

622.276.6 (043)
Г 94

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

ГУТАК ОЛЕКСАНДР ІГОРОВИЧ



УДК 622.276.6 (043)

Г 97

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ
ВУГЛЕВОДНІВ ШЛЯХОМ РІЗНОЧАСТОТНОГО ІМПУЛЬСНО-
ХВИЛЬОВОГО ВПЛИВУ НА НАФТОГАЗОНАСИЧЕНІ ПОРОДИ

05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України



Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Тарко Ярослав Богданович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
професор кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Зезекало Іван Гаврилович,
ГО «Спілка наукових та інженерно-технічних фахівців «Прометей», м. Полтава,
голова організації

кандидат технічних наук
Бойко Ростислав Васильович,
УМГ «Львівтрансгаз», м. Львів,
заступника головного інженера
з підземного зберігання газу

Захист відбудеться "04" квітня 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий "01" *березня* 2013

Учений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

І.М.Ковбасюк

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

Актуальність теми. В умовах значного дефіциту паливно-енергетичних ресурсів в Україні надзвичайно важливими та актуальними є роботи, спрямовані на підвищення видобутку нафти і газу.

Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, затвердженою законом України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI вказано, що одним із вагомих чинників подолання кризового становища в економіці України є належне забезпечення потреб економіки в мінерально-сировинних ресурсах та ефективне їх використання. Прогнозний обсяг видобутку нафти та газового конденсату до 2015 року, згідно цієї програми, становить 5,3 млн. тонн.

Важливим напрямком здійснення цих програмних положень є впровадження ефективних методів інтенсифікації дебітів свердловин шляхом дії на привибійну зону пласта. До перспективних та екологічно безпечних способів збільшення видобутку вуглеводнів слід віднести технології, які ґрунтуються на імпульсно-хвильовому впливі на продуктивні пласти в нафтогазовидобувних свердловинах.

Особливістю даних робіт в умовах українських родовищ, які знаходяться на завершальній стадії розробки, є те, що більшість свердловин експлуатують низькопроникні колектори із низькими пластовими тисками.

Процеси розповсюдження і поглинання пружних хвиль у нафтогазонасиченому пласті ще недостатньо вивчені, але попередньо отримані результати дають підставу для висновків про доцільність проведення досліджень в цій області. Важливим для вивчення хвильових процесів є дослідження впливу коливань різних частот і амплітуд на енергетичні характеристики системи пласт-флюїд та характеристики колекторів та флюїдів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота становить складову частину наукового напрямку кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ та Науково-дослідного інституту нафтогазової енергетики і екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та виконувались за темами ДЗ/369-2007 "Розроблення технології та пристрою імпульсно-хвильової дії для збільшення продуктивності нафтових свердловин" (№0107U009110) і Д-6-10-П "Нові технології видобування вуглеводнів із родовищ з важковилучуваними запасами" (№0110U000116).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів шляхом різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи.

Основні задачі досліджень:

1. Огляд існуючих технологій, технічних засобів та стану теоретичних і експериментальних досліджень процесів імпульсно-хвильового впливу на пласт.
2. Теоретичні дослідження хвильових процесів і оцінка характеру поширення пружних хвиль і їх впливу на продуктивні пласти та флюїди.

an 2349 - an 2350

3. Експериментальні дослідження процесу імпульсно-хвильової дії на нафтогазонасичені породи.

4. Розробка технологій діяння на продуктивні пласти та їх промислове випробування.

Об'єктом дослідження є процеси інтенсифікації видобутку вуглеводнів імпульсно-хвильовими методами.

Предметом дослідження є явища розповсюдження пружних хвиль в флюїдонасиченій породі, руйнування продуктів коьматації продуктивного пласта та зміни фазового складу вуглеводнів внаслідок хвильового впливу.

Методи дослідження. У роботі застосовано комплексний метод дослідження, що включає аналітичні методи вивчення розповсюдження пружних коливань при імпульсно-хвильовому впливі на пласт, використано стандартну апаратуру, статистичні методи планування та обробки експериментальних даних, а також перевірку отриманих результатів в промислових умовах.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Отримано рівняння різночастотної суперпозиції циліндричних пружних хвиль в флюїдонасиченому середовищі та вперше встановлено раціональні параметри додаткового градієнту тиску в пласті, отриманого в результаті їх взаємодії та залежність глибини оброблення пласта від відстані між джерелами коливань за різних частот випромінювання.

2. Вперше експериментальними дослідженнями на моделі пласта встановлено, що дія пружними коливаннями інтенсивністю більше $0,01 \text{ Вт/см}^2$ призводить до збільшення фазової проникності для високов'язкої нафти до 25 %, а дія з діапазоном частот 50-500 Гц призводить до збільшення інтенсивності газовиділення в дегазованій за даного тиску нафті та збільшення тиску в модельному середовищі на 3-6 кПа.

3. Вперше експериментально підтверджено утворення низькочастотної хвилі биття внаслідок взаємодії високочастотних хвиль діапазону 50 Гц – 20 кГц з різницею в частоті до 5% в умовах насипної насиченої моделі пласта.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено 4 технології (2 з них патентозахищені) та 2 патентозахищених пристрої для інтенсифікації видобутку вуглеводнів із використанням різночастотних імпульсно-хвильових методів впливу на продуктивні пласти.

Результати досліджень впроваджено в свердловинах ТОВ “Капітал Ойл Україна”, Калуської НГРЕ, ТОВ “Західенергобуд”. Після застосування імпульсно-хвильових технологій в свердловині 8 Ст. Самбір ТОВ “Західенергобуд” дебіт нафти за контрольними замірами збільшився з 3 до 6 м³/добу, в свердловині 3 Кубаш Луквинського нафтового родовища ТОВ “Капітал Ойл Україна” – з 0,007 до 0,023 м³/добу, а в свердловині 1-Семаківська Калуської НГРЕ успішно проведено роботи з її освоєння.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати автором отримані особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, особисто дисертантом виконано наступне: отримано рівняння різночастотної суперозиції циліндричних пружних хвиль в флюїдонасиченому середовищі, проведено оцінку

зміни капілярного тиску, розгазування нафти [9,11,15] та процесу руйнування колоїдно-дисперсних систем. Проведено експериментальну оцінку коефіцієнту поглинання і глибини поширення пружних хвиль в гірській породі [1] і їх впливу на зміну фільтрації нафтоводяної суміші в моделі пласта [2,5,14] та процесу розгазування нафти в пористому середовищі [4,12,13]; експериментально підтверджено утворення низькочастотної хвилі биття внаслідок випромінювання високочастотних складових; проведено експериментальні дослідження впливу пружних коливань різних частот на рух рідини в капілярі; досліджено спектральні хвильові характеристики при використанні вибієного [7,8] та поверхневого обладнання [3,6,10].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на VI міжнародній науково-практичній конференції "Економічне відродження України" (м. Київ, 22 травня 2009 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи" (м. Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009 р.); на всеукраїнській науково-практичній конференції "Науково-практичний досвід – 2011" (м. Миколаїв, 17 травня 2011 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова енергетика – 2011" (м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців нафтогазової галузі" (м. Івано-Франківськ, 3-6 жовтня 2012 р.).

