

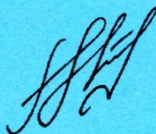
622.279  
Г28

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

**ГЕДЗИК НАЗАРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 622.279(04

Г28



**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ГАЗОВИЛУЧЕННЯ З**  
**РОДОВИЩ ІЗ НИЗЬКОПРОНИКНИМИ ТЕРИГЕННИМИ КОЛЕКТОРАМИ**

05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ

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



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  
**Кондрат Олександр Романович**  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри розробки та експлуатації нафтових і  
газових родовищ

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Фик Ілля Михайлович**  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут», м. Харків,  
завідувач кафедри видобування нафти, газу та  
конденсату

кандидат технічних наук  
**Рудий Сергій Мирославович**  
НДП ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ,  
начальник відділу нафтовіддачі та інтенсифікації  
видобутку нафти

Захист відбудеться «20» жовтня 2016 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий «12» вересня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

  
І. М. Ковбасюк



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Родовища природних газів України, які розробляються, переважно пов'язані з пластами високої і середньої проникності, більшість з яких вступила в стадію спадного видобутку газу.

Можливим напрямом стабілізації і збільшення власного видобутку газу в Україні є освоєння нетрадиційних родовищ природних газів з низькопроникними колекторами. Вони включають газ ущільнених порід, сланцевий газ і метан вугільних пластів. Зі збільшенням глибин буріння свердловин зростатиме кількість родовищ з низькопористими низькопроникними колекторами. Відомі технології видобування газу з таких родовищ характеризуються порівняно невисокими початковими дебітами свердловин, які швидко знижуються у процесі розробки родовищ, і низькими кінцевими коефіцієнтами газовилучення. Тому розроблення більш ефективних технологій видобування газу з низькопроникних порід є надзвичайно актуальною задачею.

Відомі дослідження з інтенсифікації видобування газу з нетрадиційних родовищ проведені стосовно сланцевих порід і вугільних пластів. Однак відсутні такі дослідження для умов низькопористих низькопроникних теригенних колекторів, які є значно поширеними у розрізах продуктивних горизонтів родовищ природних вуглеводнів України. Тому проведення відповідних досліджень та подальше впровадження їх результатів дозволить підвищити видобуток газу з родовищ з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами, що є надзвичайно актуальною задачею.

У роботі пропонується наукове обґрунтування технології підвищення газовилучення з родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами. За результатами фізичного та гідродинамічного моделювання встановлено закономірності адсорбційно-десорбційних процесів у низькопористих низькопроникних колекторах і оцінено вплив систем розміщення різнопрофільних свердловин з поінтервальними гідророзривами пласта на дебіт свердловин і коефіцієнт газовилучення, що є основою для розроблення нових технологій видобування газу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота є фрагментом науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт Науково-дослідного інституту нафтогазової енергетики і екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за період 2015-2016 років за темою Д-7-15-П «Розроблення інноваційних технологій освоєння родовищ природних вуглеводнів з низькопроникними колекторами» (№0115U002281) відповідальним виконавцем якої був дисертант.

**Мета і задачі досліджень.** Метою досліджень є удосконалення технологій інтенсифікації видобутку газу з родовищ із низькопроникними теригенними колекторами.

*Основні задачі досліджень:*

1. Аналіз та узагальнення світового досвіду розробки нетрадиційних родовищ природних газів.

2. Обґрунтування методів підвищення коефіцієнта газовилучення з родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами.

3. Розроблення лабораторної установки і проведення досліджень закономірностей перебігу адсорбційно-десорбційних процесів в ущільнених пісковиках, удосконалення технологій підвищення коефіцієнта газовилучення з родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами.

4. Дослідження методів інтенсифікації десорбції природного газу з поверхні порового простору ущільнених пісковиків з використанням неуглеводневих газоподібних заміщувальних агентів.

5. Оптимізація систем розробки родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами різнопрофільними свердловинами з поінтервальними гідравлічними розривами пласта з метою вибору кількості, просторового розміщення і профілю горизонтальних і похилих стовбурів та тріщин.

6. Розроблення методик прогнозування технологічних показників розробки родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами.

7. Узагальнення результатів виконаних досліджень та розроблення рекомендацій щодо промислового впровадження технологій збільшення коефіцієнта газовилучення з родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами.

*Об'єктом досліджень* є процеси видобування вуглеводнів з нетрадиційних родовищ, що характеризуються низькими фільтраційними властивостями колекторів.

*Предметом досліджень* є технології збільшення вуглеводневилучення з нетрадиційних родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами.

*Ідея дослідження:* врахування впливу адсорбційно-десорбційних процесів на кінцевий коефіцієнт газовилучення та технологічні показники розробки родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами.

*Гіпотеза дослідження:* можливість регулювання кількості десорбованого газу при розробці родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами, що дозволить підвищити кінцевий коефіцієнт газовилучення.

**Методи дослідження.** Поставлені завдання виконувались шляхом проведення експериментальних досліджень на насипних моделях низькопроникних порід і комп'ютерного гідродинамічного моделювання з використанням сучасних ліцензованих програм. Для визначення значень експериментальних параметрів використовували протаровані прилади (манометри, термометри, витратоміри та інші). Результати проведених експериментальних та теоретичних досліджень обробляли методами математичної статистики.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. За результатами експериментальних досліджень вперше встановлено вплив температури, тиску та проникності ущільнених пісковиків на їхню здатність адсорбувати метан та отримано емпіричну залежність взаємозв'язку цих параметрів.

2. Вперше за результатами експериментальних досліджень обґрунтовано оптимальні значення тиску початку запомповування неуглеводневих заміщувальних агентів в ущільнені пісковики з метою інтенсифікації десорбції природного газу та встановлено фізичні закономірності перебігу адсорбційно-десорбційних процесів в ущільнених пісковиках.

3. Вперше встановлено вплив перебігу адсорбційно-десорбційних процесів на характер залежності зведеного середнього пластового тиску від накопиченого видобутку газу з родовищ з ущільненими пісковиками, який свідчить про необхідність врахування адсорбційно-десорбційних процесів при проектуванні та аналізі розробки родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами.

4. Вперше запропоновано враховувати адсорбційно-десорбційні процеси у рівнянні матеріального балансу для газового родовища з ущільненими пісковиками для умов газового режиму розробки.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

За результатами виконаних досліджень удосконалено відомі технології підвищення видобутку газу з родовищ з низькопроникними низькопористими колекторами.

Розроблено технологію запомповування азоту з метою інтенсифікації десорбції природного газу з поверхні порового простору, яка полягає у запомповуванні азоту через нагнітальні свердловини після зниження пластового тиску до 0,8 від початкового пластового тиску, при повній компенсації відбору закачкою з підтриманням постійного пластового тиску.

Розроблено технологію запомповування діоксиду вуглецю з метою інтенсифікації десорбції природного газу з поверхні порового простору, яка полягає у запомповуванні діоксиду вуглецю через нагнітальні свердловини після зниження пластового тиску до 0,6 від початкового пластового тиску, при повній компенсації відбору закачкою з підтриманням постійного пластового тиску.

За результатами 3D комп'ютерного гідродинамічного моделювання обґрунтовано методику вибору параметрів стовбура свердловини та тріщин гідралічного розриву пласта залежно від проникності колектора виходячи з умов техніко-технологічної та економічної оптимізації з використанням методу генетичних алгоритмів. Встановлено, що для колекторів з проникністю  $(0,01-1) \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> рекомендується бурити горизонтальну свердловину довжиною до 1000 м, з подальшим проведенням у ній поінтервального гідралічного розриву пласта з утворенням тріщин довжиною до 150 м, при відстані між ними 25 м.

