

ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ ІМ. А.М. ПІДГОРНОГО
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Велігоцький Дмитро Олексійович

УДК 622.276.6:661.96:532.528

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКСНОЇ ВОДНЕВОЇ ТЕРМОБАРОХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Спеціальність: 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології
16 – хімічна та біоінженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Д.О. Велігоцький

Науковий керівник: Кравченко Олег Вікторович, д-р. техн. наук, с.н.с.

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Велігоцький Д. О. Підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу комплексної водневої термобарохімічної технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології (16 – хімічна та біоінженерія). - Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, Харків, 2020 р.

Аналіз сучасних технологій підвищення видобутку вуглеводнів виявив, що найбільш ефективними та перспективними є методи, які комплексно впливають на продуктивний горизонт, поєднуючи ефективні тепловий, хімічний та механічний впливи на продуктивний горизонт.

Однією з найбільш перспективних технологій інтегрованої дії на пласт є технологія комплексного водневого термобарохімічного впливу (КВТБХВ), хіміко-технологічний процес (ХТП) якої ґрунтується на ефекті водневої активації процесів дифузії та фільтрації флюїду в пористому середовищі гірської породи продуктивного горизонту під час протікання складної екзотермічної реакції в свердловині.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності хіміко-технологічного процесу КВТБХВ, зокрема його водневих стадій, шляхом фізичного та математичного моделювання.

Для дослідження кінетики термобарохімічних процесів та фізичного моделювання комплексного впливу, в тому числі водневого, на зміну фільтраційно-емісійних характеристик та проникності гірської породи створено експериментальний комплекс, який дозволяє відтворювати технологічні особливості здійснення хіміко-технологічного процесу технології КВТБХВ. Комплекс забезпечує його протікання в умовах, максимально наближених до реальних пластових, дає можливість не тільки

досліджувати кінетику складної гетерогенної хімічної реакції під час перебігу ХТП, але й визначати термобаричний та хімічний впливи рідких та газоподібних продуктів реакції горючо-окислювальних складів і гідрореагуючих речовин (ГОС-ГРР), в тому числі водню, на зміну фільтраційних характеристик кернів гірської породи.

Розроблено методику проведення експериментальних досліджень кінетики ХТП, яка ґрунтується на послідовному змішуванні в реакторі двох технологічних рідин, вимірюванні та фіксації основних параметрів протікання термобарохімічного процесу та відтворює його максимально близько до реального, який відбувається в свердловині. Аналіз одержаних експериментальних графічних залежностей основних параметрів кінетики ХТП, утвореного технологічними рідинами з базовим хімічним складом, дозволив зробити висновки про неефективність його водневих стадій ХТП та необхідність проведення подальших досліджень для вирішення цієї проблеми.

Запропоновано методи впливу на характер протікання багатостадійного ХТП термобарохімічного впливу, зокрема його водневих стадій. Тривалість низькотемпературної стадії досягнуто за рахунок використання в складі базової системи ГОС–ГРР суміші до 50 % пасивованих гранул від загальної кількості нітрату амонію. Визначено основні типи швидкореагуючих ГРР на основі лужних металів алюмінію та натрію. Зважаючи на високу хімічну активність цих ГРР, запропоновано та опрацьовано методи їх практичного застосування з використанням захисних оболонок. Експериментально доведено, що додавання до базових технологічних рідин гідрореагуючих речовин на основі алюмінію та натрію дозволяє на низькотемпературній стадії процесу генерувати водень, який виступає як активатор дифузії та фільтрації флюїду в гірській породі, а використання як активатора процесу горіння синтезованого за удосконаленою технологією полімерного нітрилу параціану в кількості 0,7-0,95 %, дозволяє підвищити температуру та тривалість протікання високотемпературної стадії ХТП до рівня, на якому

при наявності активованого водню відбуваються процеси часткового гідрокрекінгу важких вуглеводнів безпосередньо в пласті. Відновлено технологічну лінію з синтезу параціану з амідів щавлевої кислоти, визначено параметри його синтезу, які забезпечують покращення показників хімічної чистоти та питомої кількості кінцевого продукту. Удосконалено технологічний регламент синтезу.

Розроблено методику 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, використання якої дозволяє визначити найбільш ефективний за характером протікання хіміко-технологічний процес для використання на свердловинах, у яких з різних причин зменшилася продуктивність.

На створеному експериментальному комплексі в умовах, наближених до пластових, здійснена обробка попередньо закольматованих стійкою до руйнування водонафтовою емульсією кернів рідкими та газоподібними продуктами реакцій, що утворюються в реакторі під час різних за характером протікання ХТП. Експериментально встановлено, що ХТП КВТБХВ з активацією полімерним нітрилом параціану та ГРР на основі алюмінію та натрію є найефективнішим оскільки коефіцієнт відновлення проникності обробленого керну за зазначеним ХТП склав 1,05, що свідчить не лише про відновлення проникності, але й про її збільшення в порівнянні з початковою.

Розроблені методи та методики можуть використовуватися для покращення керованості водневих стадій ХТП та визначення ефективності впровадження технології КВТБХВ на свердловинах з різними конструктивними та геолого-технічними характеристиками, а також причинами зменшення продуктивності.

З метою подальшого підвищення ефективності впровадження технології запропоновано методику удосконалення якості комп'ютерного 3D моделювання КВТБХВ. Модель ґрунтується на розв'язанні системи рівнянь

Нав'є-Стокса, яку описують закони збереження імпульсу, маси та енергії, що дає змогу описувати складні задачі фільтрації, в тому числі моделювати процес КВТБХВ на реальних об'єктах. Закон збереження імпульсу в задачах фільтрації залежно від характеру фільтрації представлено у вигляді законів Дарсі, Форхгеймера та Дарсі з урахуванням дифузії (закон Фіка). В усі рівняння системи, які описують закони фільтрації, входять коефіцієнти проникності.

На відміну від більшості задач фільтрації, в яких коефіцієнти проникності є константами, створено методичу 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 фільтрації замість розрахункових значень або констант проникності додається функція зміни коефіцієнта відновлення проникності від відносного об'єму продуктів реакції ХТП.

Експериментальна верифікація удосконаленої комп'ютерної моделі, яка здійснювалася шляхом проведення 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 підвищення точності моделювання. Використання удосконаленої й верифікованої моделі дозволяє з високою точністю описувати протікання фільтраційно-дифузійних та тепломасообмінних процесів реальних ХТП під час обробки продуктивних пластів, дає можливість робити прогнозні оцінки щодо результатів обробки.

Удосконалену математичну модель покладено в основу комп'ютерної 3D моделі для поетапного комп'ютерного моделювання КВТБХВ з урахуванням кінетики ХТП. Такий підхід набув особливої актуальності за умов, коли

завдяки розробленим методам з'явилася можливість керування стадіями, особливо водневими, за тривалістю та температурними рівнями.

