

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Педченка Назара Михайловича

«Удосконалення способів розробки газогідратних покладів

та контролю за гідратоутворенням»,

поданої на здобуття ступеня **доктора філософії**

з галузі знань 18 Виробництво та технології

за спеціальністю 185 Нафтогазова інженерія та технології

Актуальність теми. У надрах Землі та акваторіях Світового океану існують практично необмежені ресурси природного газу у твердому гідратному стані, доступні більшості країн світової спільноти. Причому, в складі газових гідратів (і перш за все морських) накопичено за різними оцінками від 10^{15} до 10^{18} м³ природного газу, що суттєво перевищує всі запаси вуглецевого палива. Близько 98% покладів газових гідратів зосереджено в Світовому океані. Їх поклади зосереджено в донних відкладах на глибині від 200 до 700 метрів. Для розробки таких родовищ необхідна технічно доступна, економічно обґрунтована і ошадлива для навколишнього природного середовища технологія видобутку газу з родовищ газових гідратів. Скупчення нетрадиційних вуглеводнів, у тому числі і таких, як газ метан із газогідратних покладів, міститься переважно в малопроникних породах і, як правило, має регіональне поширення. Характерною особливістю нетрадиційних скупчень вуглеводнів є відсутність чіткого поділу на колектор та флюїдоупор. Порода одночасно є колектором та покришкою. З технічної точки зору головна відмінність між традиційними покладами та нетрадиційними скупченнями вуглеводнів полягає у неможливості отримання промислових дебітів газу без використання спеціальних технологій. Останніми роками спостерігається суттєвий прогрес у розробленні технологій видобування природного газу із покладів газових гідратів.

Однак, на сьогодні поки не існує комерційно привабливого і технічно опрацьованого методу (технології) отримання природного газу з родовищ

газсвих гідратів. Причиною тому, перш за все, є низька продуктивність видобутку і, значною мірою пов'язана з цим, висока собівартість отриманого газу. На собівартість продукції морських родовищ також впливають суттєво ускладнені проблемою техногенного гідратоутворення етапи збору, підготовки і транспортування свердловинної продукції. Причому, це стосується як продукції родовищ газових гідратів, так і традиційних газових. Аналіз технологічних операцій і комплексу промислового обладнання показує, що значна їх частина прямо чи опосередковано стосується попередження техногенного гідратоутворення. У зв'язку з цим, **актуальними** задачами досліджень є підвищення ефективності технологічних процесів розробки морських родовищ газових гідратів і традиційного газу на основі енергоефективних технологічних рішень та використання альтернативних джерел енергії.

Саме на це скерована дисертаційна робота Педченка Н. М., яка присвячена удосконаленню способів розробки газогідратних покладів та контролю за гідратоутворенням. Виходячи з вищесказаного вважаю тему роботи актуальною і перспективною для розвитку цього напрямку досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі нафтогазової інженерії і технологій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» відповідно до пріоритетного тематичного напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок «Технології розроблення та використання нових видів палива, відновлюваних і альтернативних джерел енергії та видів палива», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 року № 942. Здобувач також приймав участь у науково-дослідній роботі Міністерства освіти і науки України «Розробка технології для видобування важковидобувних вуглеводнів (бітуми, високов'язкі нафти, газові гідрати та інші) на основі фізичних та хімічних процесів» (номер держреєстрації 0120U104892) як основний виконавець окремих розділів.

Вище зазначене дає всі підстави вважати, що актуальність теми дисертаційної роботи є своєчасною і важливою для нафтогазової галузі.

Мета і завдання дослідження сформульовані методично грамотно з урахуванням відомостей, які були отримані іншими дослідниками і встановлених фактів, що дозволило дисертанту визначити пріоритетні напрями і нез'ясовані питання, а саме підвищення ефективності розробки морських родовищ газових гідратів шляхом удосконалення технології на основі енергоефективних технологічних рішень і керування техногенним гідратоутворенням.

Основні наукові положення та висновки, підтвержені великою кількістю експериментальних досліджень і відповідають поставленим **завданням дослідження**, а саме:

- проаналізувати існуючий рівень технологій розробки морських покладів газових гідратів та способів встановлення параметрів техногенного гідратоутворення;
- розробити (удосконалити) і обґрунтувати енергоефективний спосіб видобування газових гідратів;
- на основі запропонованого способу розробити варіанти технологічних схем розробки покладів газових гідратів і вільного газу;
- розробити математичну модель одного із процесів запропонованої технології, а також здійснити комп'ютерне моделювання кількох процесів;
- розробити (удосконалити) спосіб оперативного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах газогідратних родовищ (в т.ч. в присутності інгібітору гідратоутворення);
- розробити і обґрунтувати конструкцію лабораторної установки для реалізації способу оперативного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах;
- провести експериментальні дослідження особливостей кінетики гідратоутворення у водних розчинах інгібіторів даного процесу високої концентрації.