На основі уточнених рівнянь матеріального балансу для газового родовища в умовах газового режиму розробки, які враховують адсорбційно-десорбційні процеси при зниженні пластового тиску і під впливом заміщувальних агентів, розроблено методики розрахунку технологічних показників розробки нетрадиційних родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами вертикальними та горизонтальними свердловинами.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати експериментальних і теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримано автором особисто. Автор провів критичний огляд існуючих публікацій та досліджень з питань підвищення газовилучення та оптимізації розробки родовищ природних газів з

низькопористими низькопроникними колекторами [6, 7, 8]. Проведено кілька серій лабораторних експериментальних досліджень за темою дисертації [5, 9, 10], обробка результатів яких дозволила отримати емпіричні залежності, уточнити існуючі рівняння та методики, встановити фізичні закономірності перебігу адсорбційно-десорбційних процесів у родовищах з низькопроникними колекторами [3] та обґрунтувати методи щодо підвищення ступеню вилучення та поточного відбору газу [1, 2, 4, 11, 12, 13].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати та положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- 9-тій міжнародній науково-технічній конференції "Нафта і газ України - 2013" (3-6 вересня 2013р., м. Яремче);
- міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика - 2013" (7-11 жовтня 2013р., м. Івано-Франківськ);
- міжнародній молодіжній конференції «Наукоємкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса» (м. Уфа, 23-29 листопада 2014 р.);
- міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи» присвяченій 70-річчю газонафтопромислового факультету (10-12 грудня 2014р., м. Івано-Франківськ);
- 4-тій міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика 2015» (21-24 квітня 2015р., м. Івано-Франківськ);
- міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики» присвяченій 65-річчю Геологорозвідувального факультету (25-27 травня 2016 р., м. Івано-Франківськ);
- 27-й міжнародній науково-технічній конференції Drilling-Oil-Gas AGH 2016 (8-10 червня 2016 р., м. Краків, Польща).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і обговорювалась на науковому семінарі кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ (квітень 2016 р.) та розширеному науковому семінарі кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ (червень 2016 р.) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових праць, з яких 6 у фахових наукових журналах (в т. ч. 2 статті у міжнародних фахових журналах), 7 – у збірниках праць міжнародних конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Матеріали дисертації викладені на 152 сторінках, містять 13 таблиць, 69 рисунків та список використаних джерел із 104 найменувань.

Автор висловлює ширю подяку науковому керівнику, завідувачу кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ, доктору технічних наук, проф. Кондрату Олександрові Романовичу за постійну увагу, допомогу і корисні поради, а також доктору технічних наук, проф. Кондрату Роману Михайловичу і всьому колективу кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ за підтримку при виконанні роботи.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, ідею та гіпотезу досліджень, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведено критичний огляд досліджень інтенсифікації видобування природного газу з родовищ з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами. Питання розробки та експлуатації нетрадиційних родовищ природних вуглеводнів на теперішній час є чи не найактуальнішим питанням енергетичної галузі у світі. Найбільше наукових досліджень у цьому напрямку зроблено зарубіжними вченими. Варто відзначити роботи Kundert D., Biglarbigi K., Aguilera R., Cipolla C. L., Holditch S. A., Biswas D., Javadpour F., Fisher D., Rushing J. A., Newsham K. E., Cheng Y., Freeman C. M., Salman A. Mengal та інших науковців. Однак варто виділити також роботи Алексеева А. Д., Бойка В. С., Васильковського В. А., Закірова С. Н., Кондрата Р. М., Кондрата О. Р., Кривулі С. В., Мірзаджанзаде А. Х., Фика І. М., Фика М. І., Федішина В. О., Черних В. А., Черних В. В. та інші.

На даний час в Україні відкрито ряд перспективних площ, які містять значні ресурси нетрадиційних вуглеводнів, зокрема Олеська та Юзівська ділянки. Слід також зазначити, що у всіх нафтогазоносних регіонах, в межах родовищ які розробляються, залягають низькопроникні низькопористі нафтогазоносні колектори, які не були введені у розробку. Зі збільшенням глибин буріння зростатиме також частка ушільнених нафтогазоносних колекторів. Традиційний видобуток газу з таких родовищ вертикальними свердловинами не завжди є економічно рентабельним. Аналіз промислових даних свідчить, що розробка таких родовищ з економічно рентабельним дебітом може бути досягнута виключно за умови буріння густої сітки горизонтальних свердловин з подальшим проведенням в них інтенсифікації припливу газу. На даний час найбільш ефективним методом інтенсифікації є поінтервальний гідравлічний розрив пласта.

Як встановлено за результатами дослідно-промислових робіт та набутим промисловим досвідом частина газу нетрадиційних родовищ знаходиться в адсорбованому стані. Тому одним із можливих і основних напрямків збільшення видобутку газу з низькопористих низькопроникних колекторів є інтенсифікація процесу десорбції природного газу.

Проведений аналіз існуючих публікацій дозволив обґрунтувати необхідність проведення досліджень.

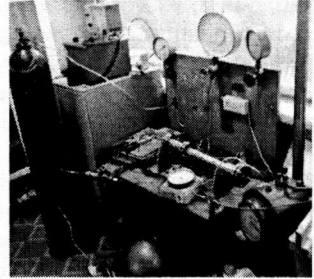
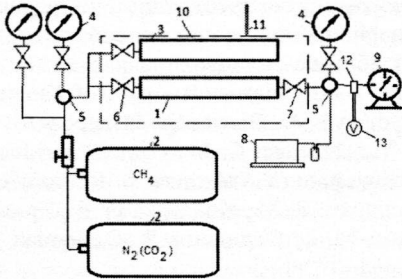
У другому розділі наведено результати експериментальних досліджень щодо вивчення закономірностей перебігу адсорбційно-десорбційних процесів при розробці родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними теригенними колекторами та вибору методу інтенсифікації десорбції метану з використанням неуглеводневих газів.

Для виконання лабораторних досліджень було розроблено лабораторну установку, схему якої зображено на рисунку 1.

В дослідах використовували насипні моделі пласта довжиною 16,7 см та діаметром 2,6 см. Діапазон зміни тиску для дослідів становив від 1 до 11 МПа, температури від 20 до 60°C. Збереження відповідних параметрів подібності та

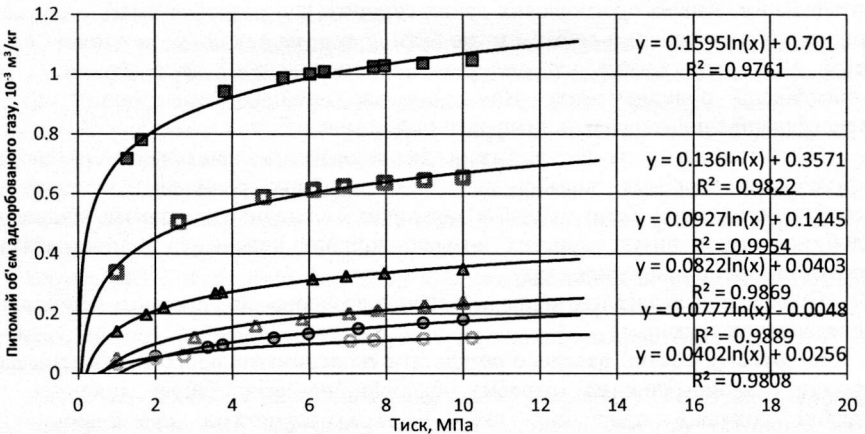
використання теорії планування експерименту дозволило отримати достовірні результати в процесі проведення досліджень. В якості робочого агенту у дослідженнях використовували природний газ.