Розроблено алгоритм підготовки до імплементації технології з урахуванням результатів фізичного й математичного моделювання. Розроблений алгоритм дозволяє визначати кількісні та якісні показники хімічних складів робочих технологічних рідин, які впливають на характер протікання ХТП КВТБХВ, особливо його водневих стадій, та необхідні для створення дизайну обробки кожної окремої свердловини з урахуванням її індивідуальних конструктивних та геолого-технічних характеристик та причин кольматації.

За розробленим алгоритмом створено дизайни обробок, за якими виконано дослідно-промислові впровадження технології на свердловинах України, Індії, Грузії та Туреччини. Результати підтвердили високу ефективність удосконалених та використаних ХТП як у вертикальних, так і у горизонтальних свердловинах.

Ключові слова: хіміко-технологічний процес, фізичне та математичне моделювання, термобарохімічний вплив, водень, активація, проникність, гідрореагуючі речовини.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА:

1. Велигоцкий Д.А. Криогенная технология производства ультрадисперсных композиционных добавок к смазочным материалам / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, В.И. Момот, Д.А. Велигоцкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Ч. I. – 3/2 (45). – С. 55–59.

2. Велигоцкий Д.А. Интенсификация добычи метана угольных месторождений с применением технологии управляемого комплексного водородного и термобарохимического воздействия на призабойную зону пласта / О. Кравченко, Д. Велигоцкий, В. Радченко, Е. Юшков // Геолог Украины. – 2013. – № 3 (43). – С. 135–140.

3. Велигоцкий Д.А. Физическое моделирование тепломассообмена при термохимической водородной обработке призабойной зоны пласта нефтяной или газовой скважины / О.В. Кравченко, Д.А. Велигоцкий, В.Б. Пода // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2013. – № 1. – С. 27–35.

4. Велигоцкий Д.А. Совершенствование технологии комплексного воздействия на продуктивные пласты нефтяных и газовых скважин / О.В. Кравченко, Д.А. Велигоцкий, А.Н. Авраменко, Р.А. Хабибуллин // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – № 6/5(72). – С. 4–9.

5. Велигоцкий Д.А. Влияние водорода на течение и теплообмен в системе «трещина горной породы – флюид» / О.В. Кравченко, И.Г. Суворова, И.А. Баранов, Д.А. Велигоцкий // *Інтегровані технології та енергозбереження*. Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 3. – С. 35–46.

6. Veligotskiy Dmitriy. Theoretical Foundation of Optimising Processes in Energy Conversion Systems to Increase the Effectiveness and Ecological Safety of Their Functioning / Irina Suvorova, Oleg Kravchenko, Dmitriy Veligotskiy, Vitaliy Goman // *European Journal of Sustainable Development*. – Rome, 2019. Vol. 8.– № 5. – P.P. 171–179.

7. Veligotskiy D. Improving the controllability and effectiveness of the chemical-technological process of the technology for hydrogen thermobaric chemical stimulation of hydrocarbon recovery / O. Kravchenko, D. Veligotskiy, A. Bashtovyi, Yu. Veligotska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. –Vol. 6. – № 12 (102), P.P. 57–86.

8. Велигоцкий Д.А. Адаптация термобарохимической технологии интенсификации добычи нефти и газа для дегазации угольных месторождений / К.Г. Щербина, О.В. Кравченко, Е.Н. Строгий, Д.А. Велигоцкий, М.А. Ильяшов, А.В. Агафонов, О.Д. Кожушок // *Інноваційний дайджест*. Донецк: ПрАО «ДМЗ», 2012. – С. 28–31.

9. Пат. 99412, Україна, МПК (2012.01) E21B 43/22(2006.01), E21B 43/27(2006.01), E21F 7/00 Спосіб підвищення продуктивності метанових

свердловин вугільних пластів / Кравченко О.В., Строгий Є.М., Велігоцький Д.О., Щербина К.Г., Резніков С.Ю., Ільяшов М.О., Агафонов О.В., Кожушок О.Д.; заявник і патентоутримувач Приватне акціонерне товариство «Донецьксталь». – № а 2011 11072; заяв. 16.09.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. – 5 с.

10. Пат. 102501, Україна, МПК E21B 43/24 (2006.01), E21B 43/25 (2006.01) Спосіб комплексного водневого та термобарохімічного впливу на привибійну зону продуктивного пласта / Кравченко О.В., Велігоцький Д.О., Мацевитий Ю.М., Сімбірський О.В.; заявник і патентоутримувач Науково-технічний концерн «Інститут проблем машинобудування» НАН України. – № а 2013 03001; заяв. 11.03.2013; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 23. – 6 с.

11. Пат. 106717, Україна, МПК E21B 43/24 (2006.01), E21B 43/27 (2006.01) Спосіб термогазохімічної обробки привибійної зони продуктивного пласта «TGC-EHR». Кравченко О.В., Єдін О.Й., Кіперман Ю.М., Хан Мадад Уллах, Чепуренко В.І., Велігоцький Д.О. заявник і патентоутримувач Інтер Транс Техно Ф.З.К. - № а 2014 05155. заявл. 15.05.2014. опубл. 25.09.2014. Бюл. № 18. – 7 с.

12. Пат. 108333, Україна, МПК E21B 43/24 (2006.01), E21B 43/27 (2006.01) Спосіб термогазохімічної обробки привибійної зони продуктивного пласта «TGC-EHR». Кравченко О.В., Єдін О.Й., Кіперман В.Ю., Чепуренко В.І., Велігоцький Д.О.; заявник і патентоутримувач Кравченко О.В., Єдін О.Й., Кіперман В.Ю., Чепуренко В.І., Велігоцький Д.О. - № а 2014 05154. заявл. 15.05.2014. опубл. 10.04.2015. Бюл. №7. – 7 с.

13. Пат. 113256, Україна, МПК E21B 43/24, E21B 43/25 Спосіб комплексної воднево-термобарохімічної обробки привибійної зони продуктивного пласта / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.М. Авраменко (Україна). – № а20151245, заяв. 16.12.2015; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24. – 2 с.

14. Пат. 120529, Україна, МПК С 06 В 29/22, С06В47/00, F 02 К9/08. Сумішеве тверде ракетне паливо / Кравченко О.В., Велігоцький Д.О.,

Авраменко А.М.– заявл. 21.09.17. – 11 с. – Рішення про видачу патенту на винахід за № а201709273, заяв. 21.09.17., опубл. 26.12.2019, Бюл. № 24. – 8 с.