Дисертаційна робота доповідалась й обговорювалась на наукових семінарах кафедри розробки та експлуатації нафтових і газових родовищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2009-2012 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 15 наукових працях, з яких 6 статей – у фахових виданнях (одна одноосібна), 4 патентах та 5 тезах доповідей.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації викладено на 155 сторінках. Робота містить 5 таблиць, 85 рисунків, список використаних джерел із 157 найменувань.

Автор висловлює щирю подяку за допомогу під час виконання окремих розділів роботи науковому керівнику д.т.н., професору Я.Б. Гарку, а також працівникам ІФНТУНГ, НВФ "Інтекс" та ТОВ "Капітал Ойл Україна", які надавали підтримку та корисні поради при проведенні досліджень та впровадженні розробок дисертаційної роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи та технічні засоби інтенсифікації видобування нафти, які ґрунтуються на хвильовому впливі на нафтогазонасичені породи.

Дослідженням коливних і хвильових процесів та розробкам технічних засобів і технологій на основі їх використання присвятили роботи низка науково-дослідних установ, таких як Інститут фізики Землі РАН, ВНИИнефть, ВНИИЯГГе, РГУ нафти і газу им. И.М. Губкина, ІФНТУНГ, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, а також вітчизняні вчені Бойко В.С., Векерик В.І., Войтенко Ю.І., Зарубін Ю.О., Гошовський С.В., Гулий Г.А., Дорошенко В.М., Давиденко О.М., Єгер Д.О., Зезекало І.Г., Карпаш О.М., Кондрат Р.М., Кичигин А.Ф., Мислюк М.А., Мойсишин В.М., Михалюк А.В., Нагорний В.П., Світлицький В.М., Тарко Я.Б., Точилін Е.Л., Хоминець З.Д., Чекалюк Е.Б., Чернов Б.О., Яремійчук Р.С., Василюк Ю.М., Купер І.М., Возний В.Р., Кучернюк А.В., Бажалук Я.М., Смірнов О.П., Малюшевський П.П., Климишин Я.Д. та закордонні вчені Мирзаджанзаде А.Х., Гадиев С.М., Сургучев М.Л., Кузнєцов О.Л., Симкин Э.М., Степанова Г.С., Николаевский В.Н., Дибленко В.П., Камалов Р.Н., Попов А.А., Беляев Б.М., Чазов Г.А., Казаков В.О., Орендліхерман І.А., Чаплигин А.Г., Максименков М.О., Курленя М.В., Симонов Б.Ф., Опарин В.Н., Муфазалов Р.Ш., Климов Т.В., Зарипов Р.К., White J.E., Biot M.A., Poesio P., Ooms G., Barake S., Bas V.D.F., Venkitaraman A., Roberts P.M., Sharma M.M.

Імпульсно-хвильовий вплив здійснюють різними методами, виходячи із способів отримання коливань. На даний час за способами утворення можна виділити механічні коливання, утворені із використанням енергії потоку рідини або газу, механічного удару та вибуху. Інша група методів ґрунтується на використанні електромеханічних коливань, які генеруються електродіагнічними, п'єзокерамічними та магнітострикційними випромінювачами (рисунок 1).

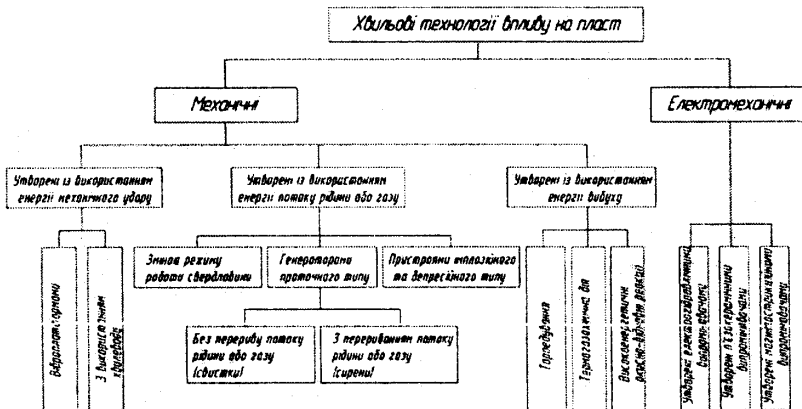


Рисунок 1 – Класифікація хвильових технологій із використанням різних типів коливань

Реалізація технологій хвильового впливу на пласт здійснюється за допомогою гирлових та вибійних пристроїв.

Технології дії на пласт за допомогою гирлових пристроїв (Кичигин А.Ф., Єгер Д.А., Курленя М.В., Симонов Б.Ф. та ін.) використовуються в обмеженому обсязі в зв'язку з недостатньою вивченістю. В більшому об'ємі набуло застосування вибійних пристроїв-генераторів пружних коливань (Гадиев С.М., Сургучев М.Л., Кузнецов О.Л., Симкин Э.М. та ін.). Найбільш апробованими є технології впливу на пласт пристроями, в яких використовується енергія потоку рідини або газу. Перевагами даних генераторів є можливість створення на вибої необхідної інтенсивності пружних коливань, а також їх довготривала та безперебійна робота. До недоліків слід віднести необхідність циркуляції рідини в свердловині, невеликий діапазон робочих частот та складність регулювання їх характеристик. Використання магнітострикційних та п'єзокерамічних генераторів, які дозволяють легко регулювати параметри роботи цих пристроїв зміною параметрів електричного струму, обмежуються відсутністю можливості створення коливань низької частоти.

Проведений аналіз відомих способів утворення коливних і хвильових процесів та конструкцій пристроїв для їх отримання показав, що невеликі обсяги їх застосування пов'язані з недостатньою вивченістю механізмів розповсюдження та поглинання пружних хвиль різних частот і амплітуд та їх впливу на продуктивний пласт і флюїд.