За результатами експериментальних досліджень побудовано ізотерми адсорбції природного газу при різних значеннях температури та для моделей з різною проникністю, які зображено на рисунку 2.



1 – модель; 2 – газові балони для метану та азоту (діоксиду вуглецю); 3 – мірна ємність; 4 – манометри; 5 – маніфольди; 6 – вхідна засувка; 7 – вихідна засувка; 8 – вакуумний насос; 9 – газовий лічильник; 10 – термостат; 11 – давач температури; 12 – давач концентрації метану; 13 – вольтметр.

Рисунок 1 – Принципова схема та фото лабораторної установки для дослідження адсорбційно-десорбційних процесів у пористих середовищах



1, 2 – ізотерми адсорбції для моделі проникності  $9,7 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$  при температурі  $40^\circ\text{C}$  та  $60^\circ\text{C}$  відповідно;  
3, 4 – ізотерми адсорбції для моделі проникності  $29 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$  при температурі  $40^\circ\text{C}$  та  $60^\circ\text{C}$  відповідно;  
5, 6 – ізотерма адсорбції для моделі проникності  $93 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$  при температурі  $40^\circ\text{C}$  та  $60^\circ\text{C}$  відповідно.

Рисунок 2 – Залежності питомого об'єму адсорбованого газу від тиску (ізотерми адсорбції) для моделей з різною проникністю для різних значень температури



Аналіз експериментальних даних свідчить, що питомий об'єм адсорбованого газу зростає зі збільшенням тиску. Зі збільшенням проникності зменшується абсолютна залежність питомого об'єму адсорбованого газу від температури. Якщо при проникності  $9,7 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> зі збільшенням температури від 40°C до 60°C питомий об'єм адсорбованого газу зменшується від 0,95 до 0,5 м<sup>3</sup>/т (у 1,9 разів), то для при проникності  $93 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> питомий об'єм адсорбованого газу зменшується від 0,1 до 0,065 м<sup>3</sup>/т (у 1,5 рази). Отже, зі збільшенням проникності у 10 разів питомий об'єм адсорбованого газу зменшується у приблизно у 7-8 разів. Тому можна зробити висновок, що природний газ адсорбується на поверхні порового простору навіть у традиційних високопроникних пластах, проте його кількість значно менша, ніж у нетрадиційних низькопористих низькопроникних колекторах.

Для практичного використання результатів експериментальних досліджень проведено їх оброблення для оцінки емпіричної залежності, яка би пов'язувала між собою проникність, температуру, тиск та питомий об'єм адсорбованого газу. Оброблення результатів експериментальних досліджень питомого об'єму адсорбованого газу  $V_a$  виконано в класі 9 моделей.

$$V_a(k, P, T) = A^T b_v(k, P, T), \quad (1)$$

де  $A$  – вектор параметрів моделі;  $b_v(k, P, T)$  – вектор базисних функцій виду  $(1, k, P, T, kP, PT, \ln k, \ln P, \ln T, k^2, P^2, T^2)^T$ .

Клас 9 сформовано із лінійної частини базисних функцій з включенням їх добутків, логарифмів і квадратів та склав 82 моделі.

Адекватність прийнятих регресійних моделей оцінювалась за результатами перевірки сукупності статистичних гіпотез. У таблиці 1 наведено оцінку параметрів і дисперсії адекватності отриманих залежностей для питомого об'єму адсорбованого газу.

Таблиця 1 – Параметри рівняння питомого об'єму адсорбованого газу

Базисні функції $b_v$	Параметри моделі	Значення параметру $A^T$ моделі для питомого об'єму адсорбованого газу					
		1	20	32	52	61	82
1	A1	2.017	3.68	32.196	31.711	3.176	15.144
k	A2	-0.11	-0.01	0.021	0.021	-0.517	-0.06
P	A3	0.037	0.046	0.022	0.03	-8.029·10 <sup>-3</sup>	0.014
T	A4	-0.031	-0.104	0.507	0.491	0.063	0.045
kP	A5	—	—	—	—	-4.785·10 <sup>-4</sup>	-5.114·10 <sup>-3</sup>
kT	A6	—	—	—	—	—	2.109·10 <sup>-3</sup>
PT	A7	—	—	—	—	—	-1.836·10 <sup>-3</sup>
ln k	A8	—	—	-1.158	-1.158	6.059	-1.144
ln T	A9	—	—	-12.12	-11.842	-3.904	-3.741
ln P	A10	—	-0.151	—	-0.079	0.125	0.031
k <sup>2</sup>	A11	—	—	—	—	3.362·10 <sup>-3</sup>	—
P <sup>2</sup>	A12	—	—	—	—	1.221·10 <sup>-3</sup>	—
T <sup>2</sup>	A13	—	8.176·10 <sup>-4</sup>	-2.77·10 <sup>-3</sup>	-2.681·10 <sup>-3</sup>	—	—
Дисперсія адекватності моделі, м <sup>3</sup> /кг		0.136	0.108	0,057	0.058	0.165	0.027

Проте, з метою глибокого аналізу взаємозалежності досліджуваних чинників використано автоматизовані нейронні мережі типу багат шаровий перцептрон та радіальна базисна функція. Для побудови такої моделі використано пакет

статистичного аналізу даних GeneXproTools 5.0.3883. В результаті теоретичних досліджень отримано емпіричну залежність питомого об'єму адсорбованого газу залежно від проникності колектора та термобаричних умов:

$$V_{\text{адс}} = \frac{20,23 \cdot (9,7 + P)}{k \cdot 10^6 \cdot (T - 280,25)} + \frac{(1 - P)^2 + e^{-1,346}}{2} \cdot \frac{10^{-3}}{e^{k \cdot 10^3}} + \frac{2 \cdot 10^{-3} (P - 3,2)}{(0,696 - k \cdot 10^3) \cdot \left( \frac{k \cdot 10^3 + 5,373}{2} + \frac{1}{T - 273,15} \right)}, \quad (2)$$

де  $V_{\text{адс}}$  – питомий об'єм адсорбованого газу, м<sup>3</sup>/кг;  $P$  – пластовий тиск, МПа;  $T$  – пластова температура, К;  $k$  – проникність колектора, мкм<sup>2</sup>.

Отримані залежності дозволяють оперативно підрахувати питомий об'єм адсорбованого газу в родовищі без проведення експериментальних досліджень в діапазоні зміни тиску 0,1-15 МПа, температури 20-60°C та проникності колектора 9,7-93·10<sup>-3</sup> мкм<sup>2</sup>.

Враховуючи той факт, що одним із методів підвищення коефіцієнту газовилучення з сланцевих, вугільних та ущільнених низькопроникних пластів є інтенсифікація процесу десорбції раніше адсорбованого газу, проведено дослідження по вивченню методів стимулювання процесу десорбції. Так, наприклад, у світовій практиці розрізняють наступні методи інтенсифікації десорбції:

- 1) зниження тиску;
- 2) витіснення адсорбованого газу інертним газом;
- 3) термальна десорбція;
- 4) заміщувальна десорбція.

Беручи до уваги особливості розробки низькопористих низькопроникних колекторів проведено дослідження щодо витіснення метану інертним газом та заміщувальної десорбції. Дані експериментальні дослідження були проведені на насипній моделі пласта з пористістю 24,5%, абсолютною проникністю 41·10<sup>-3</sup> мкм<sup>2</sup> з використанням азоту (N<sub>2</sub>) та діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>). Згідно отриманих результатів відносно адсорбційні здатності можна зробити висновок, що при використанні вуглекислого газу в якості заміщувального агенту можна видобути приблизно на 30% більше адсорбованого газу, ніж при використанні азоту.

