НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ ім. А.М. ПІДГОРНОГО

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНЕВОЇ ТЕРМОБАРОХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Цикл робіт, що висунуто на здобуття щорічної премії Президента України для молодих вчених

Автор: науковий співробітник відділу нетрадиційних енерготехнологій, к. т. н.
Велігоцький Дмитро Олексійович

Харків, 2021

Актуальність роботи

На цей час дуже гострою є проблема забезпечення енергетичної безпеки та незалежності України. У зв’язку з низькими темпами пошуку та введення до експлуатації нових родовищ нафти і газу, здатних достатньо задовольнити потреби України в вуглеводневих енергоносіях, одним зі шляхів вирішення проблеми є підвищенням ефективності розробки існуючих родовищ.

Низька проникність продуктивних пластів, їх кольматування при розкритті і освоєнні, випадіння в привибійній зоні свердловин ретроградного газоконденсату, відкладання асфальто-смоло-парафінових речовин, обводнення - це далеко не повний перелік причин низької продуктивності нафтових та газових свердловин.

Створення нових ефективних або удосконалення існуючих технологій інтенсифікації видобутку є актуальною задачею.

В Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України розроблено водневу термобарохімічну технологію інтенсифікації видобутку нафти та газу.

В основу технології комплексного водневого і термобарохімічного впливу (КВТБХВ) на продуктивний пласт покладено інтегроване використання аномальних властивостей водню в умовах термогазохімічного процесу, в ході якого підвищується температура, генеруються різні активні гази, в тому числі водень, утворюються гарячі кислоти – азотна і соляна (в окремих випадках плавикова), здійснюється обробка поверхнево-активними речовинами.

Технологія реалізується на нафтогазових промислах шляхом роздільно-послідовної доставки з поверхні по колоні насосно-компресорних труб на вибій свердловини двох технологічних рідин, які являють собою складні хімічні суспензії горючо-окислювальних складів (ГОС) на основі комплексних солей та гідрореагуючих речовин (ГРР). ГРР – це рочовини, які в реакціях гідролізу за певних умов генерують водень (активований водень).

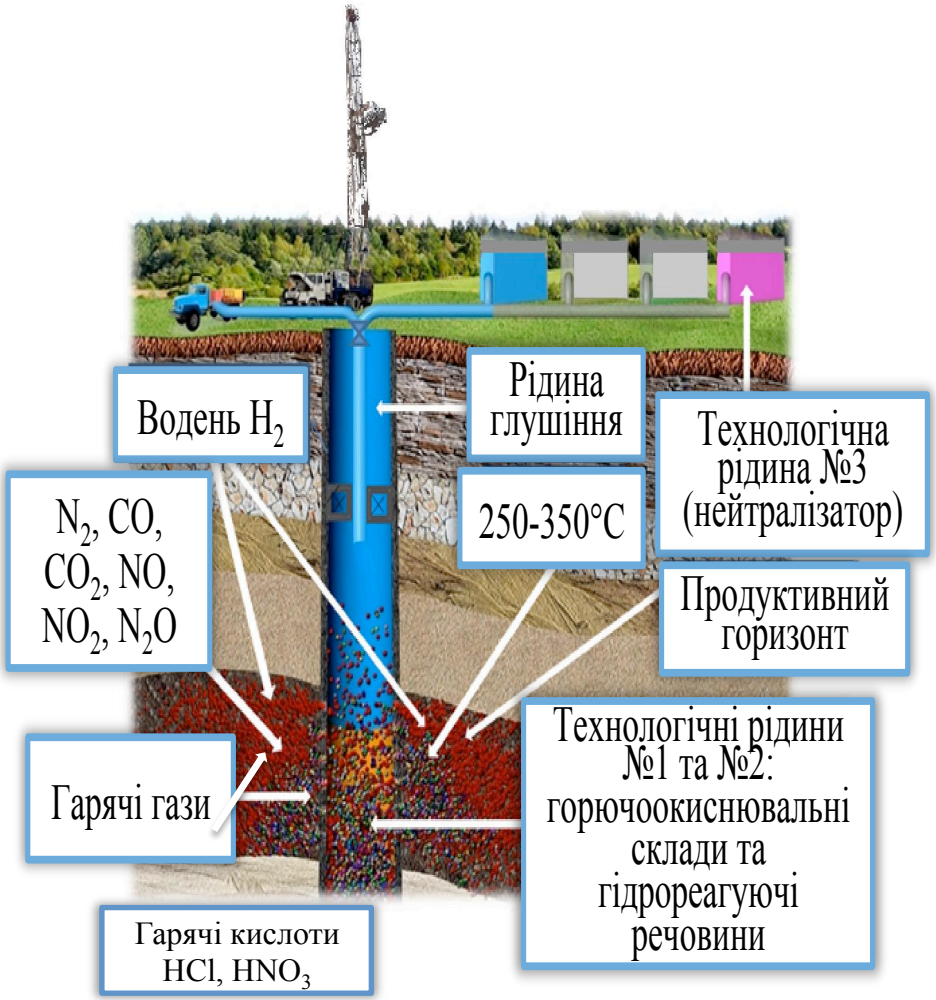
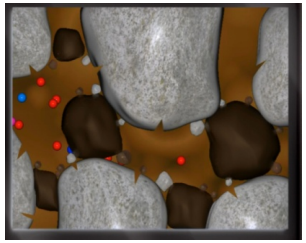
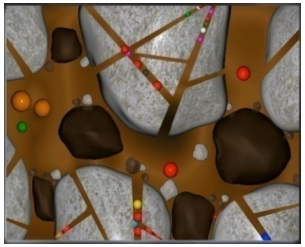


Схема протікання багатостадійного процесу технології комплексного водневого термобарохімічного впливу на привибійну зону продуктивного пласта (ПЗП)

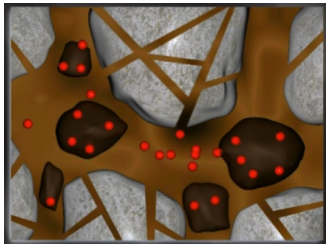
Процес складається з декількох гетерофазних процесів з хімічними та фазовими перетвореннями, на протікання яких впливають не тільки хімічні склади робочих технологічних рідин, які реагують між собою, вміст та концентрації активаторів або інгібіторів окремих реакцій, але й термобаричні умови, в яких процес здійснюється.



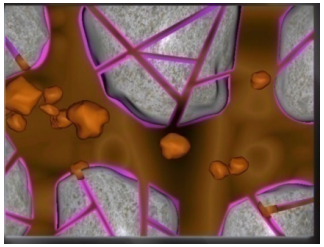
1. H_2 покращує фільтрацію активних газів (CO, CO_2, NO_2, NH_3) та сприяє ефективному прогріву порового простору, CO_2 знижує в'язкість нафти.



2. Зростання температури, обробка гарячими кислотами (HCl, HNO3, HF), локальне горіння водню в кисні з утворенням мікротріщин, розчинення солей, бурових розчинів, АСПВ.



3. Подальше зростання температури, гідрокрекінг нафти та АСПВ в присутності водню.