У другому розділі наведено результати досліджень механізму розповсюдження пружних хвиль різних частот в насичених середовищах, характерних для родовищ нафти і газу.

Як відомо, в колекторах нафти і газу одночасно можуть розповсюджуватись хвилі трьох типів: дві поздовжні та одна поперечна. Поздовжня хвиля першого роду – хвиля тиску, яка розповсюджується по скелету породи та флюїду. Механізм розповсюдження цієї хвилі залежить не тільки від фізичних властивостей твердої і рідкої фаз, але також від ступеня гідродинамічної та термодинамічної взаємодії між ними. Термічні та в'язко-інерційні складові коефіцієнта поглинання, за однакових умов, приймаються до уваги при високих частотах коливань (порядку кількох кілогерц).

Оскільки ступінь кольтатації привибійної зони пласта змінюється з віддалю від свердловини, для інтенсифікації припливу флюїдів потрібно використовувати як низькочастотні, так і високочастотні коливання. Можливість одночасного використання такого широкого спектру частот дозволить діяти як на ближню зону (радіус до 2 м), так і на віддалену ділянку пласта.

На основі теоретичних досліджень отримано залежності частоти коливань від пористості пласта, яка забезпечує на відстані від свердловини, наприклад 1, 1,5 та 2 м інтенсивність пружних хвиль на рівні 50% від початкової інтенсивності, а також залежності частоти коливань від пористості, яка забезпечує на відстані від свердловини 5, 7 та 9 м інтенсивність пружних хвиль на рівні 10% від початкової інтенсивності (рисунки 2).

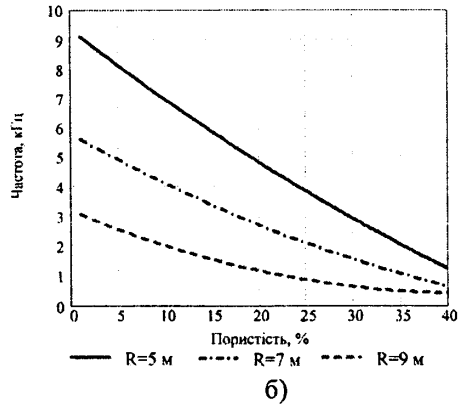
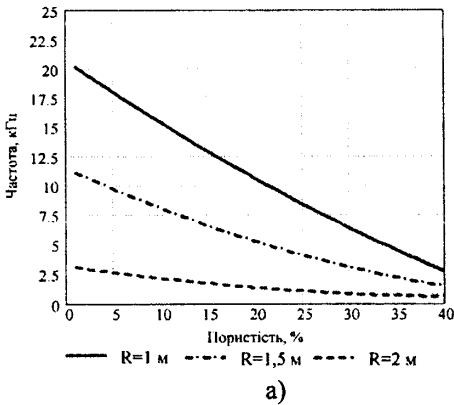


Рисунок 2 – Залежності частоти коливань від пористості для впливу на ближню (а) та віддалену зону пласта (б)

Як видно, наприклад, для ближньої зони пласта пористістю 20 % на віддалі 1 м від свердловини раціональною частотою дії буде 11 кГц, а для оброблення віддаленої зони пласта з цією ж пористістю на віддалі 5 м від свердловини раціональна частота становитиме 5 кГц.

Оцінку характеру та коефіцієнту поглинання пружних хвиль проведено також для різних типів гірських порід, на основі чого визначено раціональні частоти впливу на ближню та віддалену ділянки пласта для порід пористістю 1,5, 15, 20, 35, 40%. Отримані залежності дозволяють знайти величину коефіцієнту поглинання для конкретних величин частот та заданих характеристик пласта і в подальшому використовувати цей параметр для проектування технології дії на пласт.

Проведений аналіз розповсюдження циліндричних пружних хвиль показав, що взаємодія двох хвиль з різницею в частоті до 5% призводить до так званого явища «биття частот», тобто до утворення нової низькочастотної хвилі, котра має значно більшу віддаль розповсюдження в порівнянні з хвилями випромінювання. Отримано рівняння різночастотної суперпозиції циліндричних пружних хвиль в флюїдонасиченому пласті з утворенням низькочастотної хвилі биття:

$$P_a = \frac{4\pi A_0 e^{-\alpha_1 \sqrt{d^2+x^2}}}{\sqrt[4]{d^2+x^2}} \rho c f_1 \cdot \cos\left(\pi \Delta f \left(t - \frac{\sqrt{d^2+x^2}}{c}\right)\right) \cdot \cos\left(\pi(f_1 + f_2) \left(t - \frac{\sqrt{d^2+x^2}}{c}\right)\right); \quad (1)$$

$$P_{aM} = \frac{4\pi A_0'}{\sqrt{x}} e^{-\alpha_2 x} \rho c \Delta f \cdot \cos\left(\pi \Delta f \left(t - \frac{x}{c}\right)\right), \quad (2)$$

де P_a, P_{aM} – амплітуди змінного тиску різночастотної суперпозиції циліндричних пружних хвиль та низькочастотної хвилі биття; A_0, A_0' – початкові амплітуди

зміщення високочастотних та низькочастотної хвиль відповідно; α_1, α_2 – коефіцієнти поглинання для високочастотних та низькочастотних хвиль; d – половина відстані між джерелами випромінювання; x – відстань в пласті від джерела випромінювання; ρ – середня густина гірської породи; c – швидкість розповсюдження поздовжньої пружної хвилі в породі; $f_1, f_2, \Delta f$ – відповідно високочастотні коливання першого та другого випромінювача і різниця новоутворена частота; t – час.

На рисунку 3 показано характер збурення тиску в пласті внаслідок суперпозиції двох циліндричних високочастотних пружних хвиль різних частот та утвореної різницевої низькочастотної хвилі.

