Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2 (2010 3) 154-158
~ ~ ~

УДК 622. 276

Анализ гидродинамического воздействия на призабойную зону нефтеносного пласта

В.И. Марьянчик*, А.В. Минеев
Сибирский федеральный университет
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный 79 [1]

Received 7.05.2010, received in revised form 28.05.2010, accepted 8.06.2010

Статья посвящена решению актуальной задачи по повышению эффективности гидродинамического воздействия на призабойную зону пласта с целью увеличения притока нефти к скважине.
Рассматривается процесс распространения гидравлического импульса в нефтяном коллекторе и условие, при котором воздействие гидравлических импульсов на призабойную зону пласта будет эффективным. При этом учитываются физические особенности нефтяного коллектора и технологические параметры работы гидродинамического пульсатора давления.

Ключевые слова: скважина, дебит, проницаемость, гидравлический импульс, кольматация, депрессия, репрессия.

Введение

В настоящее время крупные месторождения находятся на поздней стадии разработки, и применение традиционных технологий извлечения невыработанных запасов может быть экономически нецелесообразным. Вследствие этого значительные объемы запасов окажутся не вовлеченными в промышленную разработку. Это относится к трудноизвлекаемым запасам, содержащимся в застойных зонах не дренируемых существующей сеткой скважин.

Следует отметить, что возможности гидродинамических методов воздействия на пласт для повышения нефтеизвлечения и в целом для повышения технико-экономической эффективности разработки ограничены.

Одним из наиболее рациональных направлений улучшения выработки трудноизвлекаемых запасов является переход на принципиально новые системы разработки месторождений с временным применением гидродинамических и третичных методов увеличения нефтеизвлечения, которые обеспечивают эффективное дренирование и перспективны для повышения не только производительности скважин, но и величины нефтеизвлечения пластов.

Мировой и отечественный опыт применения методов увеличения нефтеизвлечения показывает, что их применение позволяет значительно улучшить текущие технологические по-

* Corresponding author E-mail address: maryanchikvi@mail.ru
[1] © Siberian Federal University. All rights reserved

казатели разработки низкопроницаемых коллекторов, а в некоторых случаях – перевести забалансовые запасы нефти в балансовые.

В настоящее время еще не исследованы многие вопросы, связанные с полнотой нефтеизвлечения при разработке месторождения с применением гидродинамических и третичных методов увеличения нефтеизвлечения, с выбором рациональных систем и режимов разработки. Отсутствуют адекватные геолого-гидродинамические модели, позволяющие моделировать системы разработки с применением методов увеличения нефтеизвлечения.

Известно множество методов интенсификации притоков. На большинстве месторождений применяется тот или иной метод или комплекс методов. Выбор метода зависит от характеристики и состояния коллектора.

Снижение уровня свабированием, воздействие на пласты переменными давлениями репрессия-депрессия, соляно-кислотные обработки недостаточно эффективны, так как носят статический характер с приложением минимальных энергий одностороннего направления.

Технология интенсификации притоков жидких углеводородов (нефти) гидравлическими импульсами высоких энергий (ГИВЭ) обеспечивает большую амплитуду и частоту приложения гидравлических сил переменного направления на частицы кольматанта в условиях репрессии-депрессии с преобладанием величины депрессии над репрессией, то есть с преимущественным направлением давления из пласта в скважину. Таким образом, на кольматант воздействуют высокой энергией, что способствует движению твердых частиц по фильтрационным каналам в скважину, очистке от них ПЗП, увеличению проницаемости ПЗП и производительности скважин.

При этом важным фактором, приводящим к росту фильтрационных характеристик пород коллектора при использовании гидродинамического пульсатора, является импульсный возвратно-поступательный характер воздействия на пласт перекачиваемой жидкости. Импульс давления на первом этапе направляет рабочую жидкость в пористую среду, а на втором этапе жидкость движется обратно. Такое многократное возвратно-поступательное движение рабочей жидкости с нефтью (либо водонефтяной эмульсией) отмывает различные отложения в пористой породе.

ГИВЭ может применяться и с прямо противоположной целью – уменьшения проницаемости ПЗП, например, при консервации продуктивного пласта, при установке раздельных экранов в интервалах газоводонефтяных контактов, а также при изоляции интервалов пластов, поглощающих буровой раствор во время бурения скважины. Для достижения этих целей применяют тампонажные смеси с инертными или карбонатными наполнителями.