Дисертантом обрано як **об'єкт дослідження**, технологічні процеси видобування, підготовки і транспортування продукції морських газогідратних родовищ. Відповідно **предметом дослідження** дисертаційної роботи були особливості фазових перетворень в системі «газ – вода – газовий гідрат» в процесі розробки морських газогідратних родовищ.

Методи дослідження: поставлені завдання Педченко Н. М. вирішував завдяки розробленому способу розробки газогідратних покладів та контролю за гідратоутворенням. У своїй роботі Педченко Н. М. застосував методи, адекватні поставленим завданням, для цього було використано: класичні положення теорії технічної гідромеханіки і масообмінних процесів між рідиною та газом (утворення, дисоціація і перекристалізація газогідрату), а також теоретичних основ розділення дисперсних систем. Для дослідження кінетики гідратоутворення застосовано метод фізичного моделювання процесів за допомогою розробленого з цією метою лабораторного обладнання. Також використано метод математичного моделювання технологічного процесу, яку реалізовано в програмі MATLAB. Моделювання технологічних процесів також здійснювалось за допомогою програми COMSOL Multiphysics. Статистичну обробку результатів експериментальних досліджень виконано методами математичної статистики (Microsoft Excel, Statistica).

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Педченко Н. М. вперше запропоновано принцип і обґрунтовано механізм ефективного відділення газогідрату від породи при розробці його покладів способом гідровидобутку, який передбачає:

- підтримання мінімальної відстані між гідромонітором і фронтом руйнування;
- дезінтеграцію породи струменем;
- часткову дисоціацію газогідрату за рахунок теплоти дисипації енергії струменя і вивільнення у результаті цього породних включень;
- повторне зв'язування виділеного газу в гідратну форму за межами зони перегріву, але без агломерації з породою.

2. Вперше запропоновано принцип і обґрунтовано механізм геотехнологічного процесу гідровидобутку газогідрату при розробці його покладів, який передбачає:

- переведення гідратовмісної породи в склад гідросуміші;
- утворення в процесі гідровидобутку гірничої виробки;
- гравітаційну сепарацію гідросуміші безпосередньо у виробці;
- відбір концентрованої на газогідрат гідросуміші із верхньої частини виробки.

3. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено спосіб оперативного встановлення параметрів повторної кристалізації газогідрату в пластових системах газогідратних родовищ, які піддались дисоціації, але володіють пам'яттю гідратних структур, заснований на фіксації моменту візуальної ідентифікації твердої фази на поверхні газової бульбашки або місці її виходу з рідини в процесі підвищення тиску в реакторі і зниження температури зразка.

4. Експериментально зафіксовано і вперше теоретично обґрунтовано механізм аномальної стабільності газового гідрату в розчині інгібітору термодинамічної дії високої концентрації, який полягає в утворенні шару льоду на поверхні кристалів гідрату, що перешкоджає безпосередньому їх контакту з інгібітором.

Практичне значення отриманих результатів для нафтогазовидобувної галузі полягає у такому:

1. Розроблено спосіб видобування газового гідрату (патент України на корисну модель №90857, патент України на винахід № 109336), в якому реалізовано геотехнологічні процеси псевдозрідження гідратовмісної породи, утворення тимчасової гірничої виробки, гравітаційної сепарації газогідрату і його газліфтного вилучення.

2. Розроблено спосіб видобування газу із покладів газових гідратів (патент України на корисну модель №137639, патент України на винахід №122631), в

якому поєднано переваги технологічних процесів гідровидобутку і термічного впливу.

3. Розроблено метод видобування і транспортування газу морських газових і газогідратних родовищ (патент України на корисну модель № 92206), який передбачає зв'язування видобутого газу у газогідратну форму, а також зберігання і регазифікацію газогідрату за рахунок нетрадиційних джерел енергії.

4. Розроблено методику оперативного лабораторного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в продукції газогідратних родовищ.

5. Розроблено і виготовлено лабораторну установку для оперативного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах газогідратних родовищ за розробленою методикою.