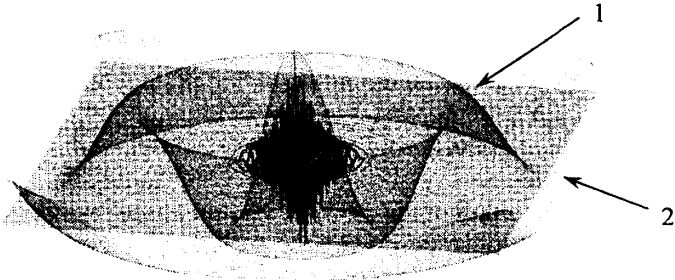


Рисунок 3 – Характер розповсюдження високочастотної хвилі, утвореної внаслідок суперпозиції двох пружних хвиль різних частот (1) та створеної різницевої низькочастотної хвилі (2)

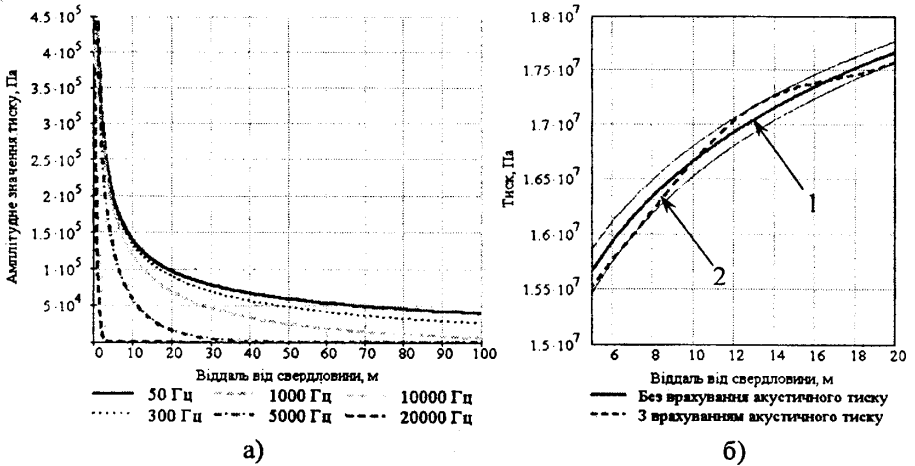
Досліджено характер розповсюдження хвиль в пласті в залежності від розташування генераторів пружних коливань відносно один одного та продуктивного пласта. Отримано залежність між максимальною та оптимальною відстанню між випромінювачами та частотою коливань при різночастотному випромінюванні, яку можна використати для проектування ефективного впливу на пласт шляхом диференційованої дії на ближню та віддалену зону з одночасним регулюванням інтенсивності впливу на пласт по його товщині.

Подальші дослідження направлені на вивчення впливу пружних хвиль на низку чинників, які обумовлюють процес фільтрації флюїду в пласті.

Оцінено геометрію меніску та залежності радіусу пор, в яких може бути змінений капілярний тиск на межі поділу нафта-вода від інтенсивності пружних коливань. Встановлено, що збільшення інтенсивності пружних коливань призводить до оброблення пор меншого розміру. Наприклад, якщо для пор радіусом порядку $3 \cdot 10^{-6}$ м потрібна інтенсивність $0,01$ Вт/см², то для пор радіусом $3 \cdot 10^{-7}$ м – $0,1$ Вт/см².

Для удосконалення проектування технологій хвильового впливу на виснажених нафтових родовищах, в яких превалюють режим розчиненого газу та гравітаційний режим, проведено теоретичну оцінку по вивченню впливу високо- і низькочастотних пружних коливань на розгазування нафти. З цієї метою розраховано величини акустичного тиску внаслідок хвильового впливу з віддалю

від свердловини та гідродинамічного тиску без та з врахуванням акустичного тиску для різних частот (рисунок 4).



а)

б)

Рисунок 4 – Залежність амплітуди акустичного тиску з початковою інтенсивністю 1 Вт/см^2 та різними частотами (а) і величини гідродинамічного тиску без (1) та з врахуванням (2) акустичного тиску для частоти 50 Гц з віддалю від свердловини (б)

Як видно з рисунку 4 (б), наприклад, вплив пружними коливаннями частотою 50 Гц дозволить періодично збільшувати та зменшувати тиск в пласті на 50 кПа. Це дозволяє припускати, що вплив пружними коливаннями з діапазоном частот 50-500 Гц може призводити до додаткового розгазування нафти.

Однією з причин зниження продуктивності свердловин значної частини родовищ є вміст в нафті високомолекулярних парафінових вуглеводнів. Зі зміною термобаричного стану в цих умовах в привибійній зоні пласта відбувається кристалізація твердої фази парафінів. Крім цього, взаємодія поверхневих і пластових вод, що має місце під час розкриття пласта і в подальшому під час ремонтів свердловини, може привести до випадання нерозчинних солей. В комплексі ці явища призводять до утворення колоїдно-дисперсних систем з високою в'язкістю, проявлення неньютонівських властивостей флюїду та поглиблення ступеня кольматації пласта.

Проведено оцінку градієнта тиску при хвильовому впливі, який виникає в привибійній зоні пласта в процесі фільтрації флюїду. Встановлено, що одночасна дія гідродинамічного градієнту тиску та акустичного градієнту тиску, призводить до подолання граничної напруги зсуву колоїдно-дисперсних систем, причому, при довготривалій хвильовій дії частково руйнується їх структура і знижується гранична напруги зсуву.

Результати гідродинамічних досліджень показують, що в процесі розкриття пластів та експлуатації свердловин відбувається зниження проникності пласта та зменшення рухливості флюїду на значних віддальх від свердловини. В зв'язку з

цим, досліджено вплив пружних хвиль на віддалену ділянку пласта, зокрема оцінено градієнти акустичного тиску для частот 50, 300, 1000, 3000, 10000, 20000 Гц з початковою інтенсивністю 1 Вт/см^2 і градієнт гідродинамічного тиску за пластового та вибійного тиску відповідно 20 і 8 МПа (рисунок 5).

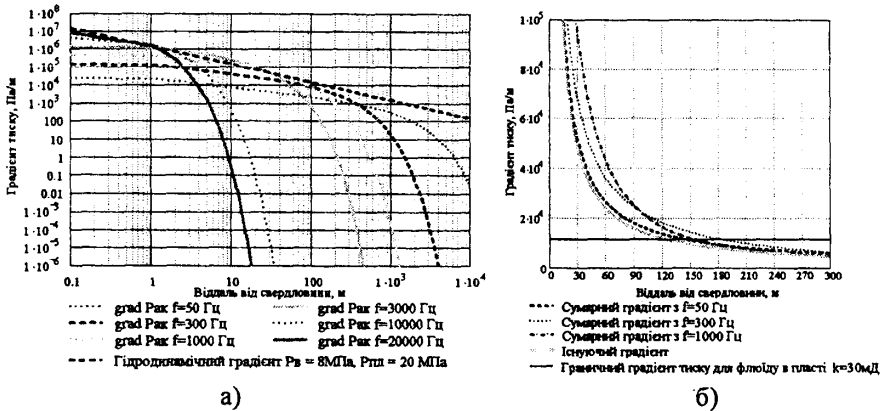


Рисунок 5 – Залежність градієнтів акустичного тиску (а) та сумарного градієнту тиску (б) з віддалю від свердловини для пласта проникністю $30 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$

З рисунку 5 (а) видно, що дальність та інтенсивність хвильового впливу суттєво залежить від частоти коливань. Так коливання з частотою 20 кГц дозволяють ефективно діяти на відстані до 2 м , а зі збільшенням віддалі величина акустичного тиску різко зменшується і в радіусі від свердловини 11 м його градієнт становить 10^{-6} Па/м . В той час, коливання з частотою 1 кГц створять прийнятну величину акустичного тиску на віддалі до 100 м . Одночасна дія акустичного та гідродинамічного тиску дозволить збільшити загальний градієнт тиску в фазі стискування середовища (рисунок 5 б), причому зміна тиску в фазі стискування та розтягу спричинить імпульсну дію на пласт.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень процесу імпульсно-хвильової дії на нафтогазонасичені породи.