Для кількісної оцінки доцільності нагнітання неуглеводного газу для інтенсифікації десорбції газу з метою підвищення газовилучення проведено лабораторні дослідження на насипній моделі пласта фракційним складом 0,127 мм, 0,2 мм, 0,5 мм, 1 мм, 2 мм і 3 мм, довжиною 450 мм та діаметром 40 мм. Проникність насипної моделі становила 9,1·10<sup>-3</sup> мкм<sup>2</sup>.

З метою вивчення механізму та характерних особливостей інтенсифікації десорбції природного газу шляхом його витіснення інертним газом було проведено експериментальні дослідження, в яких виділено наступні групи методів підвищення газовилучення: запомповування заміщувального агенту до прориву; запомповування заміщувального агенту до падіння концентрації метану до 0%. При цьому розглядалися варіанти повної компенсації відбору запомповуванням при підтриманні постійного тиску, підвищеної компенсації відбору при поступовому збільшенні тиску та часткової компенсації відбору при поступовому зниженні тиску в моделі. Для кожного з цих методів досліджували вплив тиску початку запомповування заміщувального агенту на коефіцієнт газовилучення. Результати проведених досліджень зображено на рисунку 3.

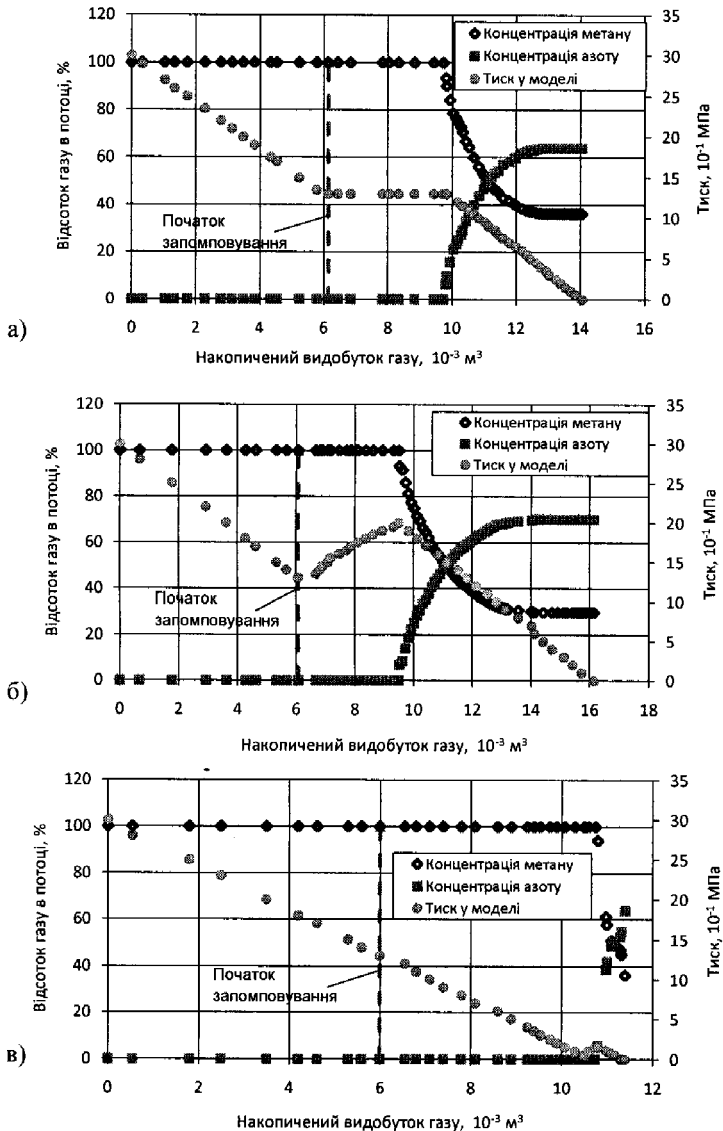


Рисунок 3 – Зміна тиску та вмісту компонентів у видобувному газі у процесі реалізації варіанту нагнітання азоту при тиску закачки 0,4 Рпоч до прориву при повній (а), підвищеній (б) та частковій (в) компенсації відборів

Для обґрунтування вибору методу, який забезпечить найбільший техніко-технологічний та економічний ефект потрібно щоб виконувалась умова максимізації питомого об'єму додаткового видобутку газу та коефіцієнта газовилучення:

$$T = F(\max(\bar{V}), \max(\beta_2)). \quad (3)$$

Аналіз результатів експериментів свідчить, що метод запомповування азоту до його прориву на виході з моделі є більш ефективним порівняно з методом повного витіснення метану. Тому решта досліджень була проведена за умови зупинки нагнітання азоту при його прориві до виходу з моделі. Найбільший приріст коефіцієнта газовилучення досягається при використанні методу повної компенсації відбору. Тому подальші дослідження по визначенню тиску запомповування заміщувального агенту було проведено саме для цього методу для варіантів тиску нагнітання 0,3÷1 Рпоч.

Аналіз отриманих результатів показує, що максимальний приріст коефіцієнту газовилучення досягається при нагнітання азоту з тиском 0,8Рпоч (рисунок 4). При цьому додатково видобувається близько 23% метану. Зі зменшенням тиску нагнітання зменшується і коефіцієнт газовилучення.

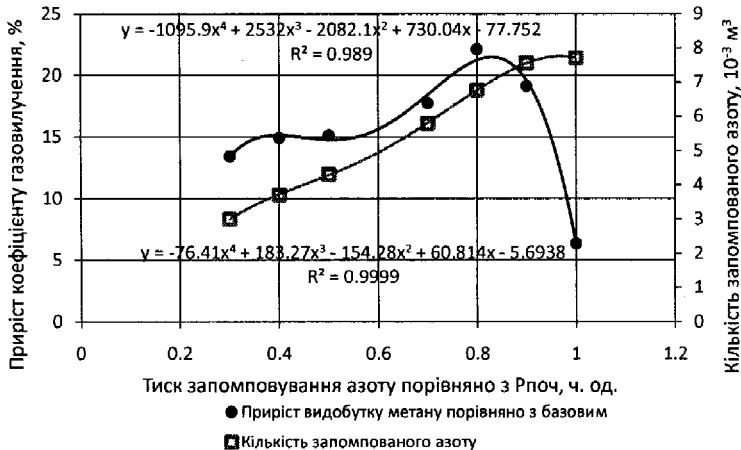


Рисунок 4 – Графічна інтерпретація результатів експериментів по заміщенню метану азотом

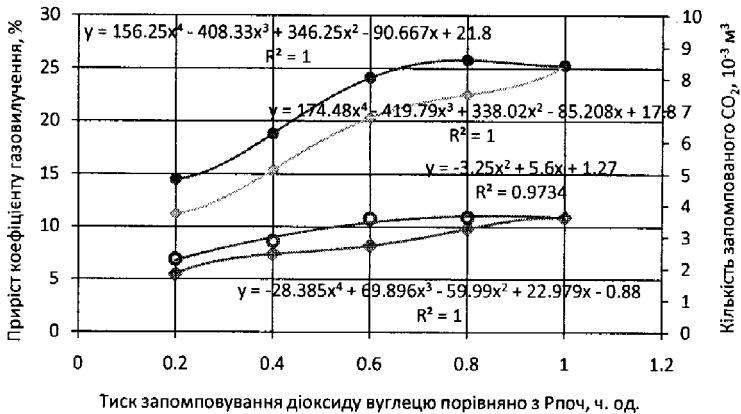
Результати проведених досліджень свідчать, що найбільше метану на момент прориву азоту видобувається при використанні методу часткової компенсації відбору (зі зменшенням пластового тиску). Для даного варіанту також досягається мінімізація питомої кількості запомпованого витісняювального агенту, проте при цьому спостерігається найменший кінцевий коефіцієнт газовилучення.

