роботи свердловини із застосуванням ПАР та введення в експлуатацію очисного пристрою. На графіку чітко відмічається стабілізація видобутку газу на рівні максимальних дебітів газу та води. В порівнянні з технологією аерації вибієної рідини, якої досягали з допомогою закачування ПАР в свердловину з подальшим підйомом вибієної «пачки» на устя. Робота очисного пристрою забезпечує постійний і стабільний відбір пластового флюїду і газу з продуктивного горизонту.

Позитивними чинниками після введення в дію очисного пристрою є:

- додатковий приріст газу по шести встановлених свердловин, який становив 66 % у відповідності до базового видобутку;
- забезпечення оптимального відбору газу при максимальному використанні пластової енергії.

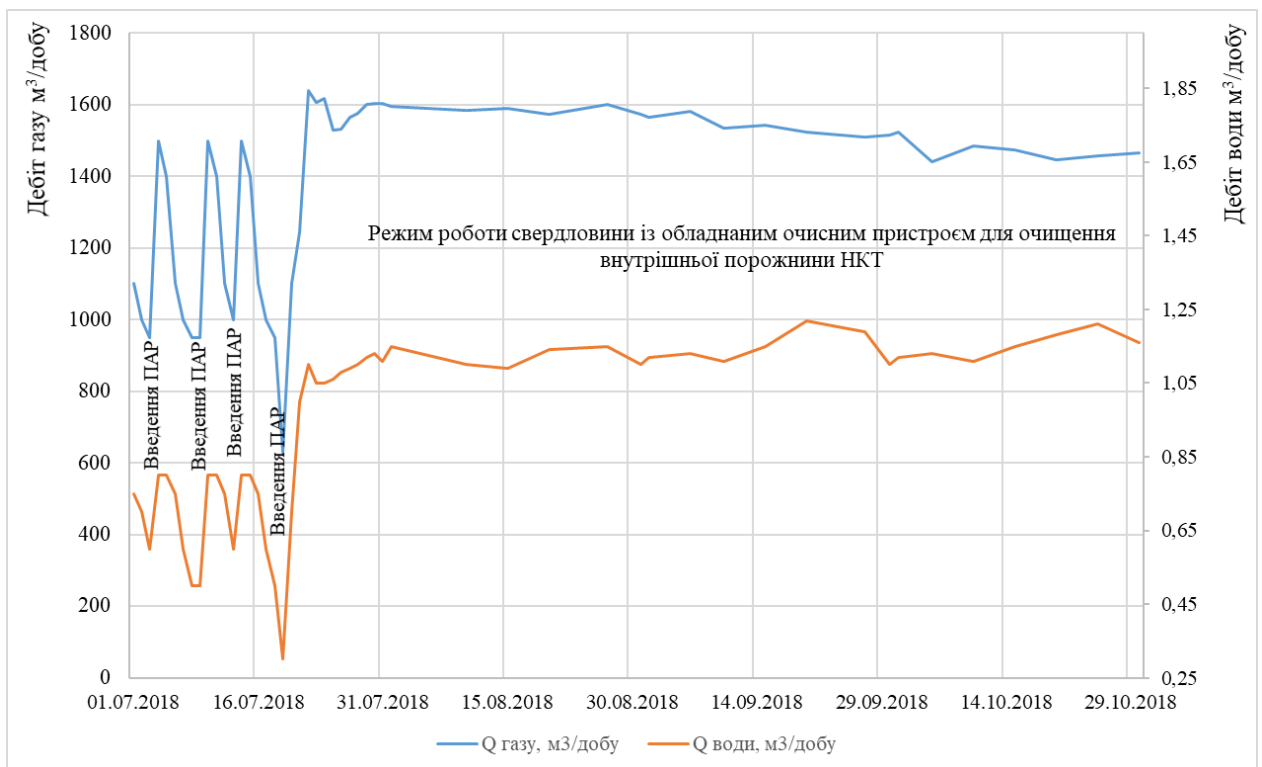


Рисунок 7 – Підвищення ефективності роботи свердловини (на прикладі Летнянського ГКР)

Відповідно, перед проведенням промислової апробації пристрою для очищення НКТ було виконано динамічне моделювання процесу розвантаження рідини із використанням запатентованого очисного пристрою. Процес розвантаження рідини очисним пристроєм виконано для аналогічних умов попереднього моделювання. Нижче в таблиці 1 представлено

послідовність подій в часі від моменту підвищення протитиску в газозбірній системі до її глушіння через надвисокий робочий тиск і відновлення роботи при застосуванні очисного пристрою.