Експериментальні дослідження проводились на установці, в якій використано насипну модель пласта (фракції $0,10 - 0,4 \text{ мм}$) з проникністю $0,5 \text{ мкм}^2$ насичену нафтою з динамічною в'язкістю $50 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ та пластовою водою з мінералізацією 200 г/л Луквинського нафтового родовища. В якості джерела коливань використовувався п'єзогенератор на основі п'єзокераміки ЦТС-19. Частота повторення імпульсів генератора становила 1 Гц , спектр імпульсу вміщував гармоніки від 10 Гц до 40 кГц .

Встановлено, що вплив пружними коливання інтенсивністю більше $0,01 \text{ Вт/см}^2$ під час фільтрації нафтоводяної суміші в насипній моделі призводить до збільшення фазової проникності по нафті на $20-25\%$ (рисунок 6 а), а після витіснення нафти водою і отримання практично чистої води на виході установки, хвильова дія призводить до додаткового вилучення залишкової нафти на $5-11\%$.

Оскільки більшість вітчизняних родовищ розробляється на режимах виснаження, було проведено вивчення хвильового впливу на процеси розгазування нафти. Експериментальними дослідженнями на моделі керна встановлено, що дія пружними коливаннями діапазону частот 50-500 Гц призводить до збільшення інтенсивності газовиділення і, як наслідок, до збільшення тиску в середовищі на 3-6 кПа (рисунок 6 б). На практиці для інтенсифікації процесів розгазування доцільніше використовувати діапазон частот 50-70 Гц, у зв'язку із незначним поглинанням пружних хвиль даного діапазону частот у пористому середовищі пласта.

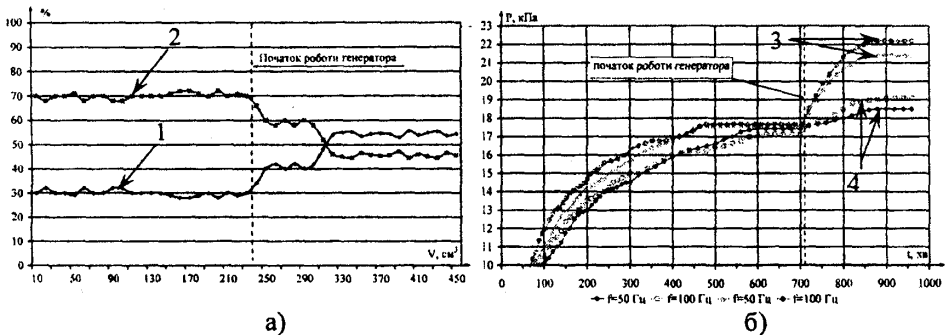


Рисунок 6 – Зміна співвідношення нафти (1) і води (2) на виході з установки від накопиченого об'єму проб (а) та тиску в експериментальній моделі внаслідок дегазації в нафтонасиченому керні (3) та нафти (4) в контейнері (б) в результаті хвильового впливу

Подальші експериментальні дослідження було направлено на підтвердження отримання низькочастотної різнищевої хвилі, утвореної внаслідок суперпозиції двох відмінних хвиль з різницею в частоті до 3-5 %. Дослідження проводились на насипній моделі пласта, насиченій пластовою водою, хвильовий вплив здійснювався двома акустичними випромінювачами в діапазоні частот 50 Гц – 20 кГц з різницею в частоті 5%. Акустичні сигнали отримували одночасно двома різними способами – за допомогою геофона і сейсмодавача типу СВ 5 по двоканальній лінії і реєстрували на персональному комп'ютері програмою SpectraPLUS.

Як видно з рисунку 7 (а) в результаті роботи генераторів в пористому середовищі зареєстровано утворення низькочастотного коливання частотою 3 Гц, коливань випромінювання 70 і 73 Гц та кратних високочастотних складових з частотами 140, 143, 210 та 213 Гц. На рисунку 7 (б) представлено діапазон зміни в часовому інтервалі амплітуд результуючого коливання, яке включає вказані вище частоти.

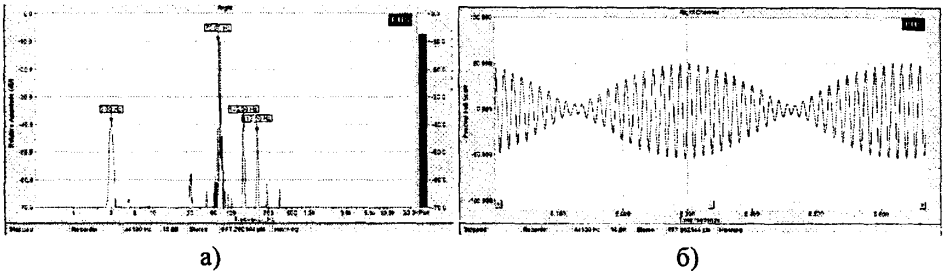


Рисунок 7 – Спектральний розклад пружних коливань (а) та зміна амплітуди в часі (б) в насиченому пористому середовищі при випромінюванні відмінних частот 70 Гц і 73 Гц з утворенням різницевої низькочастотної хвилі

В зв'язку з тим, що продуктивні пласти більшості родовищ представлені, в основному, низькопроникними колекторами, проведено експериментальні дослідження з вивчення руху рідини в капілярі та впливу на нього пружних коливань. Встановлено, що хвильовий вплив призводить до збільшення швидкості руху, що дає підстави припускати аналогічний ефект в пористому середовищі. Також отримано залежності між витратою рідини через капіляр діаметром 4 мм та частотою пружних коливань діапазону 22 - 45 Гц на стінки капіляра для води та водних розчинів КМЦ з в'язкістю від 1 до 10 мПа·с. Нижче наведено кореляційну залежність між витратою та частотою і в'язкістю:

$$Q(f, \mu) = 0,0157 \cdot f - 0,1367 \cdot \mu + 1,3724, \quad (3)$$

де Q – витрата рідини через капіляр, $10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; f – частота, Гц; μ – в'язкість рідини, мПа·с.