6. Запропоновано спосіб і принципову схему енергоефективного процесу переведення газу морських родовищ, для його подальшого транспортування і зберігання, в склад газогідрату за рахунок альтернативних джерел енергії (пластової енергії і морського середовища).

7. Розроблено і обґрунтовано принципову схему наземного мобільного сховища газових гідратів і спосіб його енергоощадної експлуатації.

8. Результати дисертаційного дослідження, а саме методику оперативної лабораторної оцінки параметрів гідратоутворення використано для встановлення характеристик свердловинної продукції при розроблені заходів по попередженню даного процесу на промисловому об'єкті ТОВ «СЕНС-Д».

9. Результати наукових досліджень упроваджені в навчальний процес при викладанні дисципліни «Альтернативні джерела вуглеводнів та газогідратні технології в нафтогазовій галузі» при підготовці магістрів за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології» кафедри нафтогазової інженерії та технологій НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Додаток Б). Розроблене лабораторне обладнання використовується аспірантами і

магістрами кафедри нафтогазової інженерії та технологій для проведення досліджень.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів.

Основні наукові положення, висновки підтверджені коректною постановкою завдань та логічним поетапним їхнім вирішенням. Шляхом проведення аналітичних та багаторазових експериментальних досліджень що узгоджувались з літературними даними та перевіркою адекватності запропонованих математичних моделей.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення і результати роботи одержані здобувачем особисто. Серед них: обґрунтування теоретичної частини, розроблення лабораторного обладнання; математичне та фізичне моделювання; проведення лабораторних досліджень, статистична обробка результатів досліджень, удосконалення технологій, апробація результатів роботи.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи Педченко Н. М. пройшли апробацію на наукових конференціях в Україні та за кордоном.

Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на: XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», 9-10 грудня 2021 року Полтава: НУПП; III International Scientific and Theoretical Conference Interdisciplinary research «Scientific horizons and perspectives»: May 6, 2022, Vilnius, Republic of Lithuania; XII Міжнар. наук.-практ. конф. «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», 6 грудня 2019 р., Полтава НУПП; II Міжнар. Азербайджансько-Української конф. “Building Innovations – 2019”, 23 – 24 травня 2019 р., Полтава: ПолтНТУ; 4 nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”, Petroani, Romania, 2021; 71-74 наукові конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету: НУПП, 2019-2022 рр.

Мова і стиль роботи. Матеріал роботи викладений логічно, представлений достатньою мірою і написаний гарною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу відповідає вимогам до наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень. Суттєвих зауважень щодо пропущених орфографічних та друкарських помилок немає.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 205 сторінок, із них основного тексту 165 сторінок, 63 рисунки за текстом, 5 таблиць за текстом, список використаних джерел із 209 найменувань на 18 сторінках.

У вступі обґрунтовані актуальність теми, мета та завдання роботи, наведені наукова новизна, практичне значення, особистий внесок дисертанта та апробація роботи. В основу дисертаційної роботи покладені результати, отримані автором під час виконання наукових досліджень, проведених на кафедрі нафтогазової інженерії та технологій НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

У першому розділі «Аналіз технологій розробки газогідратних покладів та методик встановлення параметрів гідратоутворення» автором викладено та проаналізовано основні результати експериментів, отримані іншими дослідниками з питань, які стосуються завдань, що вирішуються в дисертації.

В другому розділі «технології розробки покладів газових гідратів» надано обґрунтування особливостей технології свердловинного гідровидобутку газогідрату. Описано елементи видобувного комплексу і орієнтовний матеріальний баланс технології, а саме: схема розробки покладу, деталізація елементів видобувного комплексу та приклад реалізації технологічного процесу. Обґрунтовано варіант розробки газогідратних покладів комбінуванням способу свердловинного гідровидобутку і теплового впливу. Виконано аналіз технології розробки газогідратних покладів способом свердловинного гідровидобутку з одночасним тепловим впливом.

В третьому розділі «Розроблення методики оперативного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах газогідратних родовищ» описана конструкція лабораторної установки а методика проведення досліджень та наведені результати лабораторних досліджень кінетики гідратоутворення в розчинах інгібіторів термодинамічної дії високої концентрації.

У четвертому розділі подано варіанти технологічних схем сумісної розробки газових і газогідратних морських покладів, обґрунтовано технологічну можливість та економічну доцільність переведення газу морських родовищ у склад газогідрату за рахунок альтернативних джерел енергії з метою його транспортування і зберігання.