Сценарій реалізовано в OLGA<sup>®</sup> «Schlumberger» через дві основні причини:

- цей тип технологічних змін в роботі газозбірної системи є тимчасовим явищем, що в основному залежить від часу стабілізації;
- OLGA<sup>®</sup> «Schlumberger» може симулювати встановлення очисного пристрою різної конструкції у внутрішню порожнину НКТ, який буде виштовхувати рідину під дією визначеного перепаду тиску.

Таблиця 1 - Динамічний сценарій поведінки свердловини

Початок, год	Кінець, год	Подія
0	60	Стабільна робота свердловини
61	240	Задавлювання свердловини внаслідок підвищення протитиску в газозбірній системі
240	300	Відновлення продуктивності свердловини після встановлення плунжерного ліфта і пуску її в роботу

В цьому розрахунку зроблено припущення, що масовий потік видобутої продукції є постійним. Зміну дебіту газу протягом періоду, зазначеного в сценарії, представлено на рисунку 8, зміну обсягу рідини на вибої свердловини – на рисунку 9, зміну робочого тиску до моменту його відновлення і стабільної роботи свердловини – на рисунку 10.

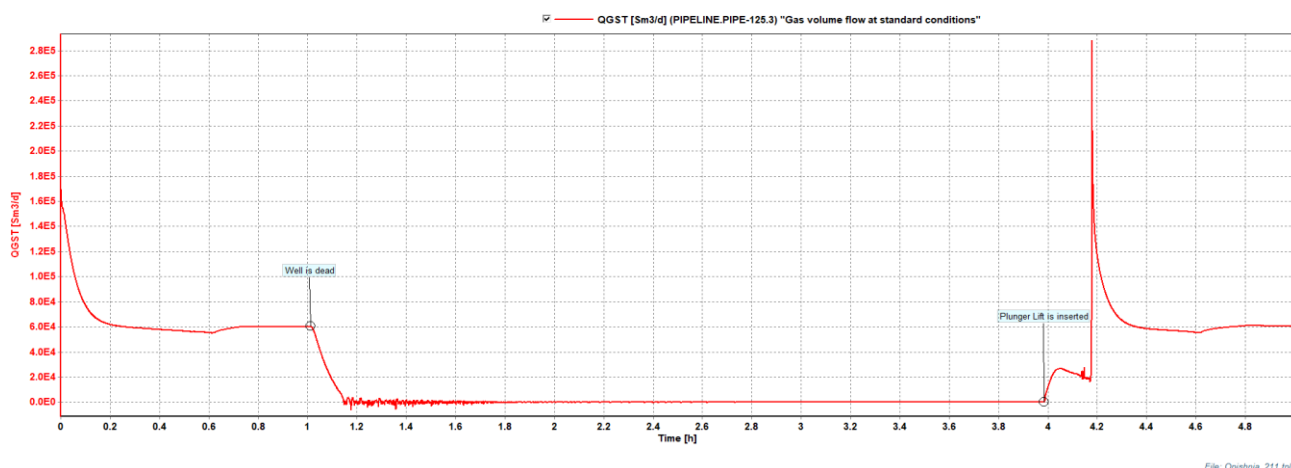


Рисунок 8 – Скрін екрану «Зміна дебіту свердловини на гирлі свердловини в часі»