4. Нейтралізація, обробка поверхнево-активними речовинвами.

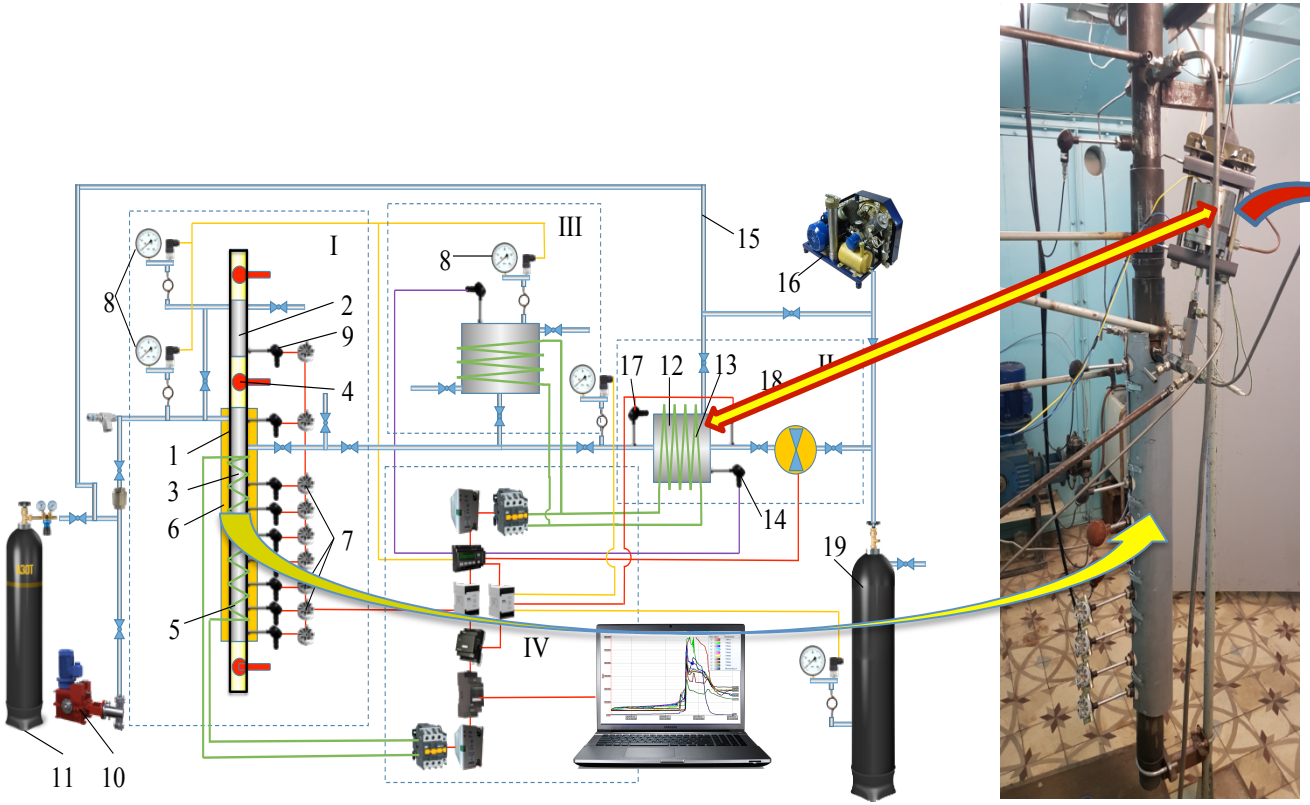
Підвищення енергетичної ефективності та екологічності зазначеного процесу КВТБХВ шляхом фізичного та математичного моделювання є актуальною задачею, тому що дозволить:

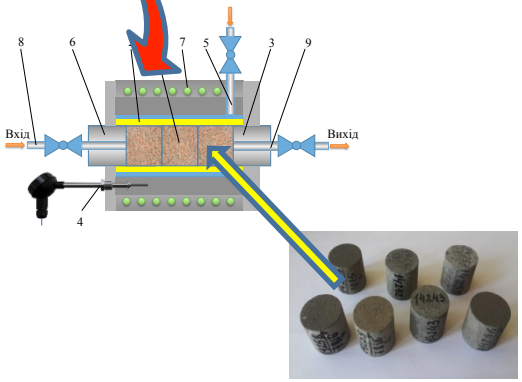
- використовувати технологію на різних типах свердловин, в тому числі горизонтальних;
- комплексно долати основні причини зниження продуктивності свердловин;
- розширити можливість застосування технології в Україні та закордоном, в тому числі для видобутку вуглеводнів з нетрадиційних джерел;
- зробити технологію однією з екологічно безпечних.

Мета досліджень

- створити експериментальний комплекс для дослідження кінетики термобарохімічних процесів та фізичного моделювання комплексного впливу на фільтраційно-ємнісні характеристики та проникність гірської породи продуктивних горизонтів нафтових та газових свердловин. При цьому комплекс повинен відтворювати термобаричні умови максимально наближені до реальних пластових;
- запропонувати методи підвищення енергетичної та хімічної ефективності водневих стадій хіміко-технологічного процесу (ХТП), на якому базується технологія КВТБХВ, та провести експериментальні дослідження його кінетики протікання в умовах, наближених до пластових;
- розробити методику експериментального визначення найбільш ефективного хіміко-технологічного процесу технології КВТБХВ для використання на свердловинах з різними причинами зменшення продуктивності;
- удосконалити комп'ютерну 3D модель багатостадійного процесу водневого термобарохімічного впливу на зміну проникності гірської породи, створити методику її уточнення та верифікації;
- розробити алгоритм підготовки до імплементації технології КВТБХВ з урахуванням результатів фізичного та математичного моделювання ХТП;
- здійснити пілотні промислові випробування з визначенням ефекту використання технології .

Створено експериментальний комплекс та розроблено методологію фізичного моделювання комплексного водневого термобарохімічного впливу (КВТБХВ) на зміну фільтраційно-ємнісних характеристик та проникності гірської породи, що дозволяє відтворювати технологічні особливості здійснення зазначеного технологічного процесу, забезпечує його протікання в умовах, максимально наближених до реальних пластових.

