

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Педченка Назара Михайловича

на тему:

*«Удосконалення способів розробки газогідратних покладів
та контролю за гідратоутворенням»*,

яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 18 Виробництво та технології за спеціальністю
185 Нафтогазова інженерія та технології

Відгук складено на основі вивчення дисертаційної роботи, опублікованих здобувачем результатів досліджень, а також матеріалів, що свідчать про реалізацію і впровадження результатів дисертаційних досліджень.

1. Обґрунтування актуальності обраної теми досліджень та зв'язок з науковими програмами, планами і темами

На сьогодні основними видами паливно-енергетичних ресурсів є вугілля, нафта та природний газ. В умовах диверсифікації джерел вуглеводнів і розв'язання росією війни на території України, на світовому газовому ринку склалося нестабільне становище. Особливо важливим є питання визначення перспектив енергетичної безпеки багатьох країн шляхом нарощування об'ємів видобування власного газу або пошуку альтернативних видів палива. Найбільш комерційно підготовленим енергоносієм продовжує залишатися метан.

Останніми роками на енергетичному ринку відбуваються істотні зміни, причиною яких, в першу чергу, є постійно зростаючі потреби суспільства в енергії, обумовлені економічним і технологічним розвитком. Провідні країни починають боротися за право розробки родовищ енергоресурсів на нейтральних арктичних і антарктичних територіях. Жорсткість екологічних норм стає імпульсом до переходу на більш чисті види палива. Виникає необхідність пошуку нових альтернативних джерел енергії та розвитку технологій їх видобування й використання, а також підвищення ефективності існуючих в енергетиці технологій. Таким чином, забезпечення енергетичної безпеки стає все більш складним і багатогранним завданням.

Незважаючи на істотний потенціал основних видів відновлюваних джерел енергії, їх практичне використання на сьогодні становить лише незначну частину в паливно-енергетичному балансі, проте суттєво збільшується зацікавленість до розробки технологій видобутку нових видів енергетичної сировини, перспективним з яких є газогідратні поклади, виявлені у багатьох країнах світу.

У промисловому масштабі видобуток метану з газогідратних покладів на сьогодні у світі не ведеться. Проте, ряд провідних країн реалізують масштабні

науково-дослідні програми та активно займаються вивченням питання газових гідратів як штучних, так і природних, а також розробкою технологій гідратоутворення і дисоціації – Японія, США, Канада, Індія, Китай, Норвегія, Південна Корея, Австралія, Туреччина, Болгарія та Україна. Оцінка економічної ефективності газогідратних проєктів вимагає певних уточнень. Дана невизначеність посилюється в зв'язку з триваючим пошуком як оптимальних технологій розробки газогідратних родовищ, так і отриманням газових гідратів для використання їх при транспортуванні вуглеводневої сировини.

Наразі не існує єдиної комерційно вигідної технології вилучення природного газу із газогідратних родовищ. Причина полягає, перш за все, у низькій продуктивності видобутку і доволі високій собівартість отриманого гідратного газу. Також важливе значення має врахування властивостей газових гідратів як при їх дисоціації, так і в процесі повторного гідратоутворення у трубопроводах і як способу транспортування метану. Виходячи з цього, актуальними завданнями є підвищення ефективності технологічних процесів розробки морських родовищ газових гідратів і традиційного газу на основі енергоефективних технологічних рішень.

У зв'язку з вищевикладеним, тема дисертаційного дослідження є вельми актуальною для нафтогазовидобувної і гірничої галузей промисловості світу в цілому і України зокрема.

Слід відмітити зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та темами. Робота виконана 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.

2. Обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Вважаю, що наукове значення роботи і новизна, що виносяться на захист здобувачем, повною мірою відображають отримані наукові результати, що вказує на їх достатню обґрунтованість.

Основні нові наукові результати дисертаційної роботи та їх новизна, що встановлені здобувачем особисто, полягають у наступному:

1. Вперше запропоновано принцип і обґрунтовано механізм ефективного відокремлення газогідрату від породи при розробці газогідратних покладів в

морських умовах за допомогою способу гідровидобутку, що передбачає підтримання мінімальної відстані між гідромонітором і фронтом руйнування; розділення породи струменем; часткову дисоціацію газогідрату за рахунок теплоти дисипації енергії струменя і вивільнення у результаті цього породних включень, а також повторне зв'язування виділеного газу в гідратну форму гідрату за межами зони перегріву, але вже без агломерації з породою.