Таким чином, проведені експерименти підтверджують результати виконаних аналітичних досліджень та свідчать про ефективність та перспективність технологій інтенсифікації видобутку нафти і газу, які ґрунтуються на різночастотній імпульсно-хвильовій дії на продуктивні пласти.

У четвертому розділі висвітлено результати розробки технологій імпульсно-хвильового впливу на пласти та їх промислового випробування.

Розроблено технологію хвильової дії з використанням гирлового генератора, особливістю якої є можливість створення імпульсів тиску ударного типу та надійного і неперервного каналу їх передачі через рідинне середовище.

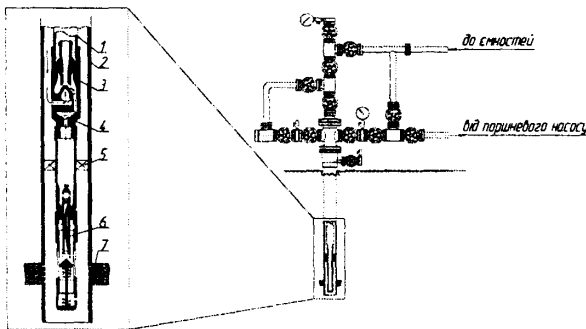
Запропоновано технологію імпульсної дії на пласт з використанням удосконаленого патентозахищеного вибійного пристрою з перекидним клапаном, в тому числі з одночасною роботою струминного апарату в процесі освоєння свердловини.

Розроблено технологію різночастотного впливу на продуктивні пласти, під час якої використовується пристрій з двома або більше випромінювачами, котрі генерують високочастотні коливання з різницею в частотах до 5%. Пружні коливання кожного з випромінювачів розповсюджуються в насиченій гірській

породі і внаслідок суперпозиції хвиль відбувається биття відмінних частот, що призводить до утворення низькочастотної пружної хвилі. За рахунок високого ступеня поглинання хвиль породою, високочастотні хвилі поглинаються на невеликій віддалі, а низькочастотна хвиля, з меншим ступенем поглинання, здатна впливати на віддалену ділянку пласта. Нова технологія передбачає можливість регулювання частот коливань та змінну віддаль між випромінювачами, що дає можливість диференційованого впливу на ближню та віддалену зону пласта.

В умовах розробки нафтогазових родовищ при переважаючому гравітаційному режимі на глибинах до 500 метрів, доцільним є використання поверхневих пристроїв генерації імпульсів пружних коливань. Впровадження технології різночастотного імпульсно-хвильового впливу на пласт із використанням гирлового генератора здійснювалось на Луквинському нафтовому родовищі (ділянка Кубаш). Продуктивні пласти на даній ділянці залягають на глибинах від 120 до 200 метрів і розробляються на гравітаційному режимі. Імпульсно-хвильова дія була проведена в свердловині 1 Кубаш. Гирлова установка працювала з частотою імпульсів 0,6 Гц, в спектральному розкладі виділялись гармонічні складові з максимальною енергією коливань частотою 10-100 Гц. В результаті хвильового впливу дебіт свердловини 3 Кубаш збільшився з 0,007 до 0,023 м³/добу.

Впровадження технології впливу на пласт із використанням вибійних генераторів імпульсів тиску (рисунок 8) в свердловині 8 Ст. Самбір ТОВ “Західенергобуд” призвело до збільшення дебіту нафти за контрольними замірами з 3 до 6 м³/добу, а в свердловині 1-Семаківська Калуської НГРЕ – до успішного її освоєння.



- 1 – НКТ, 2 – обсадна колона, 3 – струминний насос, 4 – зворотній клапан, 5 – пакер,
6 – гідроімпульсний пристрій, 7 – пласт

Рисунок 8 – Технологічна схема різночастотного імпульсно-хвильового впливу на пласт

Результати впровадження розроблених технічних засобів та технологій показують їх ефективність та перспективність впровадження в нафтогазовидобувних та нагнітальних свердловинах вітчизняних родовищ, особливо тих, які знаходяться на пізній стадії розробки.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень процесів імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи удосконалено технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів шляхом різночастотного імпульсно-хвильового впливу на пласт. Одержано наступні основні результати.

1. Отримано рівняння різночастотної суперпозиції циліндричних пружних хвиль в флюїдонасиченому середовищі та вперше встановлено раціональні параметри додаткового градієнту тиску в пласті, отриманого в результаті їх взаємодії та залежність глибини оброблення пласта від відстані між джерелами коливань за різних частот випромінювання. Вперше експериментально підтверджено утворення низькочастотної хвилі биття внаслідок взаємодії високочастотних хвиль діапазону 50 Гц – 20 кГц з різницею в частоті до 5% в умовах насипної насиченої моделі пласта.

2. Експериментально досліджено характер зміни меніску на межі нафта-вода внаслідок дії пружних коливань та проведено теоретичну оцінку їх впливу на динамічну зміну капілярного тиску. Експериментальними дослідженнями встановлено, що вплив пружними коливаннями інтенсивністю $0,01 \text{ Вт/см}^2$ під час фільтрації нафтоводяної суміші в насипній моделі пласта призводить до збільшення фазової проникності для нафти в'язкістю 50 мПа·с на 25 %, а після повного обводнення продукції, дія такими коливаннями призводить до додаткового вилучення залишкової нафти на 5-11%.

3. Теоретичними дослідженнями встановлено, що під час розробки нафтових родовищ внаслідок впливу пружними коливаннями з діапазоном частот 50-500 Гц буде проявлятися ефект додаткового розгазування нафти, в тому числі і в умовах повного виділення з неї газу за даного пластового тиску. Експериментальними дослідженнями на моделі керна підтверджено, що хвильова дія цього ж діапазону частот призводить до збільшення інтенсивності газовиділення в дегазованій за даного тиску нафті та збільшення тиску в модельному середовищі на 3-6 кПа.

4. Виконано теоретичні дослідження залежності початкової напруги зсуву колоїдно-дисперсних систем від проникності пласта з використанням експериментальних даних Горбачева Ю.И. та Кузнецова О.Л. та встановлено, що одночасна дія гідродинамічного градієнту тиску та градієнту тиску, який виникає внаслідок хвильового впливу, призводить до подолання граничної напруги зсуву колоїдно-дисперсних систем.