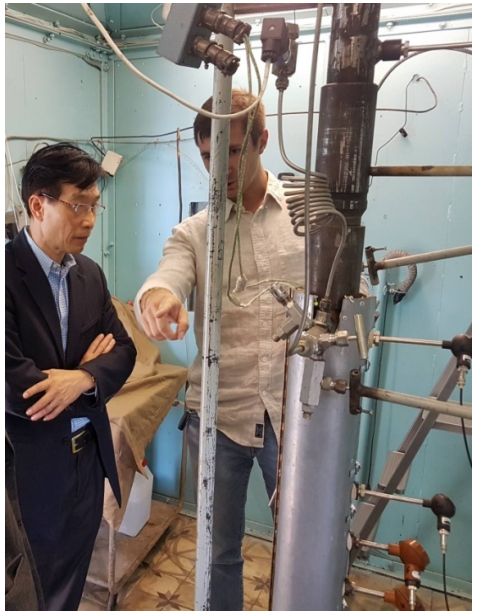




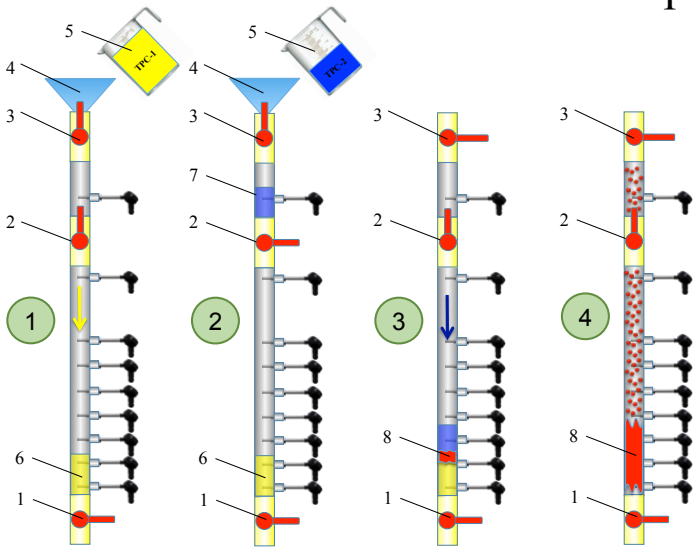
Керни гірської породи

Комплекс також дозволяє досліджувати різноманітні гетерогенні термохімічні процеси одержання водню з води шляхом гідролізу енергоакумулюючих речовин.

Фото створеного експериментального комплексу

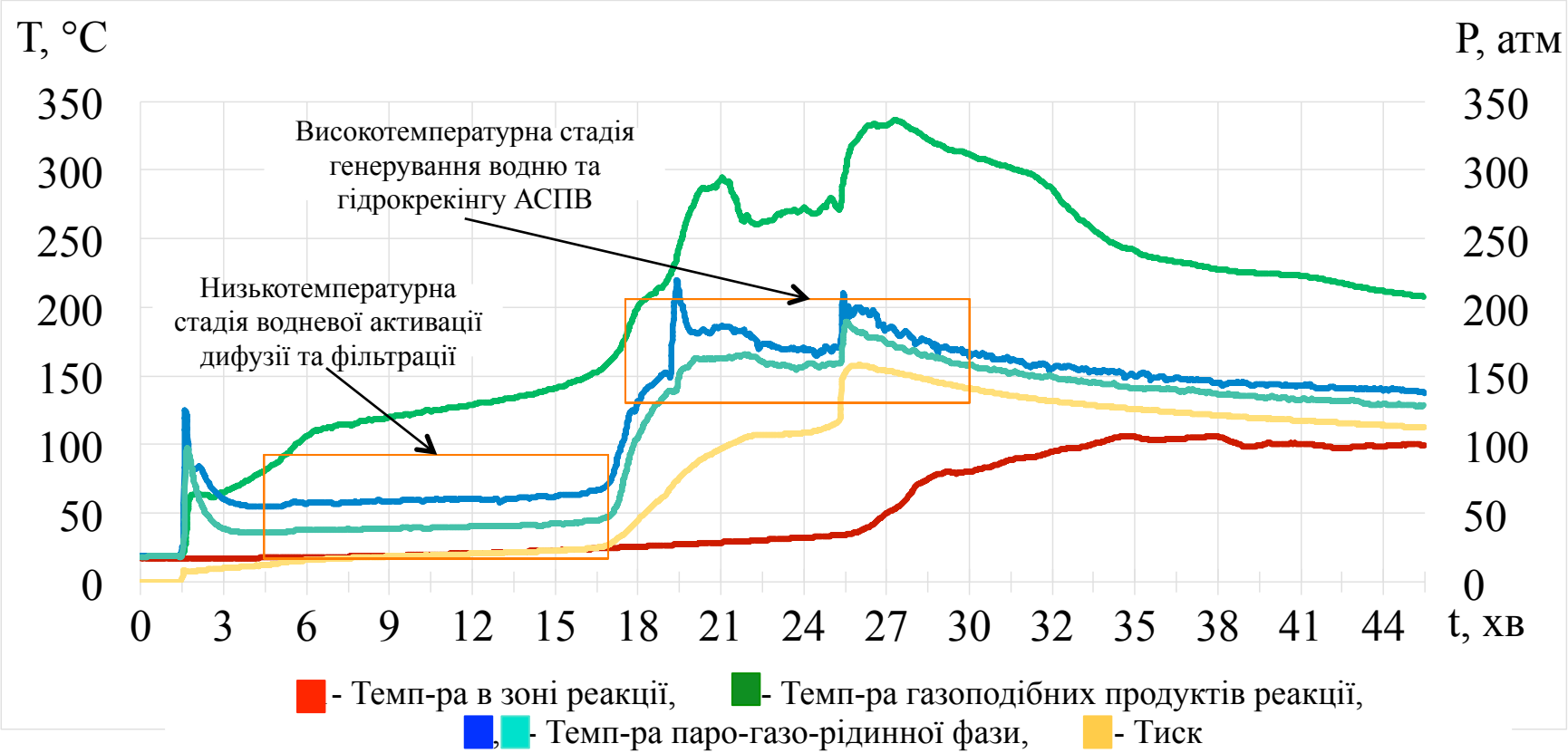


Броньована камера



Основні модулі (ректор, кернотримач, балони, ресивери) розміщено в бронекамері з примусовою вентиляцією.
Всі системи та органи керування окремими модулями та фіксації вимірюваних параметрів винесено назовні.

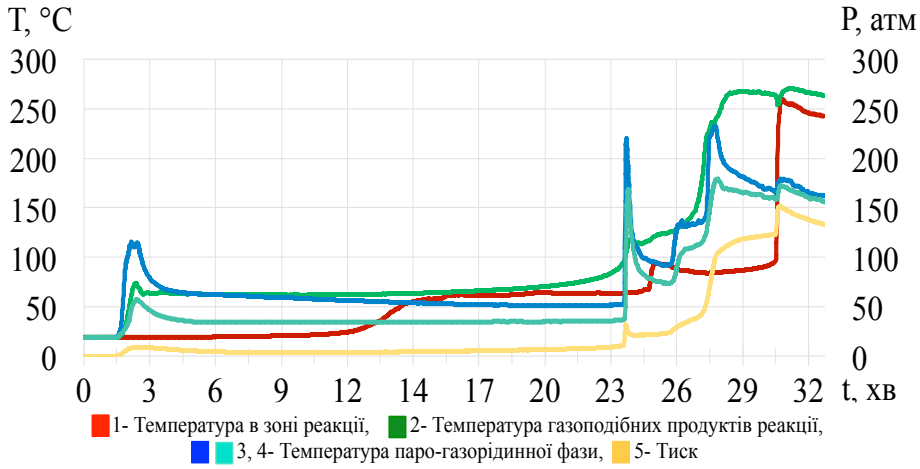
Розроблена методика проведення досліджень дозволяє відтворювати особливості реального процесу