2. Вперше запропоновано принцип і обґрунтовано механізм процесу гідровидобутку газових гідратів, що передбачає переведення гідратовмісної породи в склад гідросуміші; утворення в процесі гідровидобутку гірничої виробки; гравітаційну сепарацію суміші безпосередньо у виробці з наступним відбором з її верхньої частини концентрованої на газогідрат гідросуміші.

3. Вперше експериментально підтверджено та теоретично обґрунтовано спосіб оперативного встановлення параметрів повторної кристалізації газового гідрату в пластових системах газогідратних родовищ, які піддались дисоціації, але володіють пам'яттю гідратних структур. Спосіб ґрунтується на візуальному встановленні моменту виявлення твердої фази на поверхні газової бульбашки або місці її виходу з рідини при підвищенні тиску в реакторі і зниженні температури зразка.

4. Вперше експериментально встановлено та 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 контакту цих кристалогідратів з інгібітором.

Наукові результати та висновки логічно сформульовані здобувачем після обробки комплексу даних комп'ютерних і експериментальних досліджень.

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням апробованих методів досліджень у лабораторних умовах; застосуванням класичних положень теорії технічної гідромеханіки і масообмінних процесів між рідиною і газом, а також основ розділення дисперсних систем; значним обсягом проведених лабораторних досліджень та результатами математичного моделювання технологічних процесів. При проведенні досліджень використано такі програмні продукти як Matlab і Comsol Multiphysics. Статистична обробка результатів експериментальних досліджень здійснена методами математичної статистики із застосуванням програм Microsoft Excel та Statistica.

3. Оцінка змісту роботи та повнота викладу наукових результатів, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, містить 63 рисунки і 5 таблиць. Основний текст дисертації становить 165 сторінок, загальний обсяг – 205 сторінок.

Структурно-логічна побудова дисертаційної роботи Педченка Н.М. є класичною та загальноприйнятною: виконано критичний аналіз, розроблено

методологію досліджень, здійснено теоретичні й експериментальні дослідження, обґрунтовано параметри та методика їх розрахунку.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих способів і технологій розробки газогідратних покладів та методикам визначення параметрів процесу гідратоутворення. Автором розглянуті основні властивості газових гідратів, особливості їх кристалічної будови, геологічні умови залягання газогідратних покладів у Світовому океані, методи їх визначення, а також технології розробки родовищ газогідратів, що були апробовані у провідних країнах світу, запаси гідратного газу в яких роблять дані родовища привабливими для відпрацювання. Також проаналізовано різні методики встановлення рівноважних параметрів процесу утворення газових гідратів у пластових системах і надана оцінка ефективності інгібіторів даного процесу. Розглянуто й порівняно існуючі на сьогодні традиційні методи розробки газогідратних покладів, засновані на підвищенні температури, зниженні тиску, закачуванні інгібіторів або вуглекислого газу для вилучення метану з покладів. Вказано їх переваги та недоліки. Проаналізовано реалізовані на сьогодні проекти розробки газогідратних родовищ. Особливу увагу приділено технології свердловинного гідровидобутку, яка може бути застосована для вилучення газу із газогідратних покладів, і є придатною для розробки неконсолідованих і слабозцементованих гідратовмісних покладів, частка яких складає близько 90%.