5. Встановлено, що вплив пружними коливаннями на процес руху рідини в капілярі призводить до збільшення швидкості руху, що дає підстави припускати аналогічні ефекти в пористому середовищі.

6. Розроблено технології з використанням оптимальних частот та амплітуд коливань, які забезпечать додаткове розгазування нафти та збільшення фазової проникності для нафти в умовах обводнення пласта. Також розроблено технології різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи з використанням пристроїв з декількома випромінювачами, в тому числі

різномісними, які дозволяють диференційовано обробляти ближню та віддалену зони пласта.

7. Технології впроваджено в свердловинах ТОВ “Капітал Ойл Україна”, Калуської НГРЕ та ТОВ “Західенергобуд”. Після застосування імпульсно-хвильових технологій в свердловині 8 Ст. Самбір ТОВ “Західенергобуд” дебіт нафти за контрольними замірами збільшився з 3 до 6 м³/добу, в свердловині 3 Кубаш Луквинського нафтового родовища ТОВ “Капітал Ойл Україна” – з 0,007 до 0,023 м³/добу, а свердловина 1-Семаківська Калуської НГРЕ була успішно освоєна.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бажалук Я.М. Дослідження акустичних властивостей менілітових відкладів / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак та інші. // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4(9). – С.53-56.

2. Бажалук Я.М. Експериментальні дослідження впливу пружних коливань на умови фільтрації газоводяної суміші в пласті / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак та інші. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4(29). – С. 45-49.

3. Бажалук Я.М. Удосконалення технічних засобів імпульсно-хвильової дії на нафтоносні пласти / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак та інші. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 1(34). – С. 10-13.

4. Бажалук Я.М. Дослідження впливу пружних коливань на проби нафти та нафтонасичені насипні моделі пласта / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак, Я.Д. Климишин // Нафтогазова енергетика. – 2011. – № 1(14). – С.11-14.

5. Гутак О.І. Експериментальні дослідження впливу пружних коливань на зміну фільтрації нафтоводяної суміші / О.І. Гутак // Науковий вісник. – 2011. – № 3(29). – С. 53-56.

6. Бажалук Я.М. Увеличение отбора нефти путем воздействия на пласты пакетами упругих колебаний / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, А.И. Гутак и др. // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". – 2012. – №3. – С. 185-198.

7. Пат. 49776 Україна, МПК Е 21 В 43 / 24, Імпульсний генератор / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І. та ін., патентовласник ІФНТУНГ. – № u200911972, заявл. 23.11.09; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.

8. Пат. 45496 Україна, МПК Е 21 В 43 / 24, Пристрій для створення періодичних імпульсів тиску / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І. та ін., патентовласник ІФНТУНГ. – № u200906132, заявл. 15.06.09; опубл. 10.11.09, Бюл. № 21.

9. Пат. 54283 Україна, МПК Е 21 В 43 / 24, Спосіб підвищення нафтовилучення із виснажених нафтових пластів / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І. та ін., патентовласник ІФНТУНГ. – № u201002424, заявл. 04.03.10; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.

10. Пат. 92517 Україна, МПК Е 21 В 43 / 24, Спосіб розробки нафтових родовищ / заявники Бажалук Я.М.; Карпаш О.М.; Гутак О.І. та ін., патентовласник ІФНТУНГ. – № а200811750, заявл. 02.10.08; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.

11. Гутак О.І. Підвищення нафтовилучення із пластів в умовах розробки родовища у режимі розчиненого газу / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак та інші. // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції "Економічне відродження України". – м. Київ, 22 травня 2009. – С. 18-19.

12. Гутак О.І. Експериментальні дослідження впливу імпульсно-хвильових дій на процеси розгазування нафти / Я.Б. Тарко, Я.М. Бажалук, О.І. Гутак та інші. // Анотації міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи". – м. Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009. – С. 50.

13. Гутак О.І. Дослідження розгазування нафти в насипних моделях пласта / О.І. Гутак // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції "Науково-практичний досвід – 2011". – м. Миколаїв, 17 травня 2011. – С. 84-85.

14. Гутак О.І. Дослідження впливу пружних коливань на зміну фільтрації нафтоводяної суміші в насипній моделі пласта / Я.Б. Тарко, Я.М. Бажалук, О.І. Гутак, Я.Д. Климишин // Анотації міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика – 2011". – м. Івано-Франківськ, 10-14 жовтня 2011. – С. 36.

15. Тарко Я.Б. Використання пружних коливань для інтенсифікації видобутку вуглеводнів / Я.Б. Тарко, О.І. Гутак // Анотації міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології буріння свердловин, видобування нафти і газу та підготовки фахівців нафтогазової галузі". – м. Івано-Франківськ, 3-6 жовтня 2012. – С. 268-269.

АНОТАЦІЯ

Гутак О.І. Удосконалення технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів шляхом різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06 – розробка нафтових та газових родовищ. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2012.

Дисертація присвячена проблемі удосконалення технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів імпульсно-хвильовими методами впливу на нафтогазонасичені породи.

У роботі проведено дослідження механізму розповсюдження акустичних хвиль різних частот в насичених середовищах, характерних для родовищ нафти і газу. Отримано рівняння різночастотної суперпозиції циліндричних пружних хвиль, описано явище утворення різницевої низькочастотної хвилі биття та проведено оцінку їх впливу на продуктивний пласт в залежності від частот та віддалі між випромінювачами. Експериментально підтверджено утворення

низькочастотної хвилі внаслідок взаємодії високочастотних хвиль діапазону 50 Гц – 20 кГц з різницею в частоті до 5% в умовах насипної насиченої моделі пласта.

Досліджено характер зміни меніску на межі поділу двох фаз внаслідок дії пружних коливань, проведено теоретичну оцінку їх впливу на динамічну зміну капілярного тиску. Встановлено, що вплив пружними коливаннями інтенсивністю $0,01 \text{ Вт/см}^2$ під час фільтрації нафтоводяної суміші в насипній моделі пласта призводить до збільшення фазової проникності для нафти в'язкістю 50 мПа·с на 25 %, а після повного обводнення продукції, дія такими коливаннями призводить до додаткового вилучення залишкової нафти на 5-11%.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено, що періодичне збільшення та зменшення тиску в пласті, яке виникає внаслідок впливу пружними коливаннями, призводить до додаткового розгазування нафти, в тому числі за умови повного виділення газу при поточному пластовому тиску.

Встановлено, що вплив пружними коливаннями на процес руху рідини в капілярі призводить до збільшення швидкості руху, що дає підстави припускати аналогічний ефект в пористому середовищі.