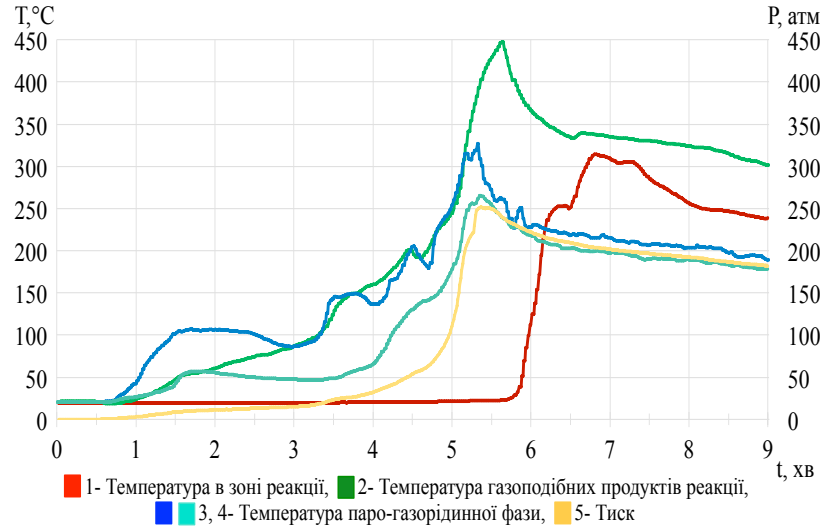
Графічна візуалізація термобарохімічного процесу з базовим складом компонентів системи ГОС–ГРР

Експериментальний комплекс дозволяє досліджувати кінетику термобарохімічних процесів, здійснювати фізичне моделювання комплексного впливу, в тому числі водневого, на зміну фільтраційно-ємнісних характеристик та проникності гірської породи, який дозволяє відтворювати технологічні особливості здійснення хіміко-технологічного процесу, забезпечує його протікання в умовах, максимально наближених до реальних пластових.

Доведено, що шляхом додавання до базових технологічних рідин активаторів та інгібіторів хімічних реакцій можна одержувати різні за характером протікання типи процесів та їх окремих стадій, впливати на енергетичну ефективність та екологічні показники протікання процесу



Графічна візуалізація термобарохімічного процесу з додавнням в ГОС–ГРР інгібіторів реакцій низькокотемпературної стадії та пасивованих ГРР



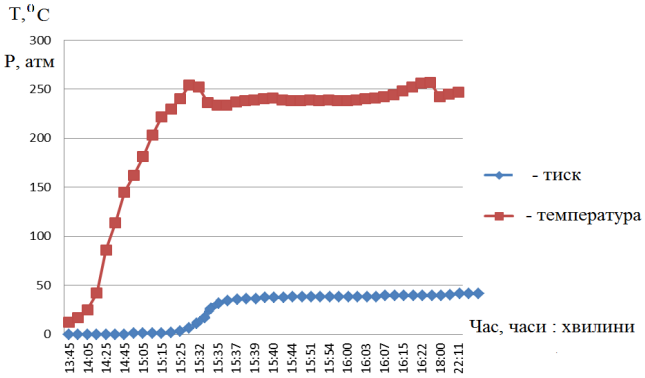
Загальний вигляд кінетики процесу ХТП з активацією ГРС та полімерними нітрилами, I – низькотемпературна стадія генерування водню з активацією ГРР на основі алюмінію; II – високотемпературна стадія генерування водню з активацією параціаном

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

Доведено, що використання в системі горючо-окислювальних складів - гідрореагуючих речовин (ГОС – ГРР) як активатора процесу горіння менше 1% полімерного нітрилу параціану дозволяє підвищити температуру протікання високотемпературної стадії хіміко-технологічного процесу (ХТП) до рівня, на якому за наявності активованого водню відбуваються процеси часткового гідрокрекінгу важких вуглеводнів.

Удосконалено технологію синтезу речовини з унікальними властивостями - полімерний нітрил параціану, який є не тільки активатором протікання високотемпературної водневої стадії хіміко-технологічного процесу, але й може використовуватися як високоенергетичний компонент та активатор горіння сумішевого твердого ракетного палива.

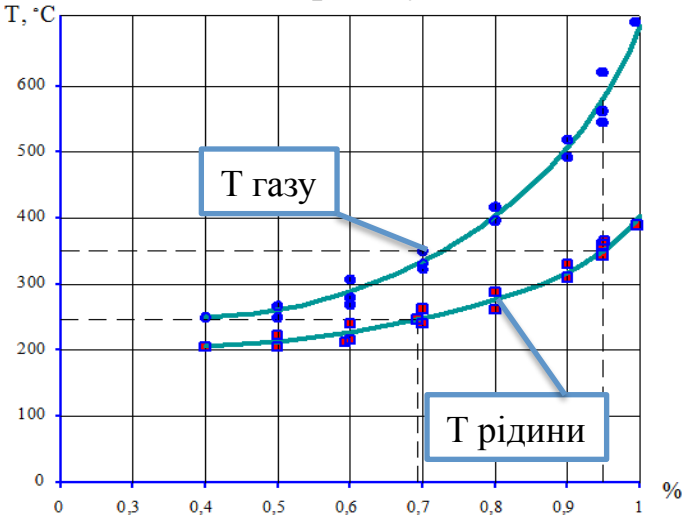
Реактор для синтезу



Залежність тиску від температури в реакторі підчас синтезу

$$(C_2N_2)n = nC_2N_2,$$
$$C_2N_2 + O_2 = 2\,CO + N_2$$

Основною особливістю параціану є його сублімація та високі температури горіння в кисні (який в нашому процесі виділяється при розкладанні селітри) – 4200 К. Забезпечує ланцюговий процес горіння при малих концентраціях, тим самим **дозволяє в повному обсязі реалізувати енергетичний та хімічний потенціал системи, сприяє покращенню екологічних характеристик процесу**.



Експериментально визначено оптимальний вміст активатору в базових технологічних рідинах для активації високотемпературної стадії ХТП.

Створено ділянку для експериментальних досліджень з визначення основних фільтраційно-ємнісних характеристик реального керну гірської породи

Підготовка природного керну до експериментальних досліджень

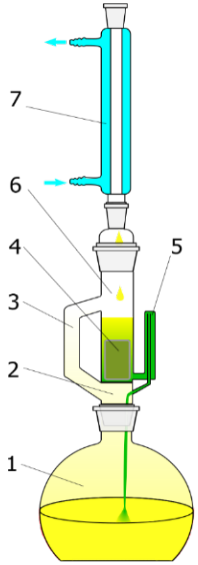
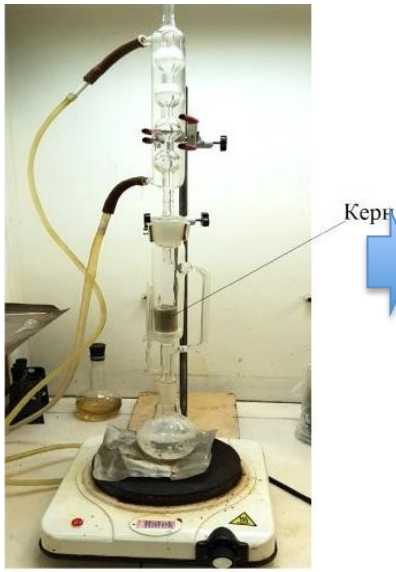


Схема лабораторної установки з екстрагування кернів.