У *другому розділі* автор приділяє увагу вдосконаленню технології розробки газогідратних покладів. Обґрунтовані особливості технології свердловинного гідровидобутку газових гідратів; запропоновано механізм псевдозрідження гідратовмісної породи і початкової сепарації газогідрату; досліджено процес підземної сепарації газогідрату із гідросуміші, отриманої у результаті псевдозрідження гідратовмісної породи при розробці покладів газових гідратів, що передбачає утворення в процесі гідровидобутку гірничої виробки, гравітаційне розділення в ній гідросуміші на осад породи і концентрат газогідрату та його відбір із зони концентрування. Здобувачем розроблено і обґрунтовано спосіб розробки газогідратних покладів, який дозволяє здійснити видобування газогідрату як цільового продукту без витрати енергії на його дисоціацію. Також розроблено спосіб вилучення газу із газогідратних покладів, заснований на поєднанні елементів свердловинного гідровидобутку і теплового впливу на продуктивний пласт. Проведено комп'ютерне моделювання процесу розкладання газового гідрату у збідненій на гідрат гідросуміші у результаті теплообміну з морською водою при тискові нижче рівноважного тиску гідратоутворення. Завдяки використанню комп'ютерного моделювання процесів теплообміну між породою і матеріальними потоками у видобувному обладнанні запропонованого комбінованого способу гідровидобутку і теплового впливу на породу, визначено температуру нагріву робочої рідини.

Третій розділ присвячений розробці методики визначення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах родовищ газових гідратів. Імпонує вдосконалення автором існуючої лабораторної бази для проведення

досліджень процесів гідратуутворення та дисоціації. Детально описано принцип роботи лабораторної установки та її конструктивні складові елементи, зокрема реактор; оптичну систему на базі мікроскопа для отримання зображень досліджуваних об'єктів; систему для організації контрольованої циркуляції досліджуваного газу через об'єм реактора при проведенні досліджень; пристрій для барботажного перемішування реагуючих компонентів у реакторі. Здобувачем розроблено методику оперативного встановлення параметрів повторної масової кристалізації газогідрату в пластових системах родовищ газових гідратів, що дисоціювали, але при цьому не втратили пам'ять гідратних структур, шляхом встановлення параметрів процесу у момент візуальної ідентифікації появи твердої фази газогідрату на міжфазній поверхні газової бульбашки або місця її виходу з рідини в реакторі у процесі підвищення тиску і/або зниження температури системи. Оскільки попередніми дослідженнями встановлено, що вода має своєрідну структурну пам'ять, даний феномен уміло використано автором дисертаційної роботи при проведенні власних досліджень. Також у даному розділі виявлено та обґрунтовано механізм аномальної стабільності газогідрату при контакті з розчином інгібітору високої концентрації, який полягає в утворенні шару льоду на поверхні кристалів газового гідрату, що перешкоджає його безпосередньому контакту з інгібітором.

У четвертому розділі досліджуються технологічні схеми видобування, підготовки та зберігання газу морських родовищ. Запропоновано варіанти технологічного ланцюга сумісної розробки газових і газогідратних морських покладів, що нададуть можливість отримання як газу у газоподібній формі, так і готового продукту (метану) у газогідратному стані. Обґрунтовано можливість здійснення тепломасообмінних процесів у ліфтовій трубі та теплообмін між нею й морською водою для переведення видобутого газу до складу гідрату. Здобувачем для опису процесу гідратуутворення при надлишку води за неадіабатних умов у вертикальній трубі-реакторі, що омивається водою запропоновано математичну модель. Також розроблено технологію зберігання газу у складі газового гідрату в наземних мобільних сховищах, що дозволить значно підвищити ефективність і конкурентоздатність такого способу зберігання природного газу у гідратному стані.

У додатках містяться документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційних досліджень. Дисертація викладена грамотною технічною мовою, термінологія представлена коректно, стиль написання – науковий, мова викладення – офіційна українська. Робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо оформлення дисертаційних робіт, представлених на здобуття ступеня доктора філософії.

Основний зміст дисертації розкрито у 30 наукових публікаціях, з них 5 – у наукових виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази даних Scopus/WoS; 3 – у наукових фахових виданнях України (категорія Б); 2 – розділи у закордонних монографіях, що опубліковані англійською мовою; 5 – патенти на винаходи і корисні моделі; 15 – засвідчують апробацію матеріалів дисертаційних

досліджень. Участь здобувача у міжнародних і всеукраїнських конференціях свідчить про ознайомлення наукової спільноти газового, нафтового та гірничого профілей з отриманими результатами.

Зміст дисертаційної роботи у наукових працях висвітлено достатньо. Кількість наукових праць відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...».