15. Велігоцький Д.О. Створення науково-практичних основ використання водню в технологіях інтенсифікації видобутку нафти, газу та газового конденсату/ О.В. Кравченко, Л.В. Процицька, Д.О. Велігоцький, Є.М. Строгий, О.В. Сімбірський // Тези доповідей Науково-звітної сесії Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми водневої енергетики». – Київ: Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, 2011. – С. 59.

16. Велігоцький Д.О. Дослідження кінетики та тепломасообміну в процесах утворення водню при реакціях ГРР з водою в залежності від вихідних тисків до 60 МПа, температур та властивостей хімічного середовища, в якому здійснюється процес гідролізу / О.В. Кравченко, Л.В. Процицька, Д.О. Велігоцький, О.В. Сімбірський // Тези доповідей Науково-звітної сесії Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях». – Київ: Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, 2012. – С. 58.

17. Велигоцкий Д.А. О возможности изменения фильтрационных и прочностных свойств плотных пород-коллекторов на мезо- и наноуровне при взрывном и термобарохимическом воздействии / Ю.И. Войтенко, О.В. Кравченко, Д.А. Велигоцкий // Труды Международной научно-практической конференции «Перспективы использования альтернативных и возобновляемых источников энергии в Украине (REU 2013)», 9-13 сентября 2013, Судак, 13–18. – Київ: УкрДГРІ, 2013. – С. 13–18.

18. Велігоцький Д.О. Комп'ютерне та фізичне моделювання процесу підвищення проникності колекторів нафтових та газових свердловин з урахуванням гідроконверсії асфальто-смолянисто-парафінових речовин та ефекту водневої активації дифузії / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.М. Авраменко, О.В. Сімбірський // Тези доповідей науково звітної сесії

НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях». – Київ: Дільниця оперативної поліграфії ім. І.М. Францевича НАН України, 2014. – С. 55.

19. Велигоцкий Д.А. Применение энергосберегающих ветроводородных электролизных систем в нефтегазодобывающих комплексах / О.В. Кравченко, Н.Н. Зипунников, А.А. Шевченко, Д.А. Велигоцкий, Хан Вэй // Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво. Матеріали Міжнародного геологічного форуму (7 – 13 вересня 2014р., м. Одеса). У двох томах. Том 2. Український державний геологорозвідувальний інститут (Укр. ДГРІ). К.: УкрДГРІ, 2014. – С. 268–270.

20. Велигоцкий Д.А. Математическое моделирование увеличения газовой проницаемости горной породы призабойной зоны скважины при воздействии смеси газов с добавлением водорода / О.В. Кравченко, Д.А. Велигоцкий, А.Н. Авраменко // Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво. Матеріали Міжнародного геологічного форуму (7 – 13 вересня 2014р., м. Одеса). У двох томах. Том 2. Український державний геологорозвідувальний інститут (Укр. ДГРІ). К.: УкрДГРІ, 2014. – С. 261–267.

21. Велигоцкий Д.А. Перспективные технологии комплексного воздействия на пласт для разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и газа / О.В. Кравченко, Д.А. Велигоцкий, Р.А. Хабибуллин // Труды Российской технической нефтегазовой конференции и выставки *SPE* по разведке и добычи (14-16 октября 2014, ВВЦ, Москва), *SPE-171676-RU*. – С. 1–8.

22. Велигоцкий Д.А. Повышение эффективности применения технологии комплексного водородного термобарохимического воздействия путем предварительного трещинообразования в продуктивном пласте / О.В. Кравченко, Ю.И. Войтенко, Д.А. Велигоцкий, А.Н. Авраменко, Р.А. Хабибуллин // Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (ГЕОФОРУМ-2015). Матеріали форуму (Україна, м. Одеса, 7 – 12 вересня 2015 року). Том 2.

Український державний геологорозвідувальний інститут (Укр. ДГРІ). К.: УкрДГРІ, 2015. – С. 99–107.

23. Велігоцький Д.О. Особливості комп'ютерного моделювання водневої активації процесів фільтрації у привибійній зоні пласта / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.М. Авраменко // Матеріали III Міжнародного геологічного форуму «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (Геофорум – 2016). – К.: УкрДГРІ, 2016. – С. 168–70.

24. Велігоцький Д.О. Підвищення ефективності технологій інтенсифікації нафтових і газових свердловин через використання воденьгенерувальних наносуспензій / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.М. Авраменко // Матеріали IV Міжнародного геологічного форуму «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (Геофорум – 2017). – К.: УкрДГРІ, 2017. – С. 195–197.

25. Велігоцький Д.О. Совершенствование процесса горения смесевых твёрдых ракетных топлив методами математического и физического моделирования / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.М. Авраменко // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки». – 2017 – 45 с.

26. Велігоцький Д.О. Перспективи використання чисельних методів для поглибленого вивчення процесу горіння сумішевих твердих ракетних палив / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.М. Авраменко // Матеріали регіональної науково-технічної конференції «ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ 2017» (ФТПЕШВ-2017). – 2017 г. – С. 36–37.

27. Велігоцький Д.О. Створення перспективної водневої технології підвищення дебіту та глибини вилучення нафти через використання воденьгенерувальних наносуспензій / Д.О. Велігоцький, О.В. Кравченко // V Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи

розвитку геології: наука й виробництво» (ГЕОФОРУМ-2018): матеріали форуму, м. Одеса, 18 – 23 червня 2018. – Київ: УкрДГРІ, 2018. – Т.2. – С. 99–107.

28. Велігоцький Д.О. Підвищення керованості та ефективності хіміко-технологічних процесів багатостадійної водневої термобарохімічної дії на продуктивні горизонти нафтових свердловин // VI Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (ГЕОФОРУМ-2019): матеріали форуму, м. Одеса, 17 – 22 червня 2019. – Київ: УкрДГРІ, 2019. – С. 38–41.

29. Велігоцький Д.О. Відновлення проникності гірської породи привибійної зони нафтових свердловин шляхом використання воденьгенеруючої наносупензії / О.В. Кравченко, Д.О. Велігоцький, А.В. Баштовий // VI Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво» (ГЕОФОРУМ-2019): матеріали форуму, м. Одеса, 17 – 22 червня 2019. – Київ: УкрДГРІ, 2019. – С. 131–133.

30. Dmitriy Veligotskiy. Theoretical Foundation of Optimising Processes in Energy Conversion Systems to Increase the Effectiveness and Ecological Safety of Their Functioning / Irina Suvorova, Oleg Kravchenko, Dmitriy Veligotskiy, Vitaliy Goman // 7 th International Conference on Sustainable Development, September 04-05, Rome, Italy, 2019. – P.P. 235.

31. Велигоцкий Д.А. Применение методов активации в технологиях получения композиционных добавок к смазочным материалам // Конференція молодих вчених і спеціалістів “Сучасні проблеми машинобудування - 2010” ІПМаш НАН України: тези доповідей, 8-11 листопада 2010.– Харків, 2010. – С. 70.