1. Плоскодонна колба.
2. Екстрактор Сокслета.
3. Трубка для парів розчинника.
4. Керн.
5. Трубка сифону.
6. Екстракційна камера .
7. Холодильник



Лабораторна установка для екстрагування кернів

Висушування керну в сушильній шафі

Зважування керну на аналітичних вагах

Насичення керну пластовою водою під вакуумом

Насичення керну нафтою та кольматантами та визначення початкової проникності керну

Розроблено методику експериментального визначення найбільш енергоефективного фізико-хімічного процесу (ФХП) водневої термобарохімічної технології, яку засновано на порівняльному аналізі результатів впливу різних за характером протікання фізико-хімічних процесів на відновлення проникності закольматованих кернів гірської породи.

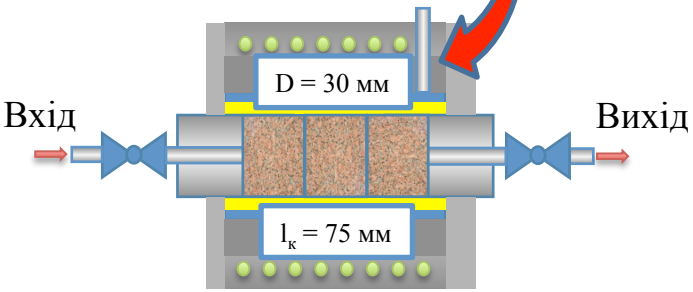
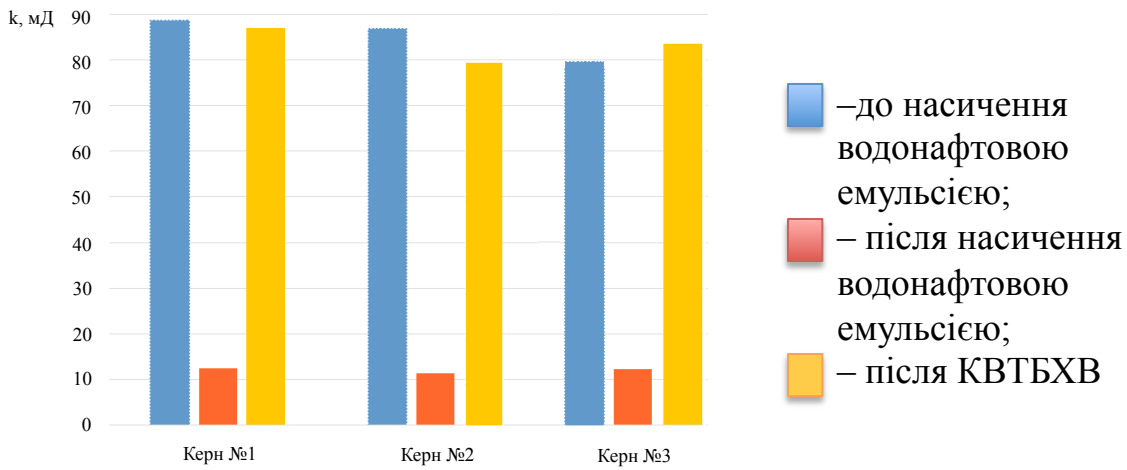


Схема кернотримача



Зміна проникності кернів під впливом різних за характером протікання ФХП КВТБХВ

	Початкова проникність, мД	Проникність після кольматації, мД	Проникність після обробки, мД	Коефіцієнт відновлення проникності, β
Керн №1	88	9	86	0,977
Керн №2	86	11	78	0,9
Керн №3	80	12	84	1,05

В реакторі відтворюються різні за характером протікання ХТП. Здійснюється обробка кернів продуктами реакції цих ХТП, під тисками та температурними режимами, які притаманні цим ХТП

ХТП з активацією параціаном є найефективнішим

Створено методику удосконалення математичної 3D моделі багатостадійного процесу водневого термобарохімічного впливу на зміну проникності гірської породи, створено методику її уточнення та верифікації

Методику математичного *3D* моделювання засновано на розв'язанні рівнянь фільтрації Дарсі та рівнянь збереження енергії з урахуванням експериментальних результатів.

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(m\rho_f E_f + (1-m)\rho_s E_s\right) + \nabla\cdot\left(\rho_f E_f \bar{v}\right) + \nabla\cdot\left(p\bar{v}\right) - \nabla\left(\tau_{ij}\bar{v}\right) = \nabla\left(k_{eff}\nabla T_m - h_i J_i\right) + S_f^h$$

$$\nabla p = -\frac{\mu_g}{k_g}\bar{V}_g - c\frac{1}{\sqrt{k_g}}\rho_g\left|\bar{V}_g\right|\bar{V}_g$$

$$l = l_y / l_k$$

$$v = v_ф / v_{еф}$$

В основу методики уточнення математичної моделі покладено експериментальне визначення функції зміни коефіцієнту відновлення фазової проникності по довжині керну під час комплексної водневої термобарохімічної обробки.

V – відносний об'єм продуктів реакції

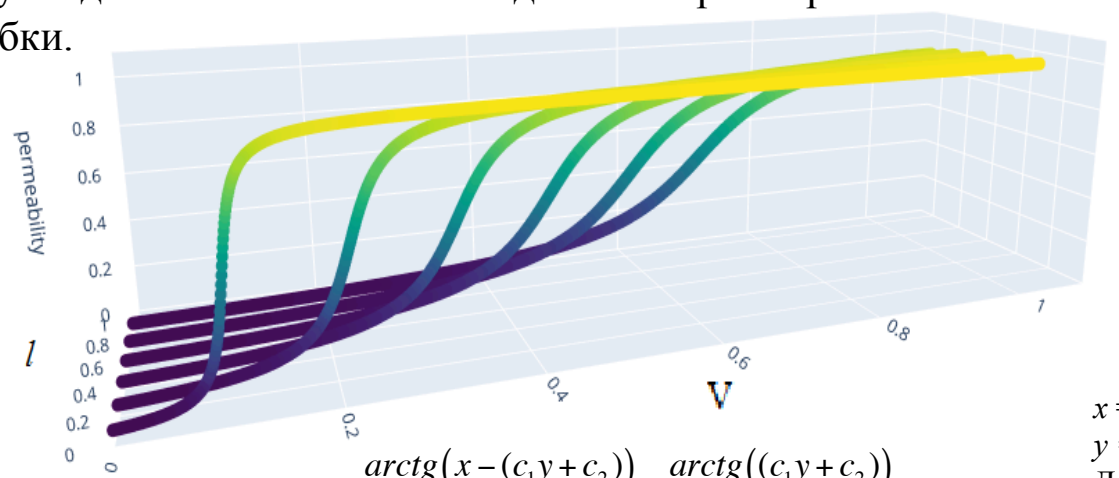
l – відносна довжина керну

$\mathbf{V_ф}$ - фактичний об'єм продуктів реакції, які профільтрувалися

$\mathbf{V_{еф}}$ - ефективний об'єм продуктів реакції, при якому досягається максимальне відновлення проникності