Розроблено технології різночастотного імпульсно-хвильового впливу на нафтогазонасичені породи з використанням пристроїв з декількома випромінювачами, в тому числі різночастотними, які дозволять диференційовано обробляти ближню та віддалену зони пласта, досягаючи при цьому додаткового розгазування та збільшення фазової проникності для нафти в умовах обводнення пласта. Промислові випробування розроблених технологій підтвердили їх ефективність та перспективність широкого впровадження в нафтогазовидобувних свердловинах.

Ключові слова: нафта, газ, технологія, пристрій, пласт, свердловина, пружна хвиля, частота, акустичний тиск.

АННОТАЦІЯ

Гутак А.И. Усовершенствование технологии интенсификации добычи углеводородов путем разночастотного импульсно-волнового воздействия на нефтегазонасыщенные породы. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 - разработка нефтяных и газовых месторождений. - Иванов-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Иванов-Франковск, 2012.

Диссертация посвящена проблеме усовершенствования технологии интенсификации добычи углеводородов импульсно-волновыми методами воздействия на нефтегазонасыщенные породы.

В работе проведено исследование механизма распространения акустических волн различных частот в насыщенных средах, характерных для месторождений нефти и газа. Получено уравнение разночастотной суперпозиции цилиндрических упругих волн, описано явление образования разностной низкочастотной волны

бияния и проведена оценка их влияния на продуктивный пласт в зависимости от частот и расстояния между излучателями.

Экспериментально подтверждено образование низкочастотной волны вследствие взаимодействия высокочастотных волн диапазона 50 Гц - 20 кГц с разницей в частоте до 5% в условиях насыпной насыщенной модели пласта. Акустические сигналы получали одновременно двумя способами - с помощью геофона и сейсмодатчика типа СВ 5 по двухканальной линии и регистрировали на персональном компьютере программой SpectraPLUS.

Проведена оценка градиента давления при волновом воздействии, который возникает в призабойной зоне пласта в процессе фильтрации флюида. Нефти многих месторождений характеризуются повышенным содержанием высокомолекулярных парафиновых углеводородов, которые с изменением термобарических условий кристаллизуются в твердую фазу, в результате чего образуются сложные коллоидно-дисперсные системы, которые приобретают вязкопластические свойства. Установлено, что одновременное действие гидродинамического градиента давления и акустического градиента давления, приводит к преодолению предельного напряжения сдвига коллоидно-дисперсных систем, причём, при длительном волновом воздействии частично разрушается их структура и снижается предельное напряжение сдвига.

Исследовано характер изменения мениска на границе двух фаз вследствие воздействия упругих колебаний, проведено теоретическую оценку их влияния на динамическое изменение капиллярного давления. Установлено, что влияние упругими колебаниями интенсивностью $0,01 \text{ Вт/см}^2$ при фильтрации нефтеводяной смеси в насыпной модели пласта приводит к увеличению фазовой проницаемости для нефти вязкостью 50 мПа·с на 25 %, а после полного обводнения продукции, действие такими колебаниями приводит к дополнительному извлечению остаточной нефти на 5-11%.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что периодическое увеличение и уменьшение давления в пласте, которое возникает вследствие воздействия упругими колебаниями, приводит к дополнительному разгазированию нефти, в том числе при условии полного выделения газа при текущем пластовом давлении. Установлено, что влияние упругими колебаниями на процесс движения жидкости в капилляре приводит к увеличению скорости движения, что даёт основания предполагать аналогичный эффект в пористой среде. Получено зависимости между расходом жидкости через капилляр диаметром 4 мм и частотой упругих колебаний диапазона 22 - 45 Гц на стенки капилляра для воды и водных растворов КМЦ с вязкостью от 1 до 10 мПа·с.

Разработаны технологии разночастотного импульсно-волнового воздействия на нефтегазонасыщенные породы с использованием устройств с несколькими излучателями, в том числе разночастотными, которые позволят дифференцированно обрабатывать ближнюю и отдаленную зоны пласта, достигая при этом дополнительного разгазирования и увеличение фазовой проницаемости для нефти в условиях обводнения пласта. Промышленные испытания

разработанных технологий подтвердили их эффективность и перспективность широкого внедрения в нефтегазодобывающих скважинах.

Ключевые слова: нефть, газ, технология, устройство, пласт, скважина, упругая волна, частота, акустическое давление.

ABSTRACT

Gutak A. I. Improvement and Intensification of Hydrocarbons Extraction Technology by Acting of Various Frequencies on Oil and Gas Saturated Rocks. - The manuscript.

Thesis of the Candidate of Technical Sciences scientific degree gaining according to the major 05.15.06 - Development of Oil and Gas Fields. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2012.

The thesis is devoted to the problem of improvement enhanced hydrocarbons recovery technology using the pulse-wave treatments in the oil and gas saturated rocks.

Evaluation study of the different frequencies acoustic waves propagation mechanism in saturated environments typical for oil and gas was presented in the paper. The equation of different frequency interference of cylindrical elastic waves in the reservoir and an assessment of their impact was obtained. The phenomenon of the difference low-frequency waves beating formation and assessed their impact on the productive layer, depending on the frequency and distance between the emitters, was described. The formation of low-frequency waves by the interaction of high-frequency waves in the range of 50 Hz - 20 kHz with a difference in the frequency of 5% in sand packed saturated model was experimentally confirmed.

The variation of the meniscus on the two phase border due to the impact of elastic vibrations was investigated. Was determined the effect of elastic vibration treatment with intensity 0.01 W/cm^2 at filtering oil-and-water mixture in the sand packed model leads to increasing oil relative permeability at 25% for oil with viscosity of 50 mPa·s, and in case of full watering leads to additional remaining oil recovery at 5-11%.

Theoretical and experimental evaluations shows that as a result of elastic vibration treatment the effect of repetitive pressure increasing and decreasing leads to the additional oil degasification, including completely degassing at the current reservoir pressure. Effect of the elastic vibration treatment to the fluid flow process in the capillary leads to the velocity increasing was experimentally founded. It allows suggesting that similar effects take place in porous media.

The different frequencies pulse wave treatment technology on oil and gas saturated rocks using devices with several emitters, including different frequencies emitters, that will differentially handle near and remote well bore zone, which allows achieving additional degasification and oil relative permeability increasing in case of watering. Industrial tests of the developed technologies proved their effectiveness and promising wide introduction into the oil and gas wells.

Keywords: oil, gas, technology, device, layer, well, elastic wave, frequency, acoustic pressure.