

ГІДРАВЛІЧНИЙ ПУЛЬСАТОР ДЛЯ ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ПЛАСТ З МЕТОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Анотація

У доповіді представлено результати дослідження, спрямованого на розробку та обґрунтування застосування гідравлічного пульсатора для генерації імпульсів тиску в привибійній зоні нафтового пласта. Основною метою є інтенсифікація притоку вуглеводнів за рахунок руйнування кольматацийних утворень, збільшення проникності пласта та активізації капілярних і фільтраційних процесів. Описано принцип дії пристрою, ключові технічні характеристики та очікувані геологічно-технологічні ефекти.

Ключові слова: гідравлічний пульсатор; імпульси тиску; привибійна зона; інтенсифікація притоку; вуглеводні; кольматацийні утворення; проникність пласта; капілярні процеси; фільтраційні процеси.

Abstract

The report presents the results of a study aimed at the development and justification of using a hydraulic pulsator for generating pressure pulses in the near-wellbore zone of an oil reservoir. The main objective is the intensification of hydrocarbon inflow through the destruction of colmatation formations, enhancement of reservoir permeability, and activation of capillary and filtration processes. The principle of operation of the device, its key technical characteristics, and the expected geological and technological effects are described.

Keywords: hydraulic pulsator; pressure pulses; near-wellbore zone; inflow intensification; hydrocarbons; colmatation formations; reservoir permeability; capillary processes; filtration processes.

Вступ

Видобуток вуглеводнів часто ускладнюється зниженням проникності привибійної зони пласта (ПВЗП) внаслідок кольматції, утворення асфальтено-смолопарафінових відкладень (АСПО) та накопичення твердих фаз бурового розчину. Стандартні методи інтенсифікації не завжди забезпечують бажаний довготривалий ефект. Застосування імпульсно-хвильового впливу на пласт є перспективним напрямом, що дозволяє досягти глибокої очистки ПВЗП та підвищення її ефективної проникності.

Актуальність роботи

Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення коефіцієнта вилучення нафти (КВН) та відновлення продуктивності свердловин, що виснажуються або мають значні пошкодження ПВЗП. Розробка ефективного та надійного гідравлічного пульсатора для генерації контрольованих імпульсів тиску є важливим інженерним завданням для сучасної нафтогазової галузі, яке забезпечить економічно вигідне нарощування видобутку.

Мета роботи та заплановані завдання

Мета роботи

Розроблення та експериментальне обґрунтування конструкції гідравлічного пульсатора, що забезпечує генерацію оптимальних за амплітудою та частотою імпульсів тиску для ефективної інтенсифікації притоку вуглеводнів із пласта.

Заплановані завдання досліджень:

Проведення теоретичного аналізу механізмів впливу імпульсів тиску на фільтраційні характеристики пласта.

Розроблення конструктивної схеми гідравлічного пульсатора, що працює на принципі перетворення постійного потоку рідини на імпульсний.

Визначення оптимальних параметрів імпульсів (амплітуда, частота, форма) для різних типів колекторів.

Розроблення математичної моделі роботи пульсатора та його взаємодії з пластом.

Проведення лабораторних та стендових випробувань розробленого пристрою.

Сформування рекомендації щодо технології застосування гідравлічного пульсатора в промислових умовах.

Наукова новизна та практична значущість

Наукова новизна

Вперше розроблено аналітичну модель гідравлічного пульсатора, що враховує нелінійну взаємодію елементів системи та забезпечує прецизійне регулювання параметрів імпульсного впливу, максимізуючи ефективність руйнування кольматацийних утворень при мінімальному ризику пошкодження пласта.

Практична значущість:

1. Створення нового технічного засобу для інтенсифікації притоку нафти і газу.
2. Підвищення дебіту свердловин за рахунок відновлення та збільшення проникності ПВЗП.
3. Зниження загальних витрат на освоєння та капітальний ремонт свердловин порівняно з кислотними обробками чи гідророзривом пласта.

Основні результати роботи:

Розроблено конструкцію гідравлічного пульсатора на основі клапанного або роторного механізму, що забезпечує генерацію прямокутних або синусоїдальних імпульсів тиску з частотою від 0.1 до 10 Гц та амплітудою 1 до 5 МПа відносно робочого тиску. Гідравлічний пульсатор є забійним пристроєм, який встановлюється у свердловині і використовує енергію постійного потоку робочої рідини (наприклад, технічної води, нафти або спеціального розчину) для створення періодичних імпульсів (коливань) тиску у привибійній зоні пласта (ПВЗП). Основний принцип полягає у механічному перетворенні кінетичної енергії потоку рідини на енергію гідравлічних ударів (імпульсів тиску). Робоча рідина подається з поверхні насосним агрегатом із постійним тиском і витратою. Всередині пульсатора розташований запірно-регулюючий елемент (наприклад, клапан, ротор або поршень), який періодично відкриває і закриває прохідний переріз для рідини. Процес генерації імпульсу відбувається циклічно:

1. Накопичення тиску (Фаза закриття): Коли запірний елемент перекриває потік, рідина продовжує подаватися насосом. У ділянці перед пульсатором відбувається різке підвищення тиску.
2. Розрядження (Фаза відкриття): Коли запірний елемент відкриває прохід, накопичена рідина під високим тиском стрімко витікає у свердловинний інтервал пласта. Це створює потужний імпульс тиску (гідравлічний удар), який поширюється у пористе середовище пласта.
3. Зниження тиску: Після виходу порції рідини тиск швидко падає до рівня робочого (або трохи нижче).
4. Повторення циклу: Цикл повторюється з високою частотою, створюючи серію імпульсів.