Анализ гидродинамического воздействия

Продуктивная залежь (коллектор), представляющая собой газожидкостную двухфазную среду, находящуюся в упругом состоянии в термобарических условиях пласта, слоиста, при этом каждый слой имеет свою частоту чередования (нелинейная система).

В коллекторе постоянно идут незатухающие колебания, поддерживаемые внешними источниками энергии (солнечно-лунные приливы, удаленные землетрясения и т.д.).

Совокупность направлений, в которых распространяется поле упругих колебаний, определяется направляющими свойствами коллектора, в частности, его расчлененностью, а его затухание определяется резонансными свойствами каждого слоя.

Гидродинамический пульсатор давления предназначен для обработки ПЗП с целью увеличения притока углеводородов к скважине, исключительной особенностью является возможность регулирования параметров обработки: амплитуды и частоты гидравлических импульсов [1].

Рассмотрим взаимосвязь амплитуды и частоты с точки зрения оптимизации параметров гидроимпульсного воздействия на ПЗП с целью получения соответствующего критерия их выбора.

Оценим вначале градиент давления, создаваемый распространяющейся продольной волной:

$$\Delta P = \frac{\Delta p}{\lambda / 4} = \frac{4 \cdot \Delta p \cdot f}{C}, \tag{1}$$

где λ – длина волны нагрузки; Δp – амплитуда волны нагрузки; f – частота создаваемых гидравлических импульсов; C – скорость звука в жидкости.

Считая жидкость ньютоновской, воспользуемся уравнением Гагена-Пуазейля для распределения скорости течения флюида в каппиляре:

$$v(r) = \frac{1}{4 \cdot \mu} \cdot \left(r^2 - r_0^2\right) \cdot \Delta p, \tag{2}$$

где r – расстояние от оси капилляра; r_0 – радиус капилляра; μ – динамическая вязкость.

Касательное напряжение на стенке капилляра определяется соотношением Ньютона:

$$\tau_0 = \mu \cdot \frac{\partial v}{\partial r}.$$

Откуда, используя (2), получаем:

$$\tau_0 = \frac{r_0}{2} \cdot \Delta p. \tag{3}$$

Из (3) видно, что величина τ_0 для каждого отдельного капилляра будет определяться прежде всего его радиусом, так как градиент давления в любом элементарном физическом объеме постоянен. Представительство капилляров различного радиуса в указанном элементарном физическом объеме обусловлено видом функции плотности распределения капилляров по радиусам f(r), которая является наиболее важной характеристикой коллектора. Для дальнейших оценок будем использовать среднее значение радиуса поровых каналов коллектора:

$$< r >= \int_0^\infty r \cdot f(r) \cdot dr.$$

Соответственно на основании (3) получаем выражение для средней величины касательных напряжений на стенках капилляров в среде:

$$< \tau >= \frac{< r >}{2} \cdot \Delta p. \tag{4}$$

Для того чтобы на стенках капилляров произошло разрушение поверхностного слоя, образованного отложением кольматантов, необходимо выполнить условие:

$$< \tau > \geq \delta, \tag{5}$$

δ – предел прочности кольматанта на сдвиг.

Используя (1) и (4), из (5) выводим критерий эффективности гидроимпульсного воздействия:

$$\Delta p \cdot f \geq \frac{\delta \cdot C}{2 \cdot < r >}. \tag{6}$$

Полученный результат носит качественный характер, поскольку не учитывает некоторых особенностей процесса – например, вида функции f(r), возможной анизотропии пространственной ориентации проводящих каналов, зависимости от координаты величины δ = δ(X). Однако он отражает принципиально важный момент взаимосвязи амплитуды и частоты в достижении эффекта при реализации гидравлических импульсов в насыщенной пористой среде. Критерий (6) показывает, что для разрушения кольматирующих отложений на поверхности порового пространства коллектора необходимо, чтобы произведение амплитуды гидроимпульсов на частоту превысило некоторую предельную величину, которая определяется, прежде всего, прочностной характеристикой кольматанта (прочностью на сдвиг δ), а также свойствами пластового флюида (скорости звука в нем C) и структуры порового пространства