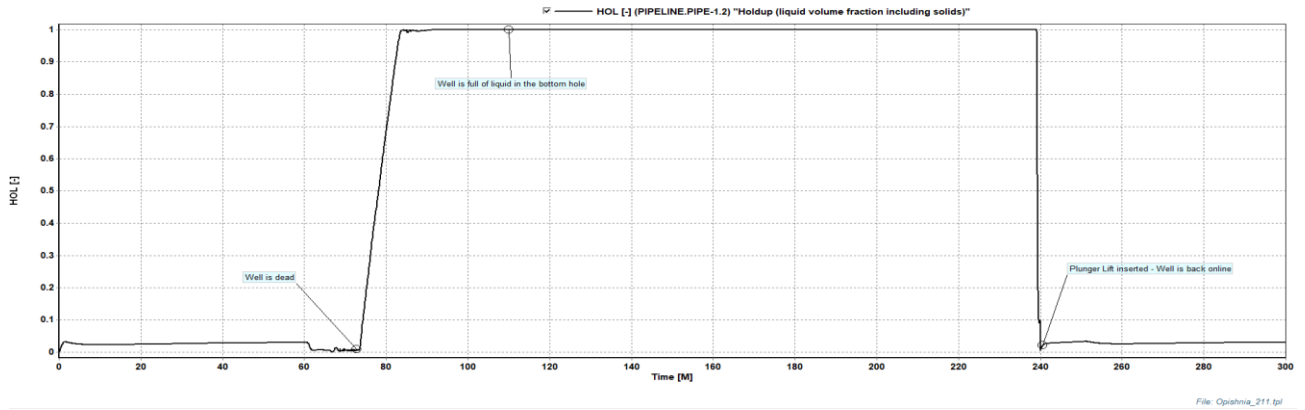


Рисунок 9 – Скрін екрану «Зміна обсягу рідини на вибої свердловини в часі»

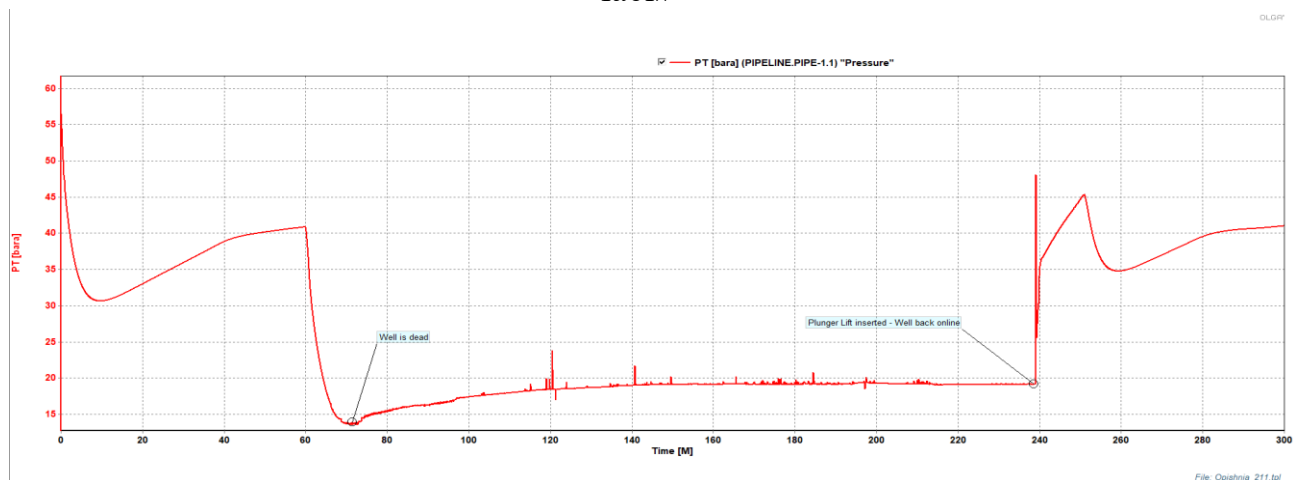


Рисунок 10 – Скрін екрану «Зміна тиску на гирлі свердловини в часі»

Аналіз результатів розрахунків вказує на ефективність використання очисних пристроїв з ефектом механічного руйнування твердих відкладень в міжпромислових газопроводах при наявності соляних пробок і пластової води в їх порожнині, а також підтверджено позитивний ефект від очищення внутрішньої порожнини НКТ.