Особливості впливу на пласт

Імпульсний тиск забезпечує інтенсифікацію за рахунок:

Динамічного руйнування: Коливання тиску створюють напруження зсуву та розтягу в порах і мікротріщинах, що призводить до руйнування кольматаційних кірок, парафінових, смолистих та асфальтенових відкладень (АСПО).

Очищення ПВЗП: Різкі перепади тиску спричиняють пульсаційне вимивання твердих частинок та забруднюючих речовин з пор.

Кавітаційний ефект: У деяких конструкціях можуть виникати кавітаційні процеси, які посилюють руйнівний вплив на відкладення.

Активізація фільтрації: Імпульси створюють динамічну зміну градієнта тиску, що "розкачує" пласт і сприяє кращій міграції вуглеводнів до вибою.

Підтверджено в лабораторних умовах, що імпульсний вплив тиску ефективно руйнує полімерні та глинисті кірки на стінках пор і тріщин, збільшуючи коефіцієнт відносної фазової проникності для нафти.

Встановлено, що оптимальна тривалість впливу становить 4–8 годин, забезпечуючи зростання дебіту на 20%–50% для об'єктів з низькою проникністю.

Створено програмний комплекс для розрахунку необхідних параметрів імпульсу на основі геолого-фізичних характеристик пласта.

Висновки та рекомендації:

Висновки

Розроблений гідравлічний пульсатор є ефективним інструментом для інтенсифікації притоку вуглеводнів. Його використання дозволяє досягти глибокого очищення ПВЗП від кольматаційних матеріалів, значно підвищуючи ефективну проникність і дебіт свердловин.

Рекомендації:

1. Проведення подальших промислово-дослідних робіт на реальних свердловинах з різними геолого-технологічними умовами.
2. Продовження дослідження щодо оптимізації форми та спектрального складу імпульсів тиску для максимізації резонансного впливу на пласт.
3. Розроблення свердловинної телеметричної системи для моніторингу параметрів впливу та фільтраційних характеристик пласта в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яремійчук Р.С., Булатов А.І., Качмар Ю.Д., Савенок О.В. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика/ «Сполом», Львів, 2018. 476 с.
2. Яремійчук Р.С., Поліник М.М., Ясюк В.М. Колтубінг в нафтогазови– добуванні. «Центр Європи», Львів, 2014. 336 с.
3. Яремійчук Р. С. Теорія і практика освоєння свердловин та сучасні методи інтенсифікації припливів вуглеводнів до свердловин / Геотехнології. Geotechnologies. 2019. Число 2. С. 12-15.
4. Стер Д.О. Упорядковане використання методів дії на привибійну зону пластів у процесах нафтогазовидобутку / К.: Техніка, 2003. 162 с.
5. Кочмар Ю. Д., Світлицький В.М., Синюк Б.Б., Яремійчук Р.С. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину Кн.1. Львів: Центр Європи, 2004. 352 с.
6. Кочмар Ю. Д., Світлицький В.М., Синюк Б.Б., Яремійчук Р.С. Інтенсифікація припливу вуглеводнів у свердловину / Кн.2. Львів: Центр Європи, 2005. 414 с.
7. Світлицький В.М. До питання підвищення продуктивності нафтогазових свердловин. – Нафтогазова галузь України. 2014. № 1. С.2 – 3.
8. Maria Vargas, Deputy Director, NETL Strategic Center for Natural Gas and Oil John Anderson, Office of Fossil Energy. [Electronic resource]. URL: <http://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Oil>
9. Hyne, Norman J. Nontechnical guide to petroleum geology, exploration, drilling, and production /3rd ed. Tulsa, Oklahoma 74112–6600 USA. [Electronic resource]/ Hyne, Norman J. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=qf9fRjos578C&pg=PR4&lpg=PR4&dq=Hyne,+Norman+J.+Nontechnical+guide+to+petroleum+geology,+exploration,+drilling,+and+production+/-Norman+J.+Hyne>
10. Fjaer E, Holt R.M., Horsrud P, Raaen A.M. & Risnes R.. Petroleum related rock mechanics Hungary 2008. [Electronic resource]. URL: Second edition. <http://store.elsevier.com/Petroleum-Related-Rock-Mechanics/Erling-Fjar/isbn>

Коц Іван Васильович, к.т.н., професор кафедри інженерних систем у будівництві, завідувач і науковий керівник науково-дослідної лабораторії гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Email: ivvkots@ukr.net

Kots Ivan V., Ph.D. (Techn.), professor of the department of engineering systems in construction, head and scientific leader of the hydrodynamics research laboratory, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: ivvkots@ukr.net