Висновки по роботі чіткі, логічні і витікають із теоретичних та експериментальних даних, отриманих автором.

Проте до дисертаційної роботи є деякі незначні **зауваження**:

1. У вступі дисертаційної роботи було б доцільно згадати прізвища видатних Українських вчених які поклали початок дослідженню газогідратів як техногенного так природнього походження в як Україні так і в світі.

2. В процесі виконання завдань дослідження, щодо аналізу існуючого рівня технологій розробки морських покладів газових гідратів доцільно було б виконати аналіз бази існуючих патентів з цього напрямку та систематизувати їх за відомими методами розробки.

3. У розділі 2.1 сторінка 61. Відсутнє обґрунтування наведених автором розмірів радіусу локальної зони температурної аномалії з температурою, вищою за рівноважну гідратоутворення (5-25 см).

4. У розділі 2.2 Сторінка 73, другий абзац. Не надано обґрунтування, або посилання на джерело інформації, що саме округла форма склепіння виробки і незначний її діаметр убезпечать зону відбору продукції і гідромоніторну систему від обвалів породи.

5. У розділі 2.2.3 Сторінка 76. Не зрозуміло з урахуванням чого для розрахунку процесу дезінтеграції типової для умов Чорного моря гідратовмісної породи було взято глибину саме 800 м.

6. У розділі 3.1. Не надане пояснення, чому при обґрунтуванні необхідності розробки авторської методики оперативного встановлення параметрів повторного гідратоутворення, саме значна тривалість процесу встановлення рівноважних параметрів гідратоутворення пластових систем не дозволяє зробити цього за традиційними методиками. (ст.112. абзац 2).

7. В роботі не розглянуті питання наявності або відсутності можливих екологічних наслідків запропонованого методу видобутку газогідратів.

8. Графічні та орфографічні помилки:

8.1 На графіках відсутні позначення координаційних осей а текст розмитий.

8.2 Сторінка 26. В визначенні одиниці виміру Коефіцієнта теплопровідності гідратів метану пропущено знак множення $\lambda = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м К})$.

8.3 Сторінка 61. Наводиться скорочення «СГВ», але в тексті відсутнє його розшифровка.

8.4 Сторінка 70. Замість словосполучення «геологічних властивостей» написано «реологічних властивостей».

8.5 Сторінка 90. Помилка в позначенні кількості газу, а саме замість 75012000 млн м³ газу повинно бути 75012000 м³ газу.

8.6 Сторінка 164. Абзац 2 п.2. Замість виразу «...наближено відповідями початку зниження температури», треба написати «..наближено відповідатиме початку зниження температури».

Вказані зауваження не знижують загальний рівень поданої дисертаційної роботи. Дисертанткою отримані значні за науковою цінністю результати. Це дає можливість оцінити дисертаційну роботу як цілісну, закінчену та актуальну наукову працю.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота Педченка Назара Михайловича на тему «Удосконалення способів розробки газогідратних покладів та контролю за гідратоутворенням» є актуальною за змістом, містить наукову новизну, основні результати та висновки дисертації обґрунтовані і перспективні для використання у науці та нафтогазовидобувної галузі, тобто мають теоретичне та практичне значення. Робота свідчить про вміння самостійно формулювати і розв'язувати інженерні задачі, пов'язані з вирішенням досліджуваних питань та робити прикладні висновки.

Основні положення і результати роботи опубліковані: у фахових виданнях, включених в перелік МОН України; в статтях, що опубліковані в наукових виданнях, що включені до наукометричних баз даних; в статтях, що опубліковані в наукових закордонних періодичних виданнях; за науковим напрямом дисертаційного дослідження опубліковано патенти на корисну модель. Дисертаційна робота «Удосконалення способів розробки газогідратних покладів та контролю за гідратоутворенням» є завершеною науковою працею. Дисертація оформлена відповідно до вимог Наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44), а дисертант **Педченко Назар Михайлович** заслуговує присвоєння наукового ступеня **доктора філософії** з галузі знань 18 «Виробництво та технології» та спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології».

Рецензент, старший науковий співробітник
відділу геотермальної енергетики

Інституту відновлюваної енергетики НАН України
кандидат технічних наук

 ЗУР'ЯН О.В.

Підпис старшого наукового співробітника Зур'ян О.В.

«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Інституту відновлюваної енергетики НАН України
доктор технічних наук

 СУРЖИК Т.В.

« 2 » листопада 2022 р.