**Четвертий розділ** присвячено розробленню заходів формування раціональних газопотоків системи збору та міжпромислового транспортування газу виснажених родовищ.

З метою оцінки взаємовпливу елементів складної геолого-технологічної системи «пласт – свердловина – шлейф – УКПГ – ДКС – міжпромисловий газопровід – ГС – МГ», запропоновано і створено єдину математичну модель системи видобутку та збору газу з врахування динаміки гідравлічного стану системи. На основі імітаційного моделювання процесу очищення газозбірної системи оцінено її реакцію і пониження робочих тисків системи збору газу та додатковий видобуток.

Для побудови єдиної моделі від пласта до магістрального газопроводу використано комплекс стандартних моделей, який включає модель притоку флюїду до вибою (модель Ф. Форхгеймера), для вертикального потоку флюїду – Хагедорна і Брауна, для горизонтального потоку Беггса і Брілла

(оновлену). Для ефективного транспортування видобутого продукту та оцінки відгуку системи на впровадження запропонованих заходів виконано моделювання поведінки даної системи в програмному симуляторі PipeSim® «Schlumberger», в основу якого покладено моделі докритичної течії газу (для всіх свердловин родовища витримується умова докритичної течії газу в штуцері).

В симуляторі реалізована робота трьох окремих газозбірних систем Опішнянського НГКР, Західного склепіння Березівського ГКР та Котелевського ГКР, а також робота системи міжпромислових газопроводів подачі газу до кінцевого пункту збору на ГС Солоха (ДКС Солоха). Створена газозбірна мережа має прив'язку до місцевості сервісу GIS Map за реальними даними, які відображають дійсне розташування об'єктів. Адаптація робочих моделей проводилась на підставі аналізу роботи промислових об'єктів та устаткування за даними параметрів, вказаних в технологічному режимі та звітному рапорті експлуатації родовищ. Архітектуру побудови моделей представлено на рисунку 11.

З метою оптимізації системи видобутку, збору і транспортування газу проведено оцінку реакції свердловин (продуктивність по газу, конденсату і воді) на пониження робочого тиску в газотранспортній системі (зміна протитиску в системі).

Оцінено відгук систем збору газу, його міжпромислового переміщення, промислової підготовки, компримування і подачі в газотранспортну систему, на впровадження розробленого комплексу заходів.