32. Велигоцкий Д.А. Увеличение газовой проницаемости угольных кернов с применением термобарохимического воздействия // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2011» ІПМаш НАН України: тези доповідей, 7-11 листопада 2011. –Харків, 2011. – С. 60.

33. Велигоцкий Д.А. Повышение управляемости водородного термобарохимического воздействия на призабойную зону продуктивного пласта нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2012» ІПМаш НАН України: тези доповідей: 7-11 листопада 2012.– Харків, 2012. – С. 66.

34. Велигоцкий Д.А. Экспериментальный стенд для исследований процессов комплексного водородного и термобарохимического воздействия на керны нефтяных и газовых скважин // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2013» ІПМаш НАН України, тези доповідей: 11-13 листопада 2013.– Харків, 2013. – С. 42.

35. Велигоцкий Д.А. Применение методов математического и физического моделирования для совершенствования технологии комплексного водородного и термобарохимического воздействия на продуктивный горизонт нефтяных и газовых скважин // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2014» ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 17-20 листопада, 2014. – Харьков, 2014. – С. 47.

36. Велигоцкий Д.А. Применение технологии комплексного водородного термобарохимического воздействия в скважинах с проведенным гидроразрывом пласта // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2015» ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 16-19 листопада, 2015. – Харків, 2015. – С. 34.

37. Велигоцкий Д.О. Удосконалення комп'ютерної моделі термобарохімічного впливу на привибійну зону свердловини з урахуванням водневої активації процесів фільтрації // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2016» ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 21-24 листопада, 2016. – Харків, 2016. – С. 57.

38. Велигоцкий Д.О. Створення перспективної водневої технології підвищення дебіту та глибини вилучення нафти шляхом використання воденьгенеруючих наносупензій // Конференція молодих вчених і

спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування» - 2018 ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 17-20 квітня, 2018. – Харків, 2018. – С. 29.

39. Велигоцкий Д.А. Установка для комплексных исследований проницаемости и фильтрационных характеристик кернов горной породы / Д.А. Велигоцкий, А.В. Баштовой // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2018» ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 17-20 квітня, 2018. – Харків, 2018. – С. 30.

40. Велигоцкий Д.О. Використання воденьгенеруючої наносупензії для відновлення проникності гірської породи привибійної зони нафтових свердловин / Д.О. Велигоцкий, А.В. Баштовой // Конференція молодих вчених і спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування - 2019» ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 15-18 квітня, 2019. – Харків, 2019. – С. 27.

41. Велигоцкий Д.О. Підвищення керованості та ефективності хіміко-технологічних процесів багатостадійної водневої термобарохімічної дії на продуктивні горизонти нафтових свердловин // «Сучасні проблеми машинобудування – 2019» ІПМаш НАН України: тези доповідей: Харків, 15–18 квітня 2019 р. – Харків, 2019. – С. 26.

ABSTRACT

Veligotskyi Dmytro. Increasing the effectiveness of the chemical-technological process used in the integrated hydrogen thermobaric-chemical technology for stimulation hydrocarbon production. Manuscript.

The thesis for scientific Degree of the Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.17.08 – Processes & Equipment of Chemical Technology (16 – Chemical and bioengineering). – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

Analysis of modern technologies for increasing the production of hydrocarbons has shown that the most effective and promising techniques are those that have an integral effect on the production horizon by combining effective thermal, chemical and mechanical actions.

One of the most promising technologies with an integral effect on the reservoir is that of complex hydrogen thermobaric-chemical effect (CHTBCE). Its chemical-technological process (CTP) is based on the effect of hydrogen activation of the processes of diffusion and fluid filtration in the rock porous medium of the production horizon during the complex exothermal reaction in the well.

The objective of the dissertation is to improve the effectiveness of the IHTBCA chemical-technological process, in particular, its hydrogen stages by using physical and mathematical simulation.

An experimental complex was developed to study the kinetics of thermobaric processes, and for physical simulation of the integral action, including the hydrogen one, on the alteration of rock porosity-permeability properties. The complex recreates the technological features of the chemical-technological process of the CHTBCE technology. The complex ensures its flow in conditions most closely approximating actual reservoir ones. It helps study not only the kinetics of the complex heterogeneous chemical reaction during CTP flow, but also allows

determining the thermobaric and chemical effect of liquid and gaseous products of the reactions of combustible-oxidation compositions and hydroreacting substances (COC-HRS), including hydrogen, on the change of the filtration properties of rock core samples.

A technique was developed for experimental research into CTP kinetics. It is based on mixing two process fluids in sequence in a reactor, and measuring and registering the basic parameters of the thermobaric-chemical process to recreate it most closely to the actual one in the well. Analysis of the experimental graphs of the key kinetic parameters of the CTP created by the process fluids with the basic chemical composition demonstrated the ineffectiveness of the CTP's hydrogen stages and the need to conduct follow-up research to solve this problem.

Techniques were suggested for influencing the character of the flow of the multistage CTP thermobaric-chemical action, in particular, its hydrogen stages. The continuance of the low-temperature stage was achieved by using a mixture of up to 50 % of passivated granules of the total amount of ammonium nitrate in the base COC-HRS system. The main types of fast-reacting HRS based on alkali metals, aluminium and sodium were determined. With account of the high chemical activity of these HRS, methods were suggested and developed for their practical application with the use of protective sheaths. Experiments confirmed that adding hydroreacting substances based on aluminium and sodium to basic process fluids produces hydrogen at the low-temperature stage of the process. This hydrogen acts as an activator of diffusion and filtration of the fluid in the rock. Using 0,7-0,95 % of polymer nitrile paracyanogen synthesised by a refined technology as an activator of the combustion process increases the temperature and duration of the flow of the high-temperature CTP stage to a level at which, with the presence of activated hydrogen, partial hydrocracking of heavy hydrocarbons occurs directly in the reservoir. A process line was restored for synthesis of paracyanogen from oxamide. Parameters of its synthesis were found that ensure the improvement of the chemical purity and specific amount of the final product. The synthesis process regulations were refined.

A CTP effectiveness assessment method was developed. It is based on determining the impact of CHTBCE technologies with different CTP flow on the recovery of porosity and permeability properties of colmataged natural rock core samples. This method helps determine the most effective chemical-technological process for usage in wells whose productivity has dropped due to different reasons.

In conditions close to reservoir ones, the experimental complex developed was used to treat core samples, preliminarily colmataged with a decomposition-resistant water-petroleum emulsion, with liquid and gaseous reaction products formed in the reactor with different CTP flow profiles. Experiments established that the CHTBCE CTP, with activation by the polymer nitrile paracyanogen and HRS based on aluminium and sodium, is most effective because the return permeability of the treated core for the specific CTP was 1,05. This is indicative not only of permeability recovery, but also of its increase as compared to the initial one.