$\mathbf{l_{y-}}$ - відстань від площини початку фільтрації продуктів реакції в керн до любого перетину уздовж вісі симетрії

$\mathbf{l_{k-}}$ - довжина керну



$$f(x,y) = \frac{\dfrac{arctg\left(x-(c_1 y + c_2)\right)}{c_3 y + c_4} + \dfrac{arctg\left((c_1 y + c_2)\right)}{c_3 y + c_4}}{\pi} + c_5$$

$x = V$

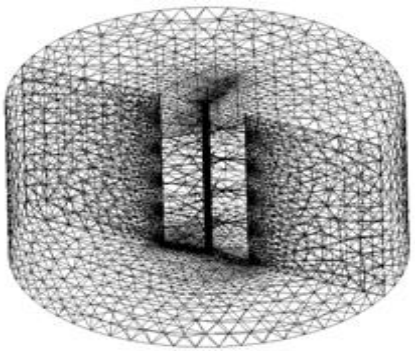
$y = l$

Для даного процесу маємо такі константи:

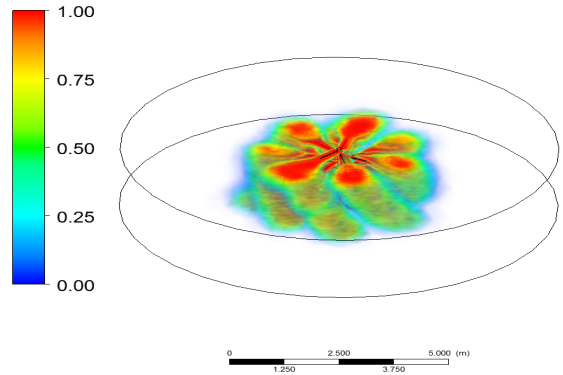
$c_1 = 0.7$ $c_2 = 0.1$ $c_3 = 0.1$ $c_4 = 0.01$ $c_5 = 0.06$

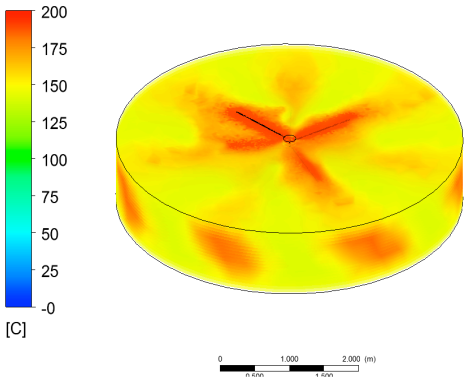
Одержана функція зміни проникності замість розрахункових значень або констант проникності закладається в математичну модель фільтрації.

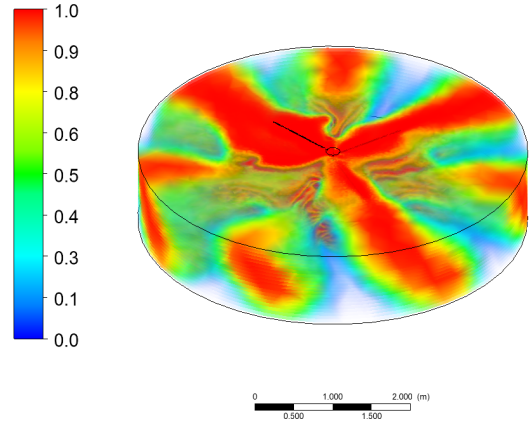
Удосконалену математичну модель покладено в основу комп'ютерної 3D моделі для постадійного комп'ютерного моделювання КВТБХВ з урахуванням кінетики ХТП. Такий підхід набув особливої актуальності за умов, коли завдяки розробленим методам з'явилася можливість керування стадіями, особливо водневими, за тривалістю та температурними рівнями.



Розрахункова сітка, що описує конфігурацію ПЗП (радіус розрахункової області 3 м, еквівалентна потужність фрагмента пропластка 5 м)