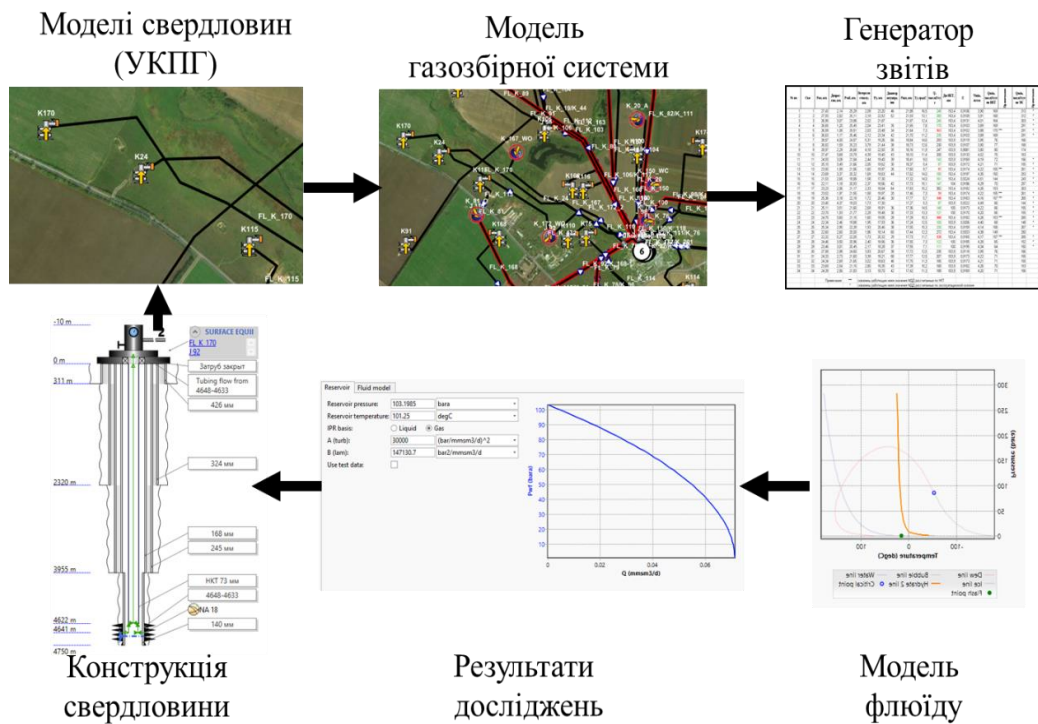


Рисунок 11 – Принцип побудови моделей

На основі реалізації газодинамічних моделей системи збору та міжпромислового транспортування газу проведено оцінку поточної ефективності роботи системи видобутку. Встановлено, що впровадження сучасних технологій експлуатації обводнених свердловин без оптимізації роботи всієї газодобувної системи є нераціональним, оскільки рідина, що виноситься з свердловини буде накопичуватися в шлейфах і знижувати їх гідравлічну ефективність.

Створення і використання інтегрованих моделей газових родовищ дає розуміння цілісної картини наявних ресурсів і забезпечує підвищення ефективності управління розробкою родовища.

Отримані результати розрахунку чітко корелюються з фактичними даними, що дозволяє застосовувати побудовані моделі для отримання чисельних результатів.

## **ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ**

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливе науково-практичне завдання, що полягає в дослідженні закономірностей впливу підвищення гідравлічної ефективності системи збору та міжпромислового транспортування газу та раціонального керування газопотоками, на основі яких досягається збільшення продуктивності газових родовищ на етапі їх виснаження, а саме:

1. Аналітично досліджено вплив гідравлічної ефективності елементів системи збору і міжпромислового транспортування газу на продуктивність виснаженого родовища на основі реалізації створеної математичної моделі газозбірної системи в розрізі «пласт – магістральний газопровід» дозволили встановити вплив кожного з елементів системи на дебіт свердловин, зокрема, показано, що найбільший вплив має ефективність насосно-компресорних труб. Показано, що підвищення гідравлічної ефективності з 50 % до 100 % дозволяє зумовити зростання дебіту свердловин в 1,46 – 2,78 рази в залежності від умов.

2. Розроблено нові конструкції очисних пристроїв для підвищення гідравлічної ефективності елементів системи збору та міжпромислового транспортування газу, проведено їх стендові випробування і апробацію та встановлено характер руху в насосно-компресорних трубах свердловини та промислових газопроводах на базі створеної математичної моделі. Запропоновано методику прогнозування параметрів режиму їх роботи для досягнення якісного очищення від рідких та твердих відкладень в трубопроводі.

3. Оцінено вплив гідравлічного стану системи збору і міжпромислового транспортування газу на основі математичного моделювання та поведінку газозбірної системи в умовах впровадження заходів підвищення її гідравлічної ефективності;

4. Розроблено заходи з раціонального планування газопотоків системи міжпромислового транспортування газу, а також зміну напрямку потоків газу

на промислах з оцінкою підвищення ефективності в сучасних програмних комплексах, що використовують всевітньовідомі математичні моделі руху газу. Аналіз апробації результатів оптимізації газозбірної системи дозволив обґрунтувати доцільність зміни напрямку транспортування газу і зниження робочих тисків, що дозволило наростити рівень видобутку природного газу на 10 %.

**Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в наступних виданнях:**

1. Філіпчук О.О., Грудз В.Я., Марущенко В.В., Миндюк В.Д., Савчук М.Т. Розробка комплексу заходів з очистки промислових газопроводів на основі аналізу гідравлічної ефективності їх роботи. *Східноєвропейський журнал передових технологій. Енергозберігаючі технології та обладнання*. 2018. №2/8 (92). С. 62-71. **(індексується в Scopus)**

2. Філіпчук О.О., Марущенко В.В., Грудз В.Я. Дослідження гідравлічної ефективності промислових газопроводів (І частина). *Нафтогазова галузь України*. 2018. №3. С.36-40. **(наукове фахове видання України)**.