The developed methods and techniques can be used for improving the controllability of CTP hydrogen stages. They can also be used for determining the effectiveness of introducing the CHTBCE technology at wells with different structural and geological-engineering characteristics, and for identifying the causes of production decrease.

To increase technology introduction effectiveness, a method was suggested for refining the quality of computer 3D CHTBCE simulation. The model is based on solving a system of Navier-Stokes equations that describe the laws of conservation of momentum, mass and energy. This helps describe complex filtration problems and enables simulating the CHTBCE process in actual objects. The law of conservation of momentum in filtration problems, depending on the character of filtration, is presented as the Darcy law, the Forchheimer law and the Darcy law with account of diffusion (Fick's law). All the equations of the system that describe filtration laws include the permeability coefficient.

In contrast to the majority of filtration problems, in which permeability coefficients are constants, a technique was developed for refining the 3D computer

model of the process of hydrogen thermobaric-chemical action on the well production horizons. The mathematical model accounts for the results of experimental research into the unsteady process of recovery of rock permeability due to the integral hydrogen thermobaric-chemical action. The computational values or the permeability constants in the mathematical model of filtration are replaced with the return permeability change function depending on the relative volume of CTP reaction products.

The refined computer model was verified experimentally by comparative analysis of the following: the results of numerical simulation of the reaction products filtration process at the CHTBCE hydrogen stages; and the results of experimental research conducted with actual rock cores. The verification confirmed a significant increase in simulation accuracy. The refined and verified model describes with high accuracy the flow of filtration-diffusion and heat-and-mass transfer processes in the actual CTP during the treatment of production formations, and helps estimating treatment results.

The refined mathematical model served as the basis of the computer 3D model for stepwise CHTBCE computer simulation with account of CTP kinetics. Such an approach became especially relevant under the condition when, owing to the developed methods, it became possible to control the stages, especially the hydrogen ones, for duration and temperatures.

A procedure was developed for preparing to implement the technology with account of physical and mathematical simulation results. The developed procedure enables determining the quantitative and qualitative indicators of the chemical compositions of process fluids that affect the CHTBCE CTP flow, especially those of its hydrogen stages, and the treatment designs required the treatment of each well with account of its individual structural and geological-engineering characteristics and colmatation causes.

The developed procedure was applied to creating the treatment design used for pilot industrial implementation of the technology on wells in Ukraine, India,

Georgia, and Turkey. The results have confirmed the high effectiveness of the refined and used CTP in both vertical and horizontal wells.

Keywords: chemical-technological process, physical and mathematical modeling, thermobaric chemical effect, hydrogen, activation, permeability, hydroreacting substances.

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE DISSERTATION SUBJECT

1. Veligotskii D.A. Kriogennaya tekhnologiya proizvodstva ul'tradispersnykh kompozitsionnykh dobavok k smazochnym materialam / O.V. Kravchenko, I.G. Suvorova, V.I. Momot, D.A. Veligotskii // Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii. – 2010. – Ch. I. – 3/2 (45). – S. 55–59.

2. Veligotskii D.A. Intensifikatsiya dobychi metana ugol'nykh mestorozhdenii s primeneniem tekhnologii upravlyaemogo kompleksnogo vodorodnogo i termobarokhimicheskogo vozdeistviya na prizaboinuyu zonu plasta / O. Kravchenko, D. Veligotskii, V. Radchenko, E. Yushkov // Geolog Ukrainy. – 2013. – № 3 (43). – S. 135–140.

3. Veligotskii D.A. Fizicheskoe modelirovanie teplomassoobmena pri termokhimicheskoi vodorodnoi obrabotke prizaboinoi zony plasta neftyanoi ili gazovoi skvazhiny / O.V. Kravchenko, D.A. Veligotskii, V.B. Poda // Integrovani tekhnologii ta energozberezheniya. – 2013. – № 1. – S. 27–35.

4. Veligotskii D.A. Sovershenstvovanie tekhnologii kompleksnogo vozdeistviya na produktivnye plasty neftyanykh i gazovykh skvazhin / O.V. Kravchenko, D.A. Veligotskii, A.N. Avramenko, R.A. Khabibullin // Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii. – 2014. – № 6/5(72). – S. 4–9.

5. Veligotskii D.A. Vliyanie vodoroda na techenie i teploobmen v sisteme «treshchina gornoj porody – flyuid» / O.V. Kravchenko, I.G. Suvorova, I.A. Baranov, D.A. Veligotskii // Integrovani tekhnologii ta energozberezheniya. Kharkiv: NTU «KHPI». – 2018. – № 3. – S. 35–46.

6. Veligotskiy Dmitriy. Theoretical Foundation of Optimising Processes in Energy Conversion Systems to Increase the Effectiveness and Ecological Safety of Their Functioning / Irina Suvorova, Oleg Kravchenko, Dmitriy Veligotskiy, Vitaliy Goman // European Journal of Sustainable Development. – Rome, 2019. Vol. 8.– № 5. – R.P. 171–179.

7. Veligotskiy D. Improving the controllability and effectiveness of the chemical-technological process of the technology for hydrogen thermobaric chemical stimulation of hydrocarbon recovery / O. Kravchenko, D. Veligotskiy, A. Bashtovyi, Yu. Veligotska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. –Vol. 6. – № 12 (102), P.P. 57–86.

8. Veligotskii D.A. Adaptatsiya termobarokhimicheskoi tekhnologii intensifikatsii dobychi nefi i gaza dlya degazatsii ugol'nykh mestorozhdenii / K.G. Shcherbina, O.V. Kravchenko, E.N. Strogii, D.A. Veligotskii, M.A. Il'yashov, A.V. Agafonov, O.D. Kozhushok // Innovatsionnyi daidzhest. Donetsk: PRAO «DMZ», 2012. – S. 28–31.

9. Pat. 99412, Ukraïna, MPK (2012.01) E21V 43/22(2006.01), E21V 43/27(2006.01), E21F 7/00 Sposib pidvishchennya produktivnosti metanovikh sverdlovin vugil'nikh plastiv / Kravchenko O.V., Strogii Ę.M., Veligots'kii D.O., Shcherbina K.G., Reznikov S.Yu., Il'yashov M.O., Agafonov O.V., Kozhushok O.D.; zayavnik i patentoutrimuvach Privatne aktsionerne tovaristvo «Donets'kstal'». – № a 2011 11072; zayav. 16.09.2011; opubl. 10.08.2012, Byul. № 15. – 5 s.