Аналіз результатів проведених експериментів свідчить, що поставлена умова досягається при запомповуванні азоту при тиску рівному 0,8 від початкового пластового тиску при повній компенсації відбору (з підтриманням пластового тиску). Даний варіант дозволяє забезпечити максимізацію коефіцієнта газовилучення при мінімізації кількості запомпованого витісняювального агенту.

Аналогічно було проведено дослідження з використанням діоксиду вуглецю. Аналіз результатів досліджень показує, що методи повної та підвищеної компенсації відбору дозволяють отримати вищі коефіцієнти газовилучення, порівняно з методом часткової компенсації відбору. Тому подальші дослідження проведено саме для цих

двох методів з метою визначення тиску запомповування діоксиду вуглецю, при якому буде досягнуто максимізація коефіцієнта газовилучення.

Аналіз результатів досліджень показує, що зі збільшенням тиску запомповування CO<sub>2</sub> зростає об'єм додатково видобутого метану, чого не спостерігалось при використанні азоту (рисунок 5). Максимальний коефіцієнт газовилучення досягається при використанні методу підвищеної компенсації відбору при запомповуванні діоксиду вуглецю при тиску рівному 0,8 від початкового пластового тиску.



- ◆ Приріст коефіцієнту газовилучення для методу повної компенсації відбору
- Приріст коефіцієнту газовилучення для методу підвищеної компенсації відбору
- ◆ Кількість запомпованого CO<sub>2</sub> для методу повної компенсації відбору
- Кількість запомпованого CO<sub>2</sub> для методу підвищеної компенсації відбору

Рисунок 5 - Графічна інтерпретація результатів експериментів по заміщенню метану вуглекислим газом

Проте метод повної компенсації відбору при тиску 0,6 від початкового пластового тиску відповідає умові мінімізації об'єму запомпованого вуглекислого газу. Тому саме його рекомендується до впровадження.

У **третьому розділі** наведено результати теоретичних досліджень з використанням 3D комп'ютерного гідродинамічного моделювання щодо оцінки оптимальних параметрів свердловин та тріщин ГРП у низькопроникних колекторах виходячи з їх технологічної та економічної ефективності.

В якості інструменту для оцінки оптимальних параметрів горизонтальних свердловин з поперечними тріщинами гідравлічного розриву пласта було використано гідродинамічний симулятор ECLIPSE 300 у комплексі з геологічним симулятором PETREL компанії Schlumberger, ліцензією на використання яких володіє ІФНТУНГ.

Дані дослідження проводились на гідродинамічній моделі пласта довжиною 3000 м та шириною 1000 м, яка була розбита на 21000 комірок зі згущенням сітки у навколосвердловинній зоні (рисунок 6). Глибина залягання покладу 2800 м, товщина

пласта 100 м, пластова температура 70°C, початковий пластовий тиск 300 бар. Коефіцієнт проникності змінювався в межах  $0,01 \div 10 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ .

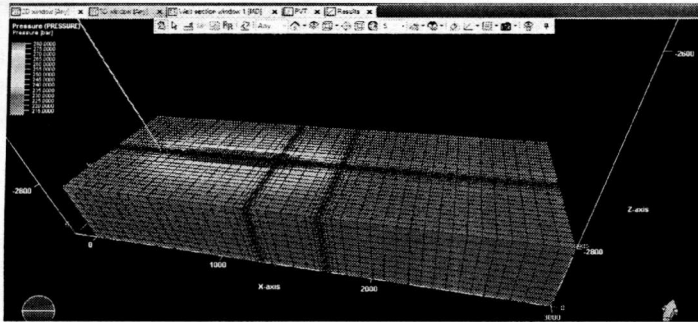


Рисунок 6 – Загальний вигляд гідродинамічної моделі

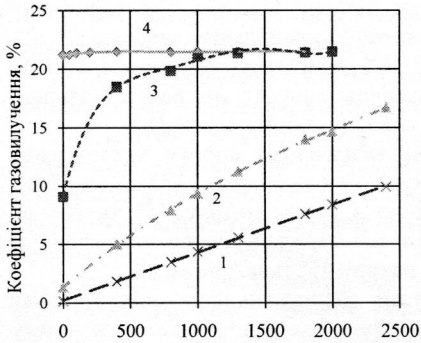
Як базовий варіант у дослідженнях було використано вертикальну свердловину, яка розкрила 75% продуктивного пласта. Інші варіанти передбачали буріння свердловини з довжиною горизонтальної ділянки від 50 до 2400 м. Розрахунки для всіх варіантів здійснювались на 20 років при експлуатації свердловин на технологічному режимі постійного вибійного тиску (200 бар).

Технологічна ефективність оцінювалася виходячи з аналізу накопиченого видобутку газу та коефіцієнту газовилучення для різних варіантів. Економічний аналіз ґрунтувався на визначенні чистого приведеного (дисконтованого) доходу (NPV – Net present value), який було проведено базуючись на вітчизняних нормативно-правових актах та закордонних публікаціях станом на кінець 2014 року. Для розв'язку поставленої оптимізаційної задачі було використано генетичні алгоритми.

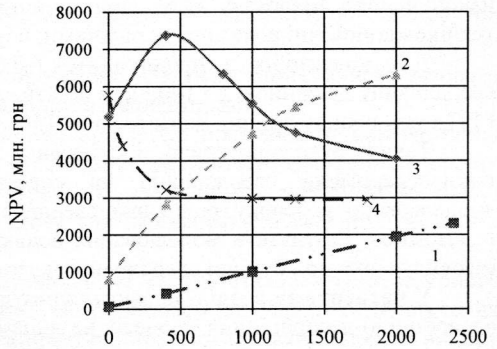
На рисунку 7 наведено результати гідродинамічного моделювання з метою визначення оптимальної довжини горизонтального стовбура свердловини.

За результатами проведених досліджень встановлено, що для низькопроникних колекторів оптимальна довжина горизонтального стовбура може бути встановлена виходячи виключно з умов конкретного родовища та техніко-економічних показників підприємства. Для колекторів з порівняно високою проникністю (близько  $1 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ ) оптимальна довжина горизонтального стовбура становить близько 1000 м, а подальше її збільшення не дасть відчутного техніко-економічного ефекту.

Для колекторів з меншою проникністю залежності коефіцієнта газовилучення та чистого дисконтованого доходу від довжини горизонтального стовбура мають практично прямолінійний характер, і їхнє збільшення призводитиме до зростання газовилучення. Такі результати підтверджуються практичним досвідом буріння горизонтальних свердловин на нетрадиційних родовищах природного газу в США, де нафтогазовидобувні компанії вибирають довжину горизонтальної свердловини виходячи не з технологічно обґрунтованих параметрів, а з фінансових можливостей компанії та взаємного просторового розташування свердловин і меж родовища.