2.1. Філіпчук О.О., Марущенко В.В., Грудз В.Я. Дослідження гідравлічної ефективності промислових газопроводів (ІІ частина). *Нафтогазова галузь України*. 2018. №4. С.27-32. **(наукове фахове видання України)**.

3. Грудз В.Я., Марущенко В.В., Савчук М.Т., Філіпчук О.О. Дослідження процесу підвищення ефективності роботи свердловин на основі математичного моделювання. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2018. № 1 (44). С.57-63. **(наукове фахове видання України)**.

4. Grudz V., Marushchenko V., Bratakh M, Savchuk M., Filipchuk O. Effectiveness study on the system for gas gathering, treatment and transportations from gas production company. *Technology and system of power supply*. 2018. № 3/1 (41). С.43-52. **(індексується в світових наукометричних базах даних і системах)**.

5. Filipchuk O., Marushchenko V., Bratakh M, Savchuk M., Tarwat S. Efficiency evaluation of implementation of optimization methods of operation modes of the "plast - gas pipeline" system by the methods of mathematical modeling. *Eureka: Phusical Sciences and Engineering*. 2018. № 5. P.11-26. **(індексується в світових наукометричних базах даних і системах)**.

6. Gorin P., Tymkiv D., Romanova V., Filipchuk O. Pipeline capacity assessment of inland produced gas transmission network. *Eureka: Phusical Sciences and Engineering*. 2019. № 1 (20). P.13-21. **(індексується в світових наукометричних базах даних і системах)**.

#### Патенти

7. Філіпчук О.О., Грудз В.Я., Братах М.І., Марущенко В.В. Пристрій для очистки трубопроводів від твердих відкладень: пат. 122861 України: МПК 7 B08B 9/04, F16L 55/26; заявник і патентовласник ПАТ

«Укргазвидобування». - № u2017 08846; заявл. 04.09.2017; опубл. 25.01.2018, бюл. № 2. **(патент на корисну модель).**

8. Філіпчук О.О., Грудз В.Я., Братах М.І., Марущенко В.В. Пристрій для очищення внутрішньої порожнини насосно-компресорних труб у свердловинні: пат. 123811 Україна. МПК 7 E21B 37/02, B08B 9/02; заявник і патентовласник ПАТ «Укргазвидобування». - № u2017 09179; заявл. 18.09.2017; опубл. 12.03.2018, бюл. № 5. **(патент на корисну модель).**

### **Матеріали конференції**

9. Філіпчук О.О. Підвищення ефективності експлуатації системи збору газу на родовищах України: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика – 2017». Івано-Франківськ. 2017. С. 213-214.

10. Філіпчук О.О. Моніторинг гідравлічного стану системи збору та транспортування газу газовидобувного підприємства: матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу PGE-2018». Івано-Франківськ. 2018. С. 99-105.

11. Філіпчук О.О. Коефіцієнт гідравлічної ефективності, як діагностична ознака технічного стану системи збору газу: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази» ІГГ-2018. Івано-Франківськ. 2018. С. 178-183.

12. Філіпчук О.О., Савчук М.Т. Вплив коефіцієнту гідравлічної ефективності на продуктивність системи збору та транспортування газу: матеріали XXVI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2018)». Харків. 2018. С. 259.

13. Філіпчук О.О., Савчук М.Т. Підвищення ефективності очистки НКТ шляхом математичного моделювання руху очисного пристрою: матеріали XXVI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2018)». Харків, 2018 р. С. 260.

14. Грудз В.Я., Марущенко В.В., Братах М.І., Савчук М.Т., Філіпчук О.О. Питання експлуатації газовидобувної системи на завершальній стадії експлуатації родовищ: матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення». №29. Тернопіль. 2018. С. 86-90.