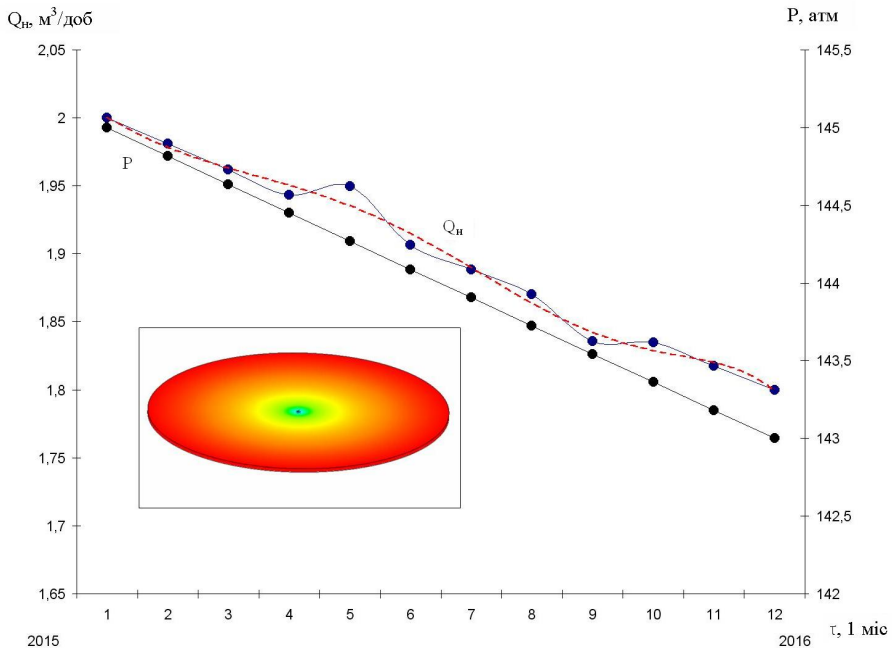


Моделювання температурних режимів в привибійній зоні свердловини під час обробки

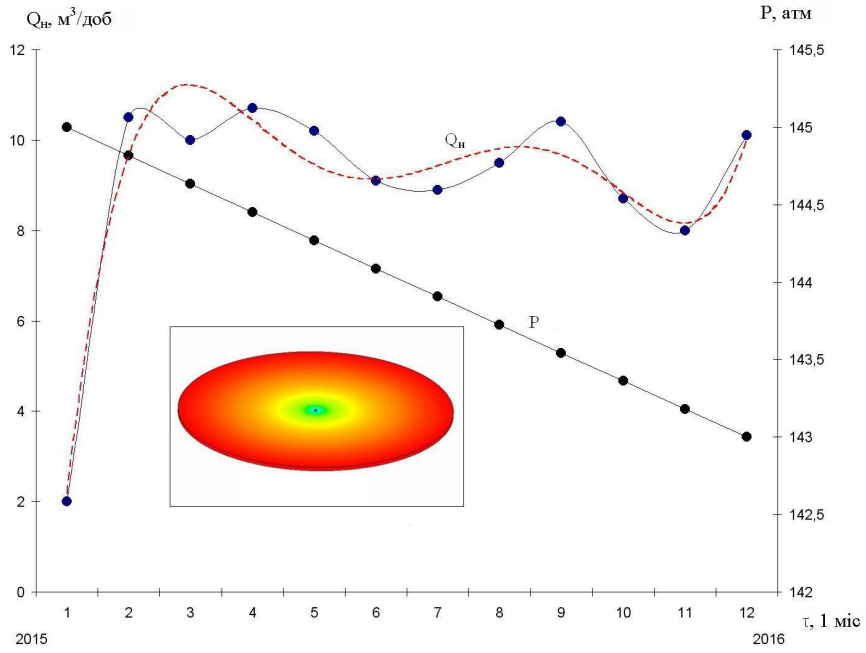
Розроблено алгоритм підготовки до імплементації технології, в якому використовуються результати фізичного й математичного моделювання, що дозволяє з високою точністю описувати протікання фільтраційно-дифузійних та тепломасообмінних процесів реальних ХТП під час обробки продуктивних пластів, визначати хімічний склад технологічних рідин, що дозволяє підвищувати енергоефективність та екологічність водневої термобарохімічної технології, особливо його водневих стадій.

Прогнозна оцінка збільшення дебіту нафтової свердловини після реалізації технології КВТБХВ

Прогнозна зміна дебіту та пластового тиску нафтової свердловини **без використання водневої термобарохімічної технології** на протязі 12 місяців
(Sk = 0,11-0,37)



Прогнозна зміна дебіту та пластового тиску нафтової свердловини після **використання водневої термобарохімічної технології** на протязі 12 місяців
(Sk = -0,35-0,43)



Наукова новизна одержаних результатів:

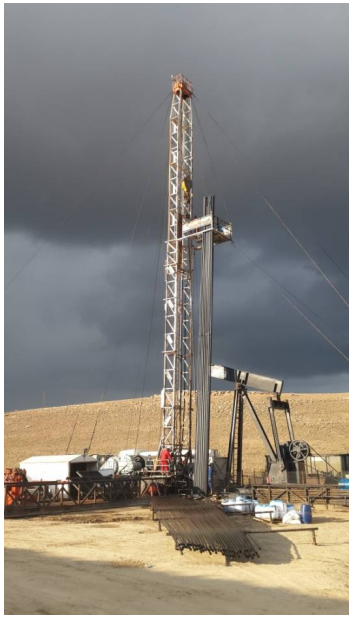
- вперше створено експериментальний комплекс для дослідження кінетики термобарохімічних процесів та фізичного моделювання комплексного впливу, в тому числі водневого, на зміну фільтраційно-ємнісних характеристик та проникності гірської породи, який дозволяє відтворювати технологічні особливості здійснення хіміко-технологічного процесу, забезпечує його протікання в умовах, максимально наближених до реальних пластових;
- вперше запропоновано методи керування водневими стадіями ХТП КВТБХВ та експериментально доведено, що шляхом додавання до базових технологічних рідин активаторів та інгібіторів хімічних реакцій можна одержувати різні за характером протікання типи процесів та їх окремих стадій. Зокрема, використання гідрореагуючих речовин на основі алюмінію дозволяє одержувати водень та підвищувати проникність гірської породи на низькотемпературній стадії процесу, а введення синтезованого полімерного нітрилу параціану активує та утримує протікання високотемпературної (енергетичної) стадії процесу, на якій відбувається гідрокрекінг важких вуглеводнів;
- вперше розроблено методику експериментального визначення найбільш енергоефективного хіміко-технологічного процесу технології КВТБХВ, яку засновано на порівняльному аналізі результатів впливу різних за характером протікання ХТП на відновлення фазової проникності закольматованих кернів гірської породи;
- удосконалено методику уточнення комп'ютерного 3D моделювання багатостадійного процесу водневого термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти свердловин, в якій вперше в математичній моделі ураховуються результати експериментальних досліджень нестаціонарного процесу відновлення проникності гірської породи внаслідок КВТБХВ.

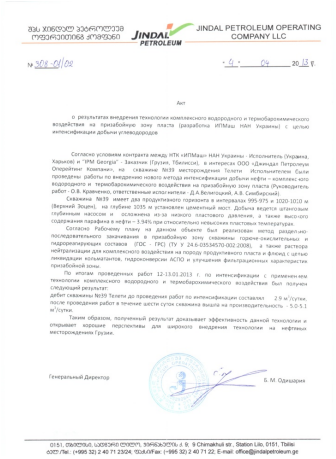
Практичне значення одержаних результатів та впровадження:

- створено експериментальний комплекс, який дозволяє досліджувати кінетику протікання ХТП не тільки КВТБХВ та подібних методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів, але й інших термогазохімічних процесів, в тому числі з генеруванням водню;
- удосконалено технологію синтезу полімерного нітрилу параціану, який є активатором протікання високотемпературної водневої стадії ХТП та може викорисовуватися як компонент сумішевого твердого ракетного палива (пат. 99412, заявка на винахід а 201709273);
- розроблено методику одержання активованого водню на низькотемпературній стадії ХТП шляхом використання пасивованих ГРР на основі алюмінію (пат. 102501);
- удосконалено алгоритм створення дизайну ХТП та підготовки до впровадження технології КВТБХВ, заснований на результатах фізичного та постадійного комп'ютерного моделювання водневого термобарохімічного впливу з прогнозуванням очікуваного ефекту;
- одержані результати роботи використано при удосконаленні ХТП (пат. 106717, 108333, 113256) та підготовці до імплементації технології КВТБХВ на 13 нафтових свердловинах в Україні та закордоном.

Впровадження результатів роботи

У квітні 2014 року за вдосконаленою технологією було виконано обробку продуктивного горизонту свердловини 15 Вільхівка (Західна Україна). Свердловина була законсервована з нульовим дебітом понад 30 років тому. Теплові та хімічні методи обробки в 2013 році не дали результатів. Свердловина характеризується високим вмістом АСПО (асфальтени і парафіни) в нафті і складною конструкцією привибійною зоною поаста. Освоєння з технічних причин почалося тільки 07.2014 року. Вже на 10 добу після обробки дебіт нафти перевищував 4 м^3 на добу.





JINDAL PETROLEUM

JINDAL PETROLEUM OPERATING COMPANY LLC

№ 3016-01/02 «14» 04 2013 г.