а) Довжина горизонтального стовбура, м



б) Довжина горизонтального стовбура, м

Рисунок 7 – Графічні залежності коефіцієнта газовилучення (а) та чистого дисконтного доходу (б) від довжини горизонтального стовбура для різних значень проникності пласта: 1 –  $0.01 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>; 2 –  $0.1 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>; 3 –  $1 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>; 4 –  $10 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Оптимальна довжина поперечної тріщини гідравлічного розриву пласта практично не залежить від проникності колектора і коливається у межах 100-200 м, та в середньому складає 100-150 м (рисунок 8). Винятком можуть бути тільки високопроникні колектори ( $\sim 10 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>), для яких доцільним є проведення ГРП з утворенням поперечної тріщини довжиною до 50 м.

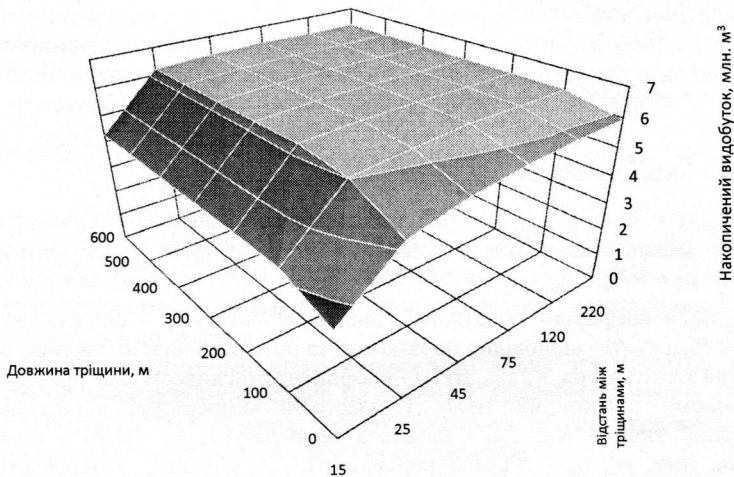


Рисунок 8 - Залежність довжини тріщини гідравлічного розриву пласта та відстані між ними від накопиченого видобутку газу для горизонтальної свердловини

Оптимальна відстань між тріщинами ГРП складає 25 м. При цьому значенні відстані між тріщинами спостерігається максимальний NPV та приріст

накопиченого видобутку газу. При меншій чи більшій відстані між тріщинами техніко-економічні показники є нижчими, порівняно з оптимальним варіантом.

Для колекторів з проникністю  $1-0,01 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> рекомендується бурити свердловину довжиною до 1000 м, з подальшим проведенням у ній поінтервального ГРП з утворенням тріщин довжиною до 150 м, при відстані між ними 25 м.

Також було проведено дослідження по визначенню впливу кута нахилу похилоскерованої свердловини на коефіцієнт газовилучення. Зокрема було змодельовано розробку родовища свердловиною з кутом нахилу 45° та 60° до горизонталі. Результати моделювання показали, що суттєвої різниці у коефіцієнті газовилучення при бурінні свердловин з кутом нахилу 45° та 60° немає.

У **четвертому розділі** подаються результати досліджень щодо оцінки впливу адсорбційно-десорбційних процесів на динаміку кривої зведеного пластового тиску від накопиченого видобутку газу.

Експериментальним шляхом встановлено, що залежність зведеного пластового тиску від накопиченого видобутку газу відхиляється від прямолінійної залежності для умов родовищ із низькопроникними колекторами. Причому це відхилення починає проявлятися при зниженні тиску в моделі до ~0,2 від початкового тиску. Таке відхилення зумовлено основною мірою десорбцією метану, що підтверджується також ізотермами адсорбції.

З огляду на це нами уточнено рівняння матеріального балансу з урахуванням адсорбційно-десорбційних процесів в умовах розробки родовищ природних газів з низькопроникними низькопроникними колекторами на виснаження (4) та при використанні неуглеводневих заміщувальних агентів (5). На основі отриманих рівнянь уточнено відповідні методики для прогнозування технологічних показників розробки.

$$\frac{\alpha_{\text{поч}} \Omega_{\text{поч}} P_{\text{поч}} T_{\text{см}}}{z_{\text{поч}} P_{\text{ат}} T_{\text{пл}}} + V_L \cdot \frac{\bar{P}_{\text{мг}}(t)}{\bar{P}_{\text{мг}}(t) + P_L} \cdot \rho_n \cdot F \cdot h \cdot (1-m) \cdot 10^{-3} =$$

$$= \frac{\alpha_{\text{поч}} \Omega_{\text{поч}} \bar{P}_{\text{пл}}(t) T_{\text{см}}}{z(\bar{P}_{\text{пл}}) P_{\text{ат}} T_{\text{пл}}} + V_L \cdot \frac{\bar{P}_{\text{мг}}(t)}{\bar{P}_{\text{мг}}(t) + P_L} \cdot \rho_n \cdot F \cdot h \cdot (1-m) \cdot 10^{-3} + Q_{\text{вуд}}(t) \quad ; \quad (4)$$

$$\frac{\alpha_{\text{поч}} \Omega_{\text{поч}} P_{\text{поч}} T_{\text{см}}}{z_{\text{поч}} P_{\text{ат}} T_{\text{пл}}} + V_L \cdot \frac{\bar{P}_{\text{мг}}}{\bar{P}_{\text{мг}} + P_L} \cdot \rho_n \cdot F \cdot h \cdot (1-m) \cdot 10^{-3} + Q_{\text{мг}}^{\text{CO}_2}(t) =$$

$$= \frac{\alpha_{\text{поч}} \Omega_{\text{поч}} \bar{P}_{\text{пл}}(t) T_{\text{см}}}{z(\bar{P}_{\text{пл}}) P_{\text{ат}} T_{\text{пл}}} + V_L \cdot \frac{\bar{P}_{\text{мг}}(t)}{\bar{P}_{\text{мг}}(t) + P_L} \cdot \rho_n \cdot F \cdot h \cdot (1-m) \cdot 10^{-3} + Q_{\text{мг}}^{\text{CH}_4}(t) + Q_{\text{мг}}^{\text{CO}_2}(t) \quad , \quad (5)$$

де  $\alpha_{\text{поч}}$  - коефіцієнт початкової газонасиченості;  $\Omega_{\text{поч}}$  - початковий поровий об'єм, м<sup>3</sup>;  $P_{\text{поч}}$ ,  $P_{\text{пл}}(t)$  - відповідно початковий та поточний пластовий тиск, МПа;  $T_{\text{см}}$  - стандартна температура, К;  $z_{\text{поч}}$ ,  $z(P_{\text{пл}})$  - коефіцієнт стисливості газу при початковому та поточному пластовому тиску і пластовій температурі відповідно;  $P_{\text{ат}}$  - атмосферний тиск, МПа;  $T_{\text{пл}}$  - пластова температура, К;  $Q_{\text{вуд}}(t)$  - накопичений видобуток газу, м<sup>3</sup>;  $\rho_n$  - густина породи, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  - площа газонасиченості, м<sup>2</sup>;  $h$  - товщина пласта, м;  $m$  - коефіцієнт пористості,  $V_L$  - об'єм Ленгмюра, м<sup>3</sup>/т;  $P_L$  - тиск Ленгмюра, МПа  $Q_{\text{мг}}^{\text{CO}_2}(t)$  - об'єм запомпованого витіснювального агента (CO<sub>2</sub>), м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{мг}}^{\text{CH}_4}(t)$  - залишкові запаси витіснювального агента (CO<sub>2</sub>), м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{вуд}}^{\text{CH}_4}(t)$  - накопичений



видобуток природного газу (метану),  $m^3$ ;  $Q_{\text{накоп}}^{\text{CO}_2}(t)$  - накопичений видобуток витісняювального агента ( $\text{CO}_2$ ),  $m^3$ .