4. Значення роботи для науки та практики та суспільства

Наукове значення роботи полягає у розкритті механізму підвищення ефективності технології видобування і транспортування газу морських газових та газогідратних родовищ шляхом розробки ефективного способу відділення газогідрату від породи та його подальшого видобутку при розробці газогідратних покладів із застосуванням гідровидобутку, а також сумісної розробки газових і газогідратних морських покладів, що передбачає підігрів на морському дні робочої рідини гідровидобутку для дисоціації природного газогідрату і частини видобутого газу. Підтверджено спосіб оперативного встановлення параметрів повторної кристалізації газогідрату в пластових системах газогідратних родовищ, які піддались дисоціації, але володіють пам'яттю гідратних структур. Експериментально зафіксовано і вперше теоретично обґрунтовано механізм аномальної стабільності газового гідрату в розчині інгібітору термодинамічної дії високої концентрації, що полягає в утворенні шару льоду на поверхні кристалів гідрату, який перешкоджає безпосередньому їх контакту з інгібітором.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено методіку оперативного лабораторного визначення параметрів повторного гідратоутворення в продукції газогідратних родовищ;
- розроблено та виготовлено лабораторну установку для оперативного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах газогідратних родовищ за розробленою методикою;
- розроблено принципову схему наземного мобільного сховища газових гідратів і спосіб його енергоощадної експлуатації;
- розроблено спосіб і принципову схему переведення газу морських родовищ для його подальшого транспортування та зберігання у склад газогідрату за рахунок альтернативних джерел енергії (пластової енергії і морського середовища);
- запатентовано нові способи розробки газогідратних родовищ та вилучення гідратного газу, а також спосіб видобування і транспортування газу морських газових і газогідратних родовищ.

Імпонує те, що автором розроблено конкретний практичний результат, корисний для нафтогазової галузі, про що свідчить наявність довідки про впровадження результатів дисертаційного дослідження від ТОВ «Сенс-Д», основними видами економічної діяльності якого є розвідувальне буріння,

добування сирої нафти, добування природного газу, надання допоміжних послуг у сфері добування нафти та природного газу, а також діяльність у сфері інжинірингу, геології та геодезії.

Також наукові та практичні результати роботи використані у навчальному процесі Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» при викладанні дисциплін студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 18 Виробництво та технології, спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології.

5. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

В результаті детального ознайомлення з дисертаційною роботою порушень академічної доброчесності виявлено не було. При цитуванні інших вчених зроблено відповідні посилання.

6. Дискусійні положення

Зазначені зауваження не знижують наукового рівня та загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи. Результати роботи є новими та оригінальними.

1. У вступі дисертаційної роботи не наведено ступінь обґрунтованості та достовірності отриманих результатів досліджень, хоча в розділі 3 це викладено.

2. Здобувачем не сформульовані наукові положення, але наведені наукові результати і їх новизна, що є допустимим.

3. У розділі 1 надано суттєвий аналіз існуючих методів розробки газогідратних покладів та описано досвід світових компаній і науково-дослідних груп вчених щодо впровадження технологій видобутку гідратного газу в польових умовах. Наведено особливості залягання газогідратних родовищ в акваторіях морів та океанів, проте, не акцентовано увагу на наявності гідратних покладів в умовах Чорного моря, що особливо актуально для України, враховуючи колосальні запаси гідратного газу в надрах чорноморського дна, які в недалекому майбутньому можуть бути доступними для відпрацювання, враховуючи нестабільність на світовому газовому ринку та необхідність пошуку додаткових джерел енергії для країни.

4. Автором вивчено і проаналізовано значну кількість наукових робіт закордонних вчених (згідно переліку використаних джерел), що, безумовно, імпонує, проте, на мою думку, недостатньо розкрито напрацювання та результати досліджень у сфері газогідратних технологій та технологій розробки газогідратних покладів українським колом вчених, що займаються вивченням даного питання.

5. У розділі 1 (п. 1.2 та 1.3) присутні рисунки з позначеннями англійською мовою і недостатньо високої якості (запозичені, але відповідні посилання присутні, що є дозволеним). Але доцільніше було б представити дані рисунки в

авторській інтерпретації або хоча б відтворити необхідні написи українською мовою, оскільки вони не є скріншотами комп'ютерних програм.

6. Розробка газогідратних покладів із застосуванням поєднання способу свердловинного гідровидобутку і теплового впливу розглянута «...для умов морського родовища, прийнятого в п. 2.2» на прикладі типового покладу з урахуванням проаналізованих даних у п. 1.1 – 1.3. Чим саме обґрунтований вибір такого покладу та його параметри? Чому за основу взято характеристики покладів, встановлені в процесі досліджень (посилання [64, 69, 70] з переліку використаних здобувачем літературних джерел)?

7. В яких саме гірничо-геологічних умовах можуть бути апробовані розроблені здобувачем способи розробки газогідратних і газових родовищ? Чи є вони придатними для родовищ Чорного моря і чи можуть бути застосовані для умов, наприклад, Південно-Китайського, Японського, Андаманського та інших морів, а також шельфів США і Канади, де виявлені значні запаси гідратного газу?

8. Чим обумовлений вибір програмного продукту Comsol Multiphysics при проведенні досліджень для моделювання технологічних процесів? Які саме переваги має даний програмний комплекс перед іншими, що також базуються на методі скінченних елементів?

9. В роботі проведені як аналітичні, так і експериментальні дослідження процесу гідратоутворення (повторної кристалізації газогідрату), що підтверджується отриманими кривими гідратної рівноваги (рис. 3.14), проте здобувач не надає кількісну оцінку рівня достовірності наукових результатів, тобто яка саме збіжність між різними методами досліджень (%)?

10. Для запобігання гідратоутворенню при експлуатації свердловин рекомендовано використання розчинів метанолу та етанолу високої концентрації. Здобувачем проведено дослідження із використанням саме цих інгібіторів і встановлено механізм фазових перетворень і складу компонентів пластової системи. Чому для дослідження були обрані саме ці інгібітори, до того ж у таких високих концентраціях (до 70%), оскільки вони є токсичними і можуть чинити негативний вплив на морську екосистему при тривалому застосуванні? Чи не безпечнішим було б провести експериментальні дослідження з такими інгібіторами як водні розчини бішофіту, хлористого кальцію, гліколю тощо?

Зазначені зауваження і дискусійні моменти не знижують наукового рівня та загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи. Результати роботи є новими та оригінальними.

7. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи

Дисертація виконана на високому науковому рівні. Всі отримані в дисертаційній роботі результати є новими і належать безпосередньо здобувачеві, а результати досліджень інших авторів наведені з відповідними посиланнями на них, що відповідає вимогам академічної доброчесності. Імпонує наявність

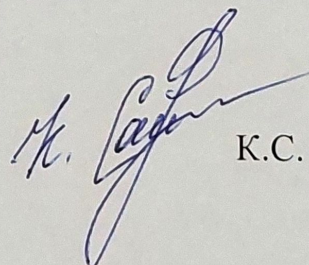
значної кількості проведених лабораторних досліджень, а також результатів комп'ютерного моделювання із застосуванням сучасних програмних пакетів.


Вважаю, що дисертаційна робота Педченка Назара Михайловича «Удосконалення способів розробки газогідратних покладів та контролю за гідратоутворенням» задовольняє всім вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки України від 12.07.2017 року № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії...» (пункти 5, 6, 8).

За розкриття нових особливостей механізму підвищення ефективності технологій видобування і транспортування газу морських газових і газогідратних родовищ, що дозволило розробити спосіб видобування газу із покладів газових гідратів та спосіб оперативного встановлення параметрів повторної кристалізації газогідрату в пластових системах газогідратних родовищ, які піддались дисоціації, але володіють пам'яттю гідратних структур, а також за розробку енергоефективного способу переведення газу морських родовищ у газогідратну форму за рахунок енергії продуктивного пласта і морської води, **Педченко Назар Михайлович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 18 Виробництво та технології за спеціальністю 185 Нафтогазова інженерія та технології.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої інженерії та освіти
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»


К.С. Сай

Підпис	
засвідчую:	
вчений секретар	
Вченої ради	