15. Філіпчук О.О. Впровадження сучасних інструментів математичного моделювання системи міжпромислового транспортування газу на основі раціонального використання пластової енергії: матеріали міжнародної науково-практичної веб-конференції молодих учених та студентів «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2018» (17-19 вересня 2018 року). Івано-Франківськ. 2018. С. 7-11.

## АНОТАЦІЯ

Філіпчук О.О. Розроблення методів підвищення ефективності та керування газопотоками систем збору газу виснажених родовищ - 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, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розробленню методів підвищення ефективності та керування газопотоками систем збору газу виснажених родовищ, на прикладі системи видобування газу найбільшої газовидобувної компанії України.

Створено математичні моделі газозбірної системи в розрізі «пласт – магістральний газопровід», на основі яких аналітично досліджено вплив гідравлічної ефективності елементів системи збору і міжпромислового транспортування газу на продуктивність виснаженого родовища. Встановлено вплив кожного з елементів системи на дебіт свердловин, зокрема, показано, що найбільший вплив має ефективність насосно-компресорних труб. Проведено дослідження динаміки коефіцієнту гідравлічної ефективності системи на протязі року. Оцінено вплив зміни температури навколишнього середовища на коефіцієнт гідравлічної ефективності.

Розроблено нові конструкції очисних пристроїв та проведено їх апробацію. Встановлено характер руху очисних пристроїв в насосно-компресорних трубах свердловини та промислових газопроводах на базі створеної математичної моделі. Запропоновано методику прогнозування параметрів режиму їх роботи для досягнення якісного очищення від рідких та твердих відкладень в трубопроводі.

Ключові слова: оптимізація, система збору, міжпромислове транспортування, гідравлічна ефективність, модель.

## АННОТАЦИЯ

Филипчук А.А. Разработка методов повышения эффективности и управления газопотоками систем сбора газа истощенных месторождений - Квалификационная 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, 2019.

Диссертационная работа посвящена разработке методов повышения эффективности и управления газопотоками систем сбора газа истощенных месторождений, на примере системы добычи газа крупнейшей газодобывающей компании Украины.

Созданы математические модели газосборной системы в разрезе «пласт - магистральный газопровод», на основе которых аналитически исследовано



влияние гидравлической эффективности элементов системы сбора и межпромысловой транспортировки газа на производительность истощенного месторождения. Установлено влияние каждого из элементов системы на дебит скважин, в частности, показано, что наибольшее влияние имеет эффективность насосно-компрессорных труб. Проведено исследование динамики коэффициента гидравлической эффективности системы в течение года. Оценено влияние изменения температуры окружающей среды на коэффициент гидравлической эффективности.

Разработаны новые конструкции очистных устройств и проведено их апробацию. Установлен характер движения очистных устройств в насосно-компрессорных трубах скважины и промышленных газопроводах на базе созданной математической модели. Предложена методика прогнозирования параметров режима их работы для достижения качественной очистки от жидких и твердых отложений в трубопроводе.

*Ключевые слова: оптимизация, система сбора, межпромышленный транспорт, гидравлическая эффективность, модель.*

## SUMMARY

*Filipchuk O.O.* Development of methods for increasing the gas streams' efficiency and management of gas collection systems at depleted deposits. Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.15.13. "Pipeline transportation, oil and gas storages" - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2019.

The thesis is devoted to the development of methods for increasing the gas streams' efficiency and management of gas collection systems at depleted fields, on the example of the gas extraction system belonging to the largest gas extraction company in Ukraine.

Depleted deposits in world practice have the two most common names of "mature fields" and "brownfields", and are considered as being in a phase of declining or have reached the final stage of their development. These deposits are considered as the actual skeleton of the oil and gas industry, despite the fact for ongoing opening and development of new ones.

According to the IHS Cambridge Energy Research Associates Report almost 60 % of daily hydrocarbon production falls on extracted from depleted fields. As for exploitation of Ukrainian oil and gas fields, depleted deposits will be considered those with more than 50% of initial and heavy-extracting reserves being withdrawn or which have been developed for more than 25 years.