Уточнені рівняння та методики апробовано для умов гіпотетичного газового родовища з низькопористими низькопроникними колекторами.

У **п'ятому розділі** наведено рекомендації щодо практичного використання розроблених методів та технологій. Аналізуючи результати експериментальних досліджень та беручи до уваги шляхи отримання азоту та діоксиду вуглецю, більш ефективним вважається використання азоту для інтенсифікації десорбції метану з поверхні порового простору.

Теоретичні дослідження, які базувались на результатах 3D комп'ютерного гідродинамічного моделювання, показали, що підвищити коефіцієнт газовилучення з родовища, а також чистий дисконтований грошовий потік можна шляхом вибору оптимальних параметрів стовбура горизонтальної свердловини та параметрів тріщин гідравлічного розриву пласта.

Розроблені рівняння та методики пропонується використовувати при проектуванні розробки родовищ природних газів як із низькопористими низькопроникними колекторами, так і з порівняно високопроникними пластами. Однак для більш точного визначення адсорбційних параметрів порід-колекторів рекомендується проводити лабораторні дослідження на керновому матеріалі з використанням розробленої лабораторної установки.

Як показали результати експериментальних досліджень адсорбційно-десорбційні процеси впливають на розробку газових родовищ, і їхній вплив збільшується зі зменшення проникності колектора. Тому впровадження розроблених методів підвищення газовилучення рекомендується проводити на родовищах України з проникністю  $10 \cdot 10^{-3}$   $\text{мкм}^2$  або нижче. Однак, протікання адсорбційно-десорбційних процесів варто враховувати і при розробці родовищ із порівняно високопроникними колекторами. Проте при цьому необхідно додатково оцінити економічну ефективність використання розроблених методів шляхом проведення додаткових експериментальних та теоретичних досліджень.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій за результатами експериментальних і теоретичних досліджень удосконалено відомі технології інтенсифікації видобування газу і підвищення газовилучення із родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними піщаними колекторами. Основні результати зводяться до наступного.

1. Вперше експериментально встановлено вплив температури, тиску та проникності піщаних порід-колекторів на здатність адсорбувати метан. Отримано емпіричну залежність яка дозволяє оцінити питомий об'єм адсорбованого газу залежно від проникності колектора, тиску та температури.

2. Експериментально визначено відносну адсорбційну здатність метану, азоту та діоксиду вуглецю на поверхні ущільнених пісковиків та обґрунтовано напрямки підвищення коефіцієнта газовилучення за рахунок інтенсифікації видобутку адсорбованого газу шляхом запомповування неуглеводневих заміщувальних агентів.

3. Експериментально встановлено вплив тиску початку запомповування замішувального агенту на коефіцієнт газовилучення газових родовищ з низькопористими низькопроникними колекторами. Обґрунтовано фізичний зміст процесів, які мають місце при запомповуванні неуглеводневих газів та розроблено рекомендації щодо вибору тиску запомповування азоту та діоксиду вуглецю з метою підвищення газовилучення.

4. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що при використанні азоту найбільш ефективним є технологія повної компенсації відбору природного газу при тиску запомповування, рівному 0,8 від початкового пластового тиску. Дана технологія відповідає умові мінімізації об'єму запомпованого азоту та максимізації коефіцієнта газовилучення. Тому саме його рекомендується до впровадження.

5. За результатами 3D комп'ютерного гідродинамічного моделювання обґрунтовано вибір параметрів горизонтального стовбура свердловини та тріщин гідравлічного розриву пласта залежно від проникності колектора виходячи з умов техніко-технологічної та економічної оптимізації з використанням методу генетичних алгоритмів.

6. Встановлено, що для колекторів з проникністю  $(0,01-1) \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> рекомендується бурити горизонтальну свердловину довжиною до 1000 м, з подальшим проведенням у ній поінтервального гідравлічного розриву пласта з утворенням тріщин довжиною до 150 м, при відстані між ними 25 м.

7. Оцінено вплив перебігу адсорбційно-десорбційних процесів на залежність зведеного середнього пластового тиску від накопиченого видобутку газу та обґрунтовано необхідність врахування адсорбційно-десорбційних процесів при проектуванні та аналізі розробки родовищ природних газів, особливо з низькопористими низькопроникними колекторами.

8. Уточнено рівняння матеріального балансу для газового родовища в умовах газового режиму розробки шляхом врахування в ньому впливу перебігу адсорбційно-десорбційних процесів при розробці родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами на виснаження та при використанні неуглеводневих замішувальних агентів.

9. На основі отриманих рівнянь матеріального балансу уточнено методики прогнозування технологічних показників розробки родовищ природних газів з низькопористими низькопроникними колекторами вертикальними та горизонтальними свердловинами при розробці на виснаження та з використанням неуглеводневих замішувальних агентів. Запропоновані рівняння та методики апробовано для умов гіпотетичного газового родовища з низькопористими низькопроникними колекторами. Встановлено, що за однаковий період розробки родовища (20 років) накопичений видобуток газу при врахуванні десорбції зростає приблизно на 8 % порівняно з результатами розрахунків без врахування десорбційних процесів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kondrat O. R. Enhanced natural gas recovery from low-permeable reservoirs // O. R. Kondrat, N. M. Hedzyk // Quarterly of AGH University of Science and Technology (Польща), Vol.33, No.2, 2016. - P. 323-339.
2. Kondrat O. Optimization of the process of natural gas production stimulation from low permeable reservoirs/O. Kondrat, N. Hedzyk// New developments in mining engineering. Theoretical and practical solutions of mineral resources mining. - Taylor & Francis Group, London, Uk, 2015. - P. 479-484.
3. Гедзик Н. М. Оцінка та врахування впливу адсорбційно-десорбційних процесів на характер кривої зведеного пластового тиску від накопиченого видобутку газу /Н. М. Гедзик// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. - №1 (58). – С. 68-75.
4. Гедзик Н. М. Оцінка можливості використання неуглеводневих газів для інтенсифікації десорбції метану при розробці родовищ природних газів з низькопроникними колекторами /Н. М. Гедзик// Прикарпатський вісник НТШ: Число. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. - №1 (33). – С. 183-191.
5. Kondrat O. R. Study of adsorption processes influence on development of natural gas fields with low-permeability reservoirs /O.R. Kondrat, N. M. Hedzyk// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. - №4 (53). – С. 7-17.
6. Кондрат О.Р. Сланцевий газ: проблеми і перспективи / О.Р.Кондрат, Н.М.Гедзик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - Івано-Франківськ: Факел, 2013. - № 2(47). - С. 7-18.
7. Кондрат О.Р. Обґрунтування нових техніко-технологічних рішень для інтенсифікації видобування природного газу з нетрадиційних родовищ / О.Р.Кондрат, Н.М.Гедзик// Тези доповідей 9-ї міжнародної науково-технічної конференції "Нафта і газ України - 2013", 3-6 вересня 2013р., м. Яремче, С. 166-167.
8. Kondrat A. R. Physical and hydrodynamic peculiarity of unconventional reservoirs development / A. R. Kondrat, N. M. Hedzyk // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика - 2013", 7-11 жовтня 2013р.- м. Івано-Франківськ, С. 28-30.
9. Кондрат А. Р. Оценка адсорбционных процессов при разработке низкопористых низкопроницаемых коллекторов / А.Р. Кондрат, Н. Н. Гедзик // Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса: тезисы докладов международной молодежной конференции, 23-29 ноября 2014 г. - г. Уфа, С. 98-101.
10. Гедзик Н. М. Експериментальні дослідження процесу адсорбції природного газу у низькопроникних колекторах / Н. М. Гедзик // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи» присвяченої 70-річчю газонафтопромислового факультету, 10-12 грудня 2014р.- м. Івано-Франківськ, С. 57-59.
11. Гедзик Н. М. Обґрунтування вибору параметрів тріщин гідралічного розриву пласта на родовищах природних газів з низькопроникними колекторами / Н. М. Гедзик // Тези доповідей 4-ї міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика 2015», 21-24 квітня 2015р.- м. Івано-Франківськ, С. 99-102.