10. Pat. 102501, Ukraïna, MPK E21B 43/24 (2006.01), E21B 43/25 (2006.01) Sposib kompleksnogo vodnevogo ta termobarokhimichnogo vplivu na privibiinu zonu produktivnogo plasta / Kravchenko O.V., Veligots'kii D.O., Matsevitii Yu.M., Simbirs'kii O.V.; zayavnik i patentoutrimuvach Naukovo-tekhnichnii kontsern «Institut problem mashinobuduvannYA» NAN Ukraïni. – № a 2013 03001; zayav. 11.03.2013; opubl. 10.07.2013, Byul. № 23. – 6 s.

11. Pat. 106717, Ukraïna, MPK E21B 43/24 (2006.01), E21B 43/27 (2006.01) Sposib termogazokhimichnoï obrobki privibiinoï zoni produktivnogo

plasta «TGC-EHR». Kravchenko O.V., Ėdin O.I., Kiperman Yu.M., Khan Madad Ullakh, Chepureno V.I., Veligots'kii D.O. zayavnik i patentoutrimuvach Inter Trans Tekhno F.Z.K. - № a 2014 05155. zayavl. 15.05.2014. opubl. 25.09.2014. Byul. № 18. – 7 s.

12. Pat. 108333, Ukraïna, MPK E21B 43/24 (2006.01), E21B 43/27 (2006.01) Sposib termogazokhimichnoï obrobki privibiinoï zoni produktivnogo plasta «TGC-EHR». Kravchenko O.V., Ėdin O.I., Kiperman V.Yu., Chepureno V.I., Veligots'kii D.O.; zayavnik i patentoutrimuvach Kravchenko O.V., Ėdin O.I., Kiperman V.Yu., Chepureno V.I., Veligots'kii D.O. - № a 2014 05154. zayavl. 15.05.2014. opubl. 10.04.2015. Byul. №7. – 7 s.

13. Pat. 113256, Ukraïna, MPK E21B 43/24, E21B 43/25 Sposib kompleksnoï vodnevo-termobarokhimichnoï obrobki privibiinoï zoni produktivnogo plasta / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.M. Avramenko (Ukraïna). – № a20151245, zayav. 16.12.2015; opubl. 26.12.2016, Byul. № 24. – 2 s.

14. Pat. 120529, Ukraïna, MPK C 06 B 29/22, C06B47/00, F 02 K9/08. Cumisheve tverde raketne palivo / Kravchenko O.V., Veligots'kii D.O., Avramenko A.M.– zayavl. 21.09.17. – 11 s. – Rishennya pro vidachu patentu na vinakhid za № a201709273, zayav. 21.09.17., opubl. 26.12.2019, Byul. № 24. – 8 s.

15. Veligots'kii D.O. Stvorennya naukovo-praktichnikh osnov vikoristannya vodnyu v tekhnologiyakh intensifikatsii vidobutku nafti, gazu ta gazovogo kondensatu/ O.V. Kravchenko, L.V. Proshchits'ka, D.O. Veligots'kii, Ė.M. Strogii, O.V. Simbirs'kii // Tezi dopovidei Naukovo-zvitnoï sesii Tsil'ovoï kompleksnoï programi naukovikh doslidzhen' NAN Ukraïni «Fundamental'ni problemi vodnevoï energetiki». – Kiïv: In-t problem materialoznavstva im. I.M. Frantsevicha NAN Ukraïni, 2011. – S. 59.

16. Veligots'kii D.O. Doslidzhennya kinetiki ta teplomasoobminu v protsesakh utvoryuvannya vodnyu pri reaktsiyakh GRR z vodoyu v zalezhnosti vid vikhidnikh tiskiv do 60 MPa, temperatur ta vlastivostei khimichnogo seredovishcha, v yakomu zdiisnyuet'sya protses gidrolizu / O.V. Kravchenko, L.V. Proshchits'ka, D.O. Veligots'kii, O.V. Simbirs'kii // Tezi dopovidei Naukovo-

zvitnoï sesii Tsil'ovoï kompleksnoï programi naukovich doslidzhen' NAN Ukraïni «Voden' v al'ternativnii energetitsi ta novitnikh tekhnologiyaKH». – Kiïv: In-t problem materialoznavstva im. I.M. Frantsevicha NAN Ukraïni, 2012. – S. 58.

17. Veligotskii D.A. O vozmozhnosti izmeneniya fil'tratsionnykh i prochnostnykh svoistv plotnykh porod-kollektorov na mezo- i nanourovne pri vzryvnom i termobarokhimicheskom vozdeistvii / Yu.I. Voitenko, O.V. Kravchenko, D.A. Veligotskii // Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Perspektivy ispol'zovaniya al'ternativnykh i vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii v Ukraine (REU 2013)», 9-13 sentyabrya 2013, Sudak, 13–18. – Kiïv: UkrDGRI, 2013. – S. 13–18.

18. Veligots'kii D.O. Komp'yuterne ta fizichne modelyuvannya protsesu pidvishchennya proniknosti kolektoriv naftovikh ta gazovikh sverdlovin z urakhuvannyam gidrokonversii asfal'to-smolyanisto-parafinovikh rechovin ta efektu vodnevoï aktivatsii difuzii / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.M. Avramenko, O.V. Simbirs'kii // Tezi dopovidei naukovu zvitnoï sesii NAN Ukraïni «Voden' v al'ternativnii energetitsi ta novitnikh tekhnologiyaKH». – Kiïv: Dil'nitsya operativnoï poligrafii im. I.M. Frantsevicha NAN Ukraïni, 2014. – S. 55.

19. Veligotskii D.A. Primenenie ehnergoberegayushchikh vetrovodorodnykh ehlektroliznykh sistem v neftegazodobyvayushchikh kompleksakh / O.V. Kravchenko, N.N. Zipunnikov, A.A. Shevchenko, D.A. Veligotskii, Khan Vehi // Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvo. Materiali Mizhnarodnogo geologichnogo forumu (7 – 13 veresnya 2014r., m. Odesa). U dvokh tomakh. Tom 2. Ukraïns'kii derzhavnii geologorozvidual'nii institut (Ukr. DGRI). K.: UkrDGRI, 2014. – S. 268–270.

20. Veligotskii D.A. Matematicheskoe modelirovanie uvelicheniya gazovoi pronitsaemosti gornoï porody prizaboinoï zony skvazhiny pri vozdeistvii smesi gazov s dobavlenim vodoroda / O.V. Kravchenko, D.A. Veligotskii, A.N. Avramenko // Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvo. Materiali Mizhnarodnogo geologichnogo forumu (7 – 13 veresnya

2014r., m. Odesa). U dvokh tomakh. Tom 2. Ukraïns'kii derzhavnii geologorozvidual'nii institut (Ukr. DGRI). K.: UkrDGRI, 2014. – S. 261–267.