As of today, depleted deposits are considered a valuable global resource, regardless of definition. Attempts to increase the hydrocarbons removing reserve from the reservoirs require a relatively low risk. Among geological and technical measures to restore the operation of such deposits, an increase or stabilization of production volumes over the curve of natural decline in production are considered. The period of deposit development is characterized by the curve of the change in gas production by years, which at first rapidly increases to peak production, and

then declines to the limit, the achievement of which corresponds to the economically inexpedient of further development of such deposits. The implementation of geological and technical measures prolongs the deposit development period in order to increase the accumulated economically feasible amount of hydrocarbon production.

The main task of the field development is to choose a system which ensures the minimum energy and economic costs for the extraction, specified in the business plan, and the feasibility study of gas volumes with a given degree of reliability and compliance with norms and requirements concerning mineral resources protection and maximal use of reservoir resources.

One of the determining factors specifying the wells' rate of a gas field and its productivity is the existing pressure drop between the production reservoir and the pipeline for the extracted gas. The value of the existing pressure drop is the starting point for the design of the gas-collecting system and inter-industrial collectors.

In order to increase the coefficient of hydraulic efficiency of pipelines and tubing, it is necessary to decide on a complex of measures for the purification of pipelines from liquid phase and solid deposits. However, in order to make such a decision, it is necessary to conduct a series of inspections of gas collection system pipelines and wells' tubing, which should result in the impact assessment of the hydraulic efficiency for each element of the system on the wells capacity growth, which will determine the objects of priority service and planned activities rate.

By reducing the pipelines hydraulic resistance in the gas collection system due to the unloading of the BCS of the centralized gas collection point, it is possible to minimize the cost of the reservoir energy for the gas transportation, as well as to prevent/secure from the naturally-occurring fall of natural gas extraction from depleted deposits. The industrial information analysis allows us to conclude that another field of non-productive expenditures of reservoir energy are the flowlines and inter-industrial pipelines, or rather their hydraulic state. One of the reasons for this manifestation is the low speed of the product flow, which results in the formation of liquid stoppers in the gas-collecting network. In the territory of Ukraine, this known component of the system has not been given due attention, as a result of which a small number of works is devoted to increasing the hydraulic efficiency of the system of collecting and inter-industrial transportation of gas from depleted deposits.

Taking into consideration the urgency issues of ensuring Ukraine's energy independence, the problem of developing measures to optimize the system of gas collection and transportation from depleted deposits has recently become acute.

Accordingly, for the efficient transportation of the recovered product from the fields to a complex product preparation plant and for evaluation of the system's response to the implementation of these measures in the first stage, it was suggested to simulate the behavior of such system for the implementation of a set of measures in the software simulator PipeSim® by «Schlumberger».

Mathematical models of the gas gathering system were set in terms of “deposit - main gas pipeline”, on the basis of which the hydraulic efficiency influence of the elements for gas collection system and inter-industrial gas

transportation on the productivity of the depleted deposit was analyzed. The influence of each of the elements of the system on the wells flow rate was established, in particular, it was shown that the efficiency of tubing pipes has the greatest influence. The study of the annual coefficient dynamics of hydraulic efficiency of the system was performed. The effect of changes in ambient temperature on the coefficient of hydraulic efficiency was estimated.

New designs of purification devices were developed and tested. The nature of purification devices movement in well tubing and industrial gas pipelines was established on the basis of the set mathematical model. A method for predicting the parameters for their mode of operation to achieve high-quality cleaning from liquid and solid deposits in the pipeline was proposed.

The estimation of the hydraulic state influence of the collection system and inter-industrial gas transportation system and the behaviour of the gas collection system while implementing the measures for increasing its hydraulic efficiency on the basis of the created models, was carried out.

The analysis of testing results of the gas collection system optimization allowed to substantiate the expediency of changing the direction of gas transportation and reduction of working pressures, which allowed to increase the level of natural gas extraction by 10%.

*Key words: optimization, measures, collection system, inter-industrial transportation, hydraulic efficiency, model.*