12. Кондрат О. Р. Підвищення коефіцієнту газовилучення з газових родовищ з низькопроникними колекторами / О. Р. Кондрат, Н. М. Гедзик // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики» присвяченої 65-річчю Геологорозвідувального факультету, 25-27 травня 2016 р. – м. Івано-Франківськ, С. 189-192.

13. Kondrat O. R. Enhanced natural gas recovery from low-permeable reservoirs // O. R. Kondrat, N. M. Hedzyk // Abstract book of 27th Conference Drilling-Oil-Gas AGH 2016, 08-10 June 2016. – Krakow, P. 7.

## АНОТАЦІЯ

Гедзик Н. М. Удосконалення технології підвищення газовилучення з родовищ і з низькопроникними теригенними колекторами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06 – розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2016.

Дисертація присвячена удосконаленню технології підвищення газовилучення та поточних відборів з родовищ із низькопроникними теригенними колекторами.

У роботі експериментально встановлено вплив температури, тиску і проникності піщаних колекторів на величину питомого об'єму адсорбованого газу та отримано відповідну емпіричну залежність. Експериментально визначено відносну адсорбційну здатність метану, азоту та діоксиду вуглецю на поверхні ущільнених пісковиків та обґрунтовано напрямки підвищення коефіцієнта газовилучення за рахунок інтенсифікації видобутку адсорбованого газу шляхом запомповування неуглеводневих заміщувальних агентів. Досліджено вплив тиску та методу запомповування неуглеводневих заміщувальних агентів на коефіцієнт кінцевого газовилучення.

За результатами комп'ютерного гідродинамічного моделювання у програмному середовищі Eclipse 300 оцінено оптимальні параметри профілів свердловин і тріщин гідравлічного розриву пласта за технологічними та економічними критеріями.

Експериментально встановлено вплив адсорбційно-десорбційних процесів на характер кривої зведеного пластового тиску від накопиченого видобутку газу. Уточнено рівняння матеріального балансу при газовому режимі розробки шляхом урахування адсорбційно-десорбційних процесів. На основі отриманих рівнянь уточнено відповідні методики прогнозування технологічних показників розробки газових родовищ з низькопроникними колекторами вертикальними та горизонтальними свердловинами.

Узагальнено отримані результати та наведено рекомендації щодо практичного використання та подальшого промислового впровадження розроблених техніко-технологічних рішень.

Ключові слова: газове родовище, низькопроникні колектори, адсорбція, коефіцієнт газовилучення, десорбція, гідравлічний розрив пласта, горизонтальна свердловина, рівняння матеріального балансу.

## АННОТАЦИЯ

Гедзик Н. М. Совершенствование технологии увеличения газоотдачи с месторождений с низкопроницаемыми терригенными коллекторами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 - разработка нефтяных и газовых месторождений. - Иванов-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Иванов-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена совершенствованию технологии увеличения газоотдачи и текущих отборов из месторождений природных газов с низкопроницаемыми терригенными коллекторами.

По результатам работы впервые экспериментально установлено влияние температуры, давления и проницаемости песчаных пород-коллекторов на способность адсорбировать метан. Получена аналитическая зависимость, которая позволяет оценить количество адсорбированного газа в зависимости от проницаемости коллектора, давления и температуры.

Экспериментально определено относительную адсорбционную способность метана, азота и диоксида углерода на поверхности уплотненных песчаников и обоснованы направления повышения коэффициента газоотдачи за счет интенсификации добычи адсорбированного газа путем нагнетания неуглеводородных заместительных агентов. Исследовано влияние давления и метода нагнетания неуглеводородных заместительных агентов на коэффициент конечной газоотдачи месторождений природных газов с низкопористых низкопроницаемых коллекторами и обоснованно физический смысл процессов, которые при этом проходят.

По результатам компьютерного гидродинамического моделирования проведена оценка оптимальных параметров стволов скважин и трещин гидравлического разрыва пласта исходя из их технико-технологической и экономической оптимизации с использованием генетических алгоритмов. Оценено значение чистого дисконтированного денежного дохода в зависимости от параметров скважины, трещин гидравлического разрыва пласта и проницаемости коллектора. Обоснованы рекомендации по бурению горизонтальных скважин в низкопроницаемых коллекторах и проведения в них гидравлического разрыва пласта.

После анализа промышленных данных и результатов собственных лабораторных исследований обоснована целесообразность учета адсорбционно-десорбционных процессов при разработке месторождений природных газов с низкопористыми низкопроницаемыми коллекторами. Экспериментально установлено влияние адсорбционно-десорбционных процессов на характер кривой сводного пластового давления от накопленной добычи газа. Уточнено уравнение материального баланса для газового месторождения при газовом режиме разработки путем учета адсорбционно-десорбционных процессов при разработке вертикальными и горизонтальными скважинами на истощение и при нагнетании неуглеводородных заместительных агентов по обоснованным технологиям.

На основе полученных уравнений уточнены соответствующие методики прогнозирования технологических показателей разработки. Разработаны уравнения и методики апробированы для условий гипотетического газового месторождения.

Проведено сравнение полученных результатов с мировым опытом и сделаны соответствующие выводы. Приведены обобщения и рекомендации по практическому использованию и промышленному внедрению предлагаемых технико-технологических решений.

Ключевые слова: газовое месторождение, низкопроницаемые коллекторы, адсорбция, коэффициент газовилучения, десорбция, гидравлический разрыв пласта, горизонтальная скважина, уравнение материального баланса.

### ABSTRACT

Hedzyk N. M. The improvement of enhanced natural gas recovery technology from the fields with low-permeable terrigenous reservoirs. – The manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.06 - Development of oil and gas fields. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2016.

The thesis is devoted to improving the enhanced gas recovery technology and current gas production from the fields with low-permeable terrigenous reservoirs.

The paper experimentally established the effect of temperature, pressure and permeability of sand reservoirs on the value of specific volume of adsorbed gas and appropriate empirical relationship was obtained. The relative adsorption of methane, nitrogen and carbon dioxide on the surface of sand packed model was experimentally determined and the directions for enhanced gas recovery factor by gas desorption intensification using non-hydrocarbon displacement agents injection were grounded. The influence of pressure and method of non-hydrocarbon displacement agents injection on ultimate gas recovery factor was determined.

As a result of hydrodynamic computer simulation using Eclipse 300 software the optimal parameters of wells profiles and hydraulic fractures were evaluated based on technological and economic criteria.

The impact of adsorption-desorption processes on the dynamics of the curve of reduced reservoir pressure from cumulative gas production was experimentally established. The material balance equation under gas drive was specified by taking into account adsorption-desorption processes. On the basis of these equations the calculation methods were specified for predicting the technological parameters of the natural gas fields with low-permeable reservoirs development by vertical and horizontal wells.

Obtained results were summarized and recommendations for practical implementation and commercialization of elaborated technical and technological solutions were suggested.

Keywords: gas field, low-permeable reservoirs, adsorption, gas recovery factor, desorption, hydraulic fracturing, horizontal well, material balance equation.