21. Veligotskii D.A. Perspektivnye tekhnologii kompleksnogo vozdeistviya na plast dlya razrabotki trudnoizvlekaemykh zapasov nefti i gaza / O.V. Kravchenko, D.A. Veligotskii, R.A. Khabibullin // Trudy Rossiiskii tekhnicheskoi neftegazovoi konferentsii i vystavki SPE po razvedke i dobychi (14-16 oktyabrya 2014, VVTs, Moskva), SPE-171676-RU. – C. 1–8.

22. Veligotskii D.A. Povyshenie ehffektivnosti primeneniya tekhnologii kompleksnogo vodorodnogo termobarokhimicheskogo vozdeistviya putem predvaritel'nogo treshchinoobrazovaniya v produktivnom plaste / O.V. Kravchenko, Yu.I. Voitenko, D.A. Veligotskii, A.N. Avramenko, R.A. Khabibullin // Mizhnarodnii geologichnii forum «Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvO» (GEOFORUM-2015). Materiali forumu (Ukraïna, m. Odesa, 7 – 12 veresnya 2015 roku). Tom 2. Ukraïns'kii derzhavnii geologorozvidual'nii institut (Ukr. DGRI). K.: UkrDGRI, 2015. – S. 99–107.

23. Veligots'kii D.O. Osoblivosti komp'yuternogo modelyuvannya vodnevoi aktivatsii protsesiv fil'tratsii u privibiinii zoni plasta / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.M. Avramenko // Materiali III Mizhnarodnogo geologichnogo forumu «Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvO» (Geoforum – 2016). – K.: UkrDGRI, 2016. – C. 168–70.

24. Veligots'kii D.O. Pidvishchennya ehffektivnosti tekhnologii intensifikatsii naftovikh i gazovikh sverdlovin cherez vikoristannya voden'generoval'nikh nanosuspensii / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.M. Avramenko // Materiali IV Mizhnarodnogo geologichnogo forumu «Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvO» (Geoforum – 2017). – K.: UkrDGRI, 2017. – C. 195–197.

25. Veligots'kii D.O. Sovershenstvovanie protsesa goreniya smesevykh tverdykh raketnykh topliv metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovaniya / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.M. Avramenko //

Materiali V Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii «Problemi koordinatsii voenno-tekhnichnoi ta oboronno-promislovoi politiki v Ukraïni. Perspektivi rozvitku ozbroennya ta viis'kovoï tekhniki». – 2017 – 45 s.

26. Veligots'kii D.O. Perspektivi vikoristannya chisel'nikh metodiv dlya pogliblenogo vivchennya protsesu gorinnya sumishevikh tverdikh raketnikh paliv / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.M. Avramenko // Materiali regional'noi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «FIZIKO-TEKHNICHNI PROBLEMI ENERGETIKI TA SHLYAKHI ĪKh VIRISHENNYa 2017» (FTPESHV-2017). – 2017 g. – S. 36–37.

27. Veligots'kii D.O. Stvorennya perspektivnoi vodnevoi tekhnologii pidvishchennya debitu ta glibini viluchennya nafti cherez vikoristannya voden'generoval'nikh nanosuspenszii / D.O. Veligots'kii, O.V. Kravchenko // V Mizhnarodnii geologichnii forum «Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvO» (GEOFORUM-2018): materialy forumu, m. Odesa, 18 – 23 chervnya 2018. – Kiïv: UkrDGRI, 2018. – T.2. – S. 99–107.

28. Veligots'kii D.O. Pidvishchennya kerovanosti ta effektivnosti khimiko-tekhnologichnikh protsesiv bagatostadiinoï vodnevoi termobarokhimichnoi diï na produktivni gorizonti naftovikh sverdlovin // VI Mizhnarodnii geologichnii forum «Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvO» (GEOFORUM-2019): materialy forumu, m. Odesa, 17 – 22 chervnya 2019. – Kiïv: UkrDGRI, 2019. – S. 38–41.

29. Veligots'kii D.O. Vidnovlennya proniknosti girs'koï porodi privibiinoï zoni naftovikh sverdlovin shlyakhom vikoristannya voden'generuyuchoï nanosuspenszii / O.V. Kravchenko, D.O. Veligots'kii, A.V. Bashtovii // VI Mizhnarodnii geologichnii forum «Aktual'ni problemi ta perspektivi rozvitku geologii: nauka i virobnitstvO» (GEOFORUM-2019): materialy forumu, m. Odesa, 17 – 22 chervnya 2019. – Kiïv: UkrDGRI, 2019. – S. 131–133.

30. Dmitriy Veligotskiy. Theoretical Foundation of Optimising Processes in Energy Conversion Systems to Increase the Effectiveness and Ecological Safety of Their Functioning / Irina Suvorova, Oleg Kravchenko, Dmitriy Veligotskiy,

Vitaliy Goman // 7 th International Conference on Sustainable Development, September 04-05, Rome, Italy, 2019. – P.P. 235.

31. Veligotskii D.A. Primenenie metodov aktivatsii v tekhnologiyakh polucheniya kompozitsionnykh dobavok k smazochnym materialam // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv “Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2010” IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei, 8-11 listopada 2010.– Kharkiv, 2010. – C. 70.

32. Veligotskii D.A. Uvelichenie gazovoi pronitsaemosti ugol'nykh kernov s primeneniem termobarokhimicheskogo vozdeistviya // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2011» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei, 7-11 listopada 2011. –Kharkiv, 2011. – C. 60.

33. Veligotskii D.A. Povyshenie upravlyaemosti vodorodnogo termobarokhimicheskogo vozdeistviya na prizaboinuyu zonu produktivnogo plasta neftyanykh, gazovykh i gazokondensatnykh skvazhin // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2012» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei:7-11 listopada 2012.– Kharkiv, 2012. – C. 66.

34. Veligotskii D.A. Ekhspierimental'nyi stend dlya issledovaniï protsessov kompleksnogo vodorodnogo i termobarokhimicheskogo vozdeistviya na kerny neftyanykh i gazovykh skvazhin // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2013» IPMash NAN Ukraïni, tezi dopovidei: 11-13 listopada 2013.– Kharkiv, 2013. – C. 42.

35. Veligotskii D.A. Primenenie metodov matematicheskogo i fizicheskogo modelirovaniya dlya sovershenstvovaniya tekhnologii kompleksnogo vodorodnogo i termobarokhimicheskogo vozdeistviya na produktivnyi gorizont neftyanykh i gazovykh skvazhin // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2014» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 17-20 listopada, 2014. – Khar'kov, 2014. – C. 47.

36. Veligotskii D.A. Primenenie tekhnologii kompleksnogo vodorodnogo termobarokhimicheskogo vozdeistviya v skvazhinakh s provedennym gidrorazryvom plasta // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni

problemi mashinobuduvannya - 2015» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 16-19 listopada, 2015. – Kharkiv, 2015. – C. 34.

37. Veligots'kii D.O. Udoskonalennya komP'yuternoï modeli termobarokhimichnogo vplivu na privibiinu zonu sverdlovini z urakhuvannyam vodnevoï aktivatsii protsesiv fil'tratsii // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2016» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 21-24 listopada, 2016. – Kharkiv, 2016. – C. 57.

38. Veligots'kii D.O. Stvorennya perspektivnoï vodnevoï tekhnologii pidvishchennya debitu ta glibini viluchennya nafti shlyakhom vikoristannya voden'generuyuchikh nanosuspenszii // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannYA» - 2018 IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 17-20 kvitnya, 2018. – Kharkiv, 2018. – C. 29.

39. Veligotskii D.A. Ustanovka dlya kompleksnykh issledovaniï pronitsaemosti i fil'tratsionnykh kharakteristik kernov gornoï porody / D.A. Veligotskii, A.V. Bashtovoi // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2018» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 17-20 kvitnya, 2018. – Kharkiv, 2018. – C. 30.

40. Veligots'kii D.O. Vikoristannya voden'generuyuchoï nanosuspenszii dlya vidnovlennya proniknosti girs'koï porodi privibiinoï zoni naftovikh sverdlovin / D.O. Veligots'kii, A.V. Bashtovii // Konferentsiya molodikh vchenikh i spetsialistiv «Suchasni problemi mashinobuduvannya - 2019» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 15-18 kvitnya, 2019. – Kharkiv, 2019. – C. 27.

41. Veligots'kii D.O. Pidvishchennya kerovanosti ta effektivnosti khimiko-tekhnologichnykh protsesiv bagatostadiinoï vodnevoï termobarokhimichnoï diï na produktivni gorizonti naftovikh sverdlovin // «Suchasni problemi mashinobuduvannya – 2019» IPMash NAN Ukraïni: tezi dopovidei: Kharkiv, 15–18 kvitnya 2019 r. – Kharkiv, 2019. – C.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 Хіміко-технологічні процеси технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів та шляхи підвищення їх ефективності.....	16
1.1 Аналіз ефективності існуючих технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів та процесів, на яких вони засновані.....	16
1.2 Особливості процесів технологій з багатофакторною дією на продуктивні пласти.....	23
1.3 Особливості організації хіміко-технологічного процесу технології комплексного водневого термобарохімічного впливу (КВТБХВ) на привибійну зону свердловини.....	28
1.4 Основні методи підвищення ефективності хіміко-технологічних процесів	32
1.5 Основні технічні вимоги до створюваного дослідницького комплексу....	35
1.6 Структура дослідження	40
1.7 Висновки за розділом 1.....	41
РОЗДІЛ 2 Створення експериментального комплексу для дослідження кінетики протікання ХТП та фізичного моделювання КВТБХВ на зміну проникності гірської породи.....	43
2.1 Основні технічні параметри та конструктивні й функціональні особливості дослідницького комплексу.....	43
2.1.1 Експериментальний модуль для фізичного моделювання та дослідження кінетики ХТП КВТБХВ.....	43
2.1.2 Експериментальний модуль для дослідження фільтраційно- емнісних характеристик і проникності гірської породи.....	48
2.1.3. Технічні можливості апаратно-програмного модулю.....	54
2.2 Методика проведення досліджень кінетики ХТП КВТБХВ.....	56
2.3 Дослідження кінетики протікання ХТП з використанням технологічних рідин базового хімічного складу.	60

2.4 Висновки за розділом 2	62
РОЗДІЛ 3 Розробка методів підвищення керованості ХТП КВТБХВ та методики визначення їх ефективності.....	63
3.1 Хімічний склад базової системи ГОС-ГРР та напрямки інтенсифікації водневих стадій ХТП	63
3.2 Збільшення тривалості протікання низькотемпературної водневої стадії ХТП.....	67
3.3 Розробка методу підвищення ефективності низькотемпературної водневої стадії ХТП.....	71
3.3.1 Вибір ГРР для забезпечення генерування водню на низькотемпературній стадії ХТП.....	71
3.3.2 Розробка методу практичного застосування ГРР на основі алюмінію.....	74
3.3.3 Дослідження кінетики ХТП з удосконаленою низькотемпературною водневою стадією.....	76
3.4 Підвищення ефективності високотемпературної водневої стадії ХТП КВТБХВ.....	77
3.4.1 Використання полімерного нітрилу як активатора високотемпературної стадії ХТП.....	78
3.4.2 Удосконалення технології синтезу полімерного нітрилу параціану.....	80
3.4.3 Визначення оптимальної кількості активатора високотемпературної стадії ХТП.....	85
3.4.4 Дослідження кінетики ХТП з активацією високотемпературної водневої стадії полімерним нітрилом параціану.....	87
3.5 Методика визначення найбільш ефективного ХТП КВТБХВ.....	88
3.5.1 Підготовка кернів до експериментальних досліджень.....	91
3.5.2 Визначення коефіцієнту відкритої пористості кернового матеріалу шляхом насичення рідиною.....	95
3.5.3 Визначення фазової проникності керна в лабораторних умовах,	

які наближено до пластових.....	98
3.5.4 Дослідження відкритої пористості керну.....	100
3.5.5 Дослідження впливу ХТП КВТБХВ на зміну проникності кернів...	101
3.6 Висновки за розділом 3.....	104
РОЗДІЛ 4 Удосконалення 3D моделі багатостадійного процесу водневого термобарохімічного впливу на зміну проникності гірської породи, створення методики її уточнення та верифікації.....	107
4.1 Методика математичного моделювання процесів фільтрації в пористих середовищах.....	107
4.2 Методика уточнення математичної моделі фільтрації продуктів реакції ХТП КВТБХВ в гірську породу.....	116
4.3 Верифікація комп'ютерної моделі підвищення проникності породи з урахуванням експериментальних результатів.....	118
4.4 Методика комп'ютерного моделювання КВТБХВ в свердловині з урахуванням кінетики ХТП.....	122
4.5 Постадійне комп'ютерне моделювання КВТБХВ.....	124
4.6 Методика оцінки ефективності застосування технології КВТБХВ на свердловинах.....	134
4.7 Результати впровадження технології комплексного водневого і термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти нафтових і газових свердловин	139
4.8 Висновки за розділом 4.....	141
ВИСНОВКИ	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	145
ДОДАТКИ	170
Додаток А Акти впровадження технології комплексного водневого і термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти нафтових і газових свердловин	171
Додаток Б Список публікацій здобувача	175