

ВІДГУК

на дисертаційну роботу **Велігоцького Дмитра Олексійовича**
**«Підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу
комплексної водневої термобарохімічної технології інтенсифікації
видобутку вуглеводнів»**, представлену на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання
хімічної технології

Актуальність теми. Відомо, що у зв'язку із необхідністю підвищення продуктивності вже існуючих видобувних нафтогазових свердловин актуальною є задача збільшення коефіцієнту вилучення вуглеводнів із продуктивних пластів. Для розв'язання цієї задачі в світі досить широкого впровадження набули технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів, які засновані на різних видах фізичного і хімічного впливу на продуктивний пласт. Проте у більшості випадків вони мають низьку ефективність та обмеженість у застосуванні. Тому останнім часом актуальним є питання створення та впровадження нових технологій, у ході реалізації яких здійснюється інтегрований багатофакторний одночасний фізико-хімічний вплив на привибійну зону продуктивного пласта (ПЗП), дія якого спрямована на усунення одразу декількох причин низької продуктивності свердловини. В основі саме таких сучасних інноваційних технологій лежать хіміко-технологічні процеси (ХТП), які потребують удосконалення з метою розширення меж їх ефективного застосування.

Тому дисертація Велігоцького Д.О. спрямована на вирішення важливої актуальної науково-практичної задачі – підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу багатостадійної водневої термобарохімічної дії на продуктивні горизонти нафтових та газових свердловин.

Актуальність теми дисертації підтверджується також тим, що вона виконувалась відповідно до науково-дослідних робіт в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України згідно з планами

держбюджетних НДР НАН України та МОН України: «Создание научно-практических основ применения водорода в технологиях интенсификации добычи нефти, газа и газового конденсата» – по целевой комплексной программе «Водород в альтернативной энергетике и новейших технологиях» (ДР № 0111U006515), «Усовершенствование и подготовка к широкому внедрению водородной термобарохимической технологии интенсификации добычи нефти, газа и газового конденсата» – по целевой комплексной программе научных исследований НАН Украины «Стратегические минеральные ресурсы Украины» (ДР № 0113U005008), «Створення перспективної водневої технології підвищення дебіту та глибини вилучення нафти шляхом використання воденьгенеруючих наносуспензій» цільової програми наукових досліджень НАН України «Мінерально-сировинна база України як основа безпеки держави» (ДР № 0116U006391); «Наукові основи використання нетрадиційних технологій для підвищення ефективності видобутку енергоносіїв (нафти, газу) і виробництва енергії» (ДР № 0102U007249); «Покращення робочих характеристик сумішевих твердих ракетних палив шляхом використання нових компонентів та удосконалення технології їх отримання» за цільовою науково-технічною програмою НАН України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави» (ДР № 0116U004399), де здобувач був відповідальним виконавцем окремих етапів роботи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. В роботі проведено дослідження складного багатофакторного хіміко-технологічного процесу. Використано комплексний підхід, що включає критичний аналіз інформаційних джерел, визначення структури, фізичне моделювання та експериментальні дослідження, в яких застосовувались сучасні методи вимірювання та аналізу: хіміко-аналітичні, мікроскопічні, оптичні, термометрія, термогравіметрія, хроматографія, спектральний аналіз. Фізичне

моделювання виконано на спеціально розробленому та створеному унікальному дослідницькому комплексі, на якому проведено дослідження хімічних (кінетики реакцій), дифузійних та фільтраційних, тепломасообмінних, гідродинамічних процесів.

Теоретичні дослідження виконано з використанням фундаментальних положень теорій фільтрації та дифузії, теплообміну, гідродинаміки, математичного моделювання та чисельного аналізу.

Всі висновки та рекомендації, які сформульовано в роботі, ґрунтуються на результатах якісно проведених експериментальних та чисельних досліджень.

Достовірність результатів досліджень. Всі методики проведення досліджень та аналізу результатів обґрунтовано в достатній мірі. У якісно проведених експериментальних дослідженнях використано сучасні методи вимірювання та аналізу: хіміко-аналітичні, мікроскопічні, оптичні, термометрія, хроматографія, спектральний аналіз та інш. Верифікацію удосконаленої математичної моделі реалізовано шляхом порівняльного аналізу результатів чисельного моделювання процесу фільтрації продуктів реакції на водневих стадіях комплексного водневого термобарохімічного впливу (КВТБХВ) та результатів експериментальних досліджень, проведених на реальних кернах гірської породи.

Повнота викладу основних наукових положень дисертації в опублікованих працях. Основні положення дисертації викладено у 41 науковій праці, з яких: 7 статей у наукових фахових виданнях України (2 – у міжнародній наукометричній базі *Scopus*, 1 – у міжнародній наукометричній базі *Web of Science*); 6 – патенти України; 27 – матеріали науково-технічних конференцій. Рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації повністю відповідають вимогам МОН України.

Наведені у публікаціях матеріали повністю відображають науково-практичні положення дисертації.

Автореферат є ідентичним за змістом дисертації і повністю відображає основні положення та наукові результати, які одержані здобувачем.

До основних нових наукових результатів дисертації доцільно віднести такі:

- створено новий експериментальний комплекс, який дозволяє досліджувати хіміко-технологічний процес комплексного водневого термобарохімічного впливу в лабораторних умовах та який є інструментом для якісного вимірювання та фіксації основних показників протікання ХТП КВТБХВ;

- запропоновано та експериментально доведено можливість керування основними водневими стадіями ХТП комплексного водневого термобарохімічного впливу в широкому діапазоні температур, що досягається шляхом введення до базових технологічних рідин активаторів та інгібіторів хімічних реакцій. Розроблено методи практичного застосування та удосконалено технологічний регламент синтезу активаторів, які забезпечили можливість організації різних за характером протікання ХТП та їх окремих стадій;

- створено методику визначення ефективності ХТП комплексного водневого термобарохімічного впливу;

- математична модель багатостадійного процесу водневого термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти свердловин ураховує результати експериментальних досліджень нестационарного процесу відновлення проникності гірської породи внаслідок комплексного водневого термобарохімічного впливу.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання. У дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-практичну задачу підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу багатостадійної водневої термобарохімічної дії на продуктивні горизонти нафтових та газових свердловин шляхом фізичного та математичного моделювання.

Функціональні можливості створеного дослідницького комплексу дозволяють його використовувати не тільки для досліджень кінетики протікання хіміко-технологічного процесу комплексного водневого і термобарохімічного впливу та подібних методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів, але й інших термогазохімічних процесів, в тому числі, з генеруванням водню.

Удосконалений алгоритм розробки дизайну хіміко-технологічного процесу та підготовки до впровадження технології комплексного водневого і термобарохімічного впливу, який ґрунтується на результатах фізичного та постадійного комп'ютерного моделювання водневого термобарохімічного впливів, дозволяє проводити якісну підготовку до імплементації зазначеної технології на різних родовищах з прогнозуванням очікуваного ефекту.

Оцінка змісту дисертації. Дисертація Велігоцького Д. О. складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків та за своїм змістом характеризується логічним та послідовним висвітленням комплексу питань, поставлених у задачах дослідження.

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми дисертації, наведено зв'язок дисертації з державними науковими програмами, сформульовані мета та задачі досліджень, надано дані про використані наукові методи та окреслено наукову новизну та особистий внесок здобувача. Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в дисертації матеріалу.

У першому розділі автором проведено критичний аналіз інформаційних джерел щодо існуючих методів та технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів, в основу яких покладено хіміко-технологічні процеси. Найбільш ефективними серед них є ті, що комплексно впливають на продуктивний горизонт, поєднуючи ефективні тепловий, хімічний та баричний (механічний) впливи на продуктивний горизонт. Визначено, що однією з найбільш ефективних технологій інтегрованої дії на пласт є технологія комплексного водневого термобарохімічного впливу, ХТП якої ґрунтується на ефекті водневої активації процесів дифузії та фільтрації флюїду в пористому середовищі гірської породи. Обґрунтовано необхідність та доцільність, а також шляхи підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу зазначеної технології. Наведено структуру досліджень.

Другий розділ присвячено створенню експериментального комплексу, необхідного для проведення досліджень кінетики протікання ХТП та фізичного моделювання КВТБХВ на фільтраційно-емісійні характеристики та проникність гірської породи продуктивних горизонтів нафтових та газових свердловин. Розроблено методичку проведення експериментальних досліджень кінетики зазначеного ХТП, за якою на створеному дослідницькому комплексі проведено дослідження хіміко-технологічного процесу, утворюваного технологічними рідинами з базовим хімічним складом. Одержані у вигляді графічних залежностей експериментальні дані, дозволили зробити висновки про неефективність водневих (низько та високотемпературних) стадій базового ХТП та необхідність проведення подальших досліджень щодо вирішення цієї проблеми.

Третій розділ було присвячено розробці методів підвищення керованості водневих стадій ХТП, які є лімітуючими та створенню методички визначення їх ефективності. Підвищення ефективності низько температурної водневої стадії досягнуто шляхом використання в складі базової системи

горючо-окиснювальні склади – гідрореагуючі речовини (ГОС-ГРР) суміші до 50 % пасивованих гранул від загальної кількості нітрату амонію, при цьому генерування водню відбувається в реакціях гідролізу гідрореагуючих речовин на основі алюмінію, які вивільнюються із захисних оболонок – капсул, що руйнуються при досягненні певних температур. Використання як активатора процесу горіння синтезованого за удосконаленою технологією полімерного нітрилу параціану менше 1 % дозволяє підвищити температуру протікання високотемпературної стадії ХТП до рівня, на якому за наявності активованого водню відбуваються процеси часткового гідрокрекінгу важких вуглеводнів. За розробленою методикою оцінки ефективності ХТП, яку засновано на визначенні впливу різних за характером протікання ХТП технологій КВТБХВ на відновлення проникності та фільтраційно-ємнісних характеристик закольматованих природних кернів, експериментально доведено, що найбільше відновлення проникності у разі кольматації гірської породи водонафтовою емульсією відбувається при використанні ХТП з додаванням до базових технологічних рідин гідрореагуючих речовин на основі алюмінію та синтезованого за удосконаленою технологією полімерного нітрилу параціану як активатору горіння.

У **четвертому розділі** обґрунтовано важливість та необхідність підвищення якості комп'ютерного 3D моделювання комплексного водневого термобарохімічного впливу з метою поліпшення результатів впровадження технології та розробки дизайну обробки свердловини. Показано, що математична модель ґрунтується на розв'язанні системи рівнянь Нав'є-Стокса, яку описують закони збереження імпульсу, маси та енергії, та до складу яких входять коефіцієнти проникності. Оскільки в більшості задач фільтрації коефіцієнти проникності є константами було запропоновано та створено методику уточнення комп'ютерної 3D моделі процесу водневого термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти свердловин, в якій в математичній моделі ураховуються результати експериментальних досліджень нестационарного процесу відновлення проникності гірської

породи внаслідок комплексного водневого термобарохімічного впливу. В математичну модель додано функцію зміни коефіцієнта відновлення проникності, від відносного об'єму продуктів реакції ХТП, отриману на основі експериментальних даних.

Верифікація удосконаленої моделі шляхом порівняльного аналізу результатів чисельного моделювання процесу фільтрації продуктів реакції на водневих стадіях КВТБХВ та результатів експериментальних досліджень, проведених на реальних кернах гірської породи, підтвердила суттєве підвищенні точності моделювання.

Удосконалену математичну модель покладено в основу комп'ютерної 3D моделі для постадійного комп'ютерного моделювання КВТБХВ.

Розроблено алгоритм підготовки до імплементації технології з урахуванням результатів фізичного й математичного моделювання, за яким створено дизайни обробок та виконано дослідно-промислові впровадження технології на свердловинах України, Індії, Грузії та Туреччини.

До дисертації можна зробити такі зауваження:

1. У дисертації акцентується увага на підвищенні ефективності водневих стадій ХТП КВТБХВ, зокрема високотемпературної, на якій відбувається гідрокрекінг асфальто-смоло-парафіністих відкладень (АСПВ). Процес гідрокрекінгу вуглеводнів у промислових умовах відбувається в присутності каталізаторів. У дисертації не наведено механізм протікання цього процесу безпосередньо в продуктивному пласті, не визначено основні каталізatori для його здійснення. Також не наведено результати досліджень, які б свідчили про здійснення та обсяг протікання процесу гідрокрекінгу. Доцільно було б провести дослідження нафти на вміст АСПВ до та після обробки кернів.

2. У дисертації наголошується, що дослідження кінетики ХТП здійснюється в умовах, максимально наближених до пластових, але не пояснено, чому ці дослідження проведено за початкових значень температур

та тисків у реакторі, які дорівнювали кімнатним.

3. На стор. 122 автором відмічено, що інтерпретація результатів чисельного та фізичного моделювання процесу фільтрації продуктів реакції через пористе середовище з урахуванням впливу водню на гідродинаміку та теплообмін в системі «гірська порода-флюїд» проводилася з використанням методології математичного моделювання на основі методу *R*-функцій. Але жодних результатів цих чисельних досліджень в роботі не наведено.

4. Ураховуючи те, що діаметр реактору в дослідницькому комплексі декілька менший ніж діаметр експлуатаційної колони свердловини, для витримування гідродинамічної ідентичності процесу змішування рідин, під час експериментальних досліджень до них додаються пластифікатори. Не наведено типи цих пластифікаторів та не визначено їх можливий вплив на характер протікання ХТП.

5. В експериментальній методиці уточнення математичної моделі фільтрації продуктів реакції хіміко-технологічного процесу КВТБХВ не досить зрозуміло, яким чином визначається ефективний об'єм продуктів реакції, за якого досягається максимальне відновлення проникності гірської породи.

6. У дисертації не наведено екологічні аспекти використання технології, хоча для здійснення хіміко-технологічного процесу використовуються досить небезпечні речовини, в тому числі й гідрореагуючі, зокрема сполуки бору (ізопропілметакарборан).

Висновок

Дисертація Велігоцького Дмитра Олексійовича «Підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу комплексної водневої термобарохімічної технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка полягає у розв'язанні актуальної наукової задачі – а саме, у підвищенні ефективності хіміко-технологічного процесу багатостадійної водневої термобарохімічної дії на продуктивні горизонти нафтових та газових свердловин. Дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології, а здобувач Велігоцький Дмитро Олексійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри прикладної екології
Сумського державного університету,
доктор технічних наук, професор



Л.Д. Пляцук

Підпис Пляцука Л.Д. засвідчую

Декан факультету ТеСЕТ



О.Г. Гусак