Лист

о результатах внедрения технологии комплексного водородного и термобарохимического воздействия на призабойную зону пласта (разработка ИПМаш НАН Украины) с целью интенсификации добычи углеводородов

Согласно условиям контракта между НТК «ИПМаш» НАН Украины - Исполнитель (Украина, Харьков) и "JPM Georgia" - Заказчик (Грузия, Тбилиси), в интересах ООО «Джиндал Петролеум Оперейтинг Компани», на скважине №39 месторождения Телети - Исполнителем были проведены работы по внедрению нового метода интенсификации добычи нефти – комплекс кого водородного и термобарохимического воздействия на призабойную зону пласта (Руководитель работ - О.В. Кравченко, ответственные исполнители - Д.А.Велитецкий, А.В. Симбирский).

Скважина №39 имеет два продуктивного горизонта в интервалах 995-975 и 1020-1010 м (Верхний Эоцен), на глубине 1035 м установлен цементный мост. Добыча ведется штанговыми глубинными насосом и осложнена из-за низкого пластового давления, а также высо-кого содержания парафина в нефти – 3.34% при относительно невысоких пластовых температурах.

Согласно Рабочему плану на данном объекте был реализован метод раздел-но-последовательного закачивания в призабойную зону скважины горяче-окислительных и гидроорганизующих составов (ГОС - ГРС) (ТУ У 24.6-03534570-002-2008), а также растворов нейтрализации для комплексного воздействия на порово продуктивного пласта и фильтр с целью ликвидации кольматантов, гидроконвержи АСПО и улучшения фильтрационных характеристик призабойной зоны.

По итогам проведенных работ 12-13.01.2013 г. по интенсификации с применением технологии комплексного водородного и термобарохимического воздействия был получен следующий результат:

дебит скважины №39 Телети до проведения работ по интенсификации составлял 2.9 м^3/сутки, после проведения работ в течение шести суток скважина вышла на производительность 5.0-5.1 м^3/сутки.

Таким образом, полученный результат доказывает эффективность данной технологии и открывает хорошие перспективы для широкого внедрения технологии на нефтяных месторождениях Грузии.

Генеральный Директор Б. М. Одишария

0151, თბილისი, ჩაბუქიანის ქუჩა, 30ჩაბუქიანის ქ. 9 9 Chimakhuli str., Station Lab, 0151, Tbilisi
ტელ./ფაქ. (+995 32) 2 40 71 23/24; ელ.ფოსტა: office@jindalpetroleum.ge Tel./Fax: (+995 32) 2 40 71 22; E-mail: office@jindalpetroleum.ge

За вдосконаленою технологією було здійснено обробку горизонту В-22 Луценківського ГКР (Україна, Полтавська область). Вже через вісім годин після обробки спостерігався перелив рідини глушіння та вихід пачок пластового газу на поверхню. В результаті обробки відновлено гідродинамічний зв’язок свердловини з продуктивним пластом. Вперше після дворічної повної відсутності притоку газового конденсату, свердловина почала працювати в режимі накопичення. До цього жодний з традиційних використовуваних методів стимуляції пласта не дав такого ефекту.

Технологію імплементовано на двох нафтових свердловинах в Індії
Отримано збільшення добового дебіту в 1,6 рази та в 2,5 рази, відповідно

Вперше технологію КВТБХВ було успішно впроваджено на нафтовій свердловині з горизонтальним закінченням. Довжина оброблюваного участку продуктвного пласту - 300 метрів. Дебіт до обробки – 7,8 м^3/добу, після обробки – 36 - 42 м^3/добу.

Вперше технологію комплексного водневого термобарохімічного впливу було впроваджено на родовищі зі **100% карбонатним колектором та густиною нафти 1,0 кг/дм^3 (Туреччина, родовище Баті Раман), яка обумовлена вмістом асфальтенів у нафті до 84%.** Збільшення динамічного та статичного рівня нафти в свердловині після обробки підтвердили її ефективність та відкрили перспективи для подальшого впровадження технології на подібних родовищах.

Опубліковані праці

В цикл робіт включено 43 публікації,
з них статті:
- ВАК – 7;
- індексуються в науквометричній базі Scopus – 3;
- індексуються в науквометричній базі Web of Science – 1;
  патенти – 6;
  труди конференцій – 28, в тому числі:
- **публікація в трудах міжнародної конференції SPE – 1**
- тези доповіді міжнародної конференції European Journal of Sustainable Development – 1

В 3-х (з 6 одержаних) патентах захищено способи керування процесом та підвищення його ефективності

УКРАЇНА
ПАТЕНТ
НА ВИНАХІД
№ 99412
СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕТАНОВИХ СВЕРДЛОВИН ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ
Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".
Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 10.08.2012.
Перший заступник Голови Державної служби інтелектуальної власності України
О.В. Янов

УКРАЇНА
ПАТЕНТ
НА ВИНАХІД
№ 102501
СПОСІБ КОМПЛЕКСНОГО ВОДНЕВОГО ТА БАРОХІМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА
М.В. Ковтун

УКРАЇНА
ПАТЕНТ
НА ВИНАХІД
№ 113256
А.А. Мілиш

Висновки:

В представленому цикли робіт вирішено важливу науково-практичну задачу підвищення енергоефективності та екологічності водневої термобарохімічної дії на продуктивні горизонти нафтових та газових свердловин.

1. Створено експериментальний комплекс для дослідження кінетики процесу КВТБХВ та фізичного моделювання комплексного впливу, в тому числі водневого, на зміну фільтраційно-ємнісних характеристик та проникності гірської породи, що дозволяє відтворювати технологічні особливості здійснення ХТП зазначеної технології, забезпечує його протікання в умовах, максимально наближених до реальних пастових.

2. Запропоновано методи впливу на характер протікання та підвищення ефективності багатостадійного термобарохімічного процесу, зокрема його водневих стадій. 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;
- використання як активатора процесу горіння синтезованого за удосконаленою технологією полімерного нітрилу параціану в кількості менш ніж 1%, дозволяє підвищити температуру протікання енергетичної високотемпературної стадії ХТП до рівня, на якому при наявності активованого водню відбуваються процеси часткового гідрокрекінгу важких вуглеводнів.

3. Розроблено методику досліджень впливу різних за характером протікання ХТП технології КВТБХВ на відновлення проникності та фільтраційно-ємнісних характеристик закольматованих природних кернів, що дозволяє визначати найбільш ефективний за характером протікання хіміко-технологічний процес для використання на свердловинах з різними причинами зменшення продуктивності;

4. Удосконалено комп'ютерну 3D модель багатостадійного процесу водневого термобарохімічного впливу на продуктивні горизонти свердловин, в методиці уточнення якої ураховуються результати експериментальних досліджень нестаціонарного процесу відновлення проникності гірської породи внаслідок КВТБХВ. Використання удосконаленої й верифікованої моделі дозволяє з високою точністю описувати протікання фільтраційно-дифузійних та тепломассобмінних процесів реальних ХТП під час обробки продуктивних пластів, дає можливість робити прогнозні оцінки щодо результатів обробки.

5. Розроблений алгоритм підготовки до імплементації технології з урахуванням результатів фізичного й математичного моделювання використано при проведенні дослідно-промислових впроваджень технології на свердловинах України, Індії, Грузії та Туреччини. Результати підтвердили високу ефективність удосконалених та використаних ХТП як у вертикальних, так і у горизонтальних свердловинах.

Дякую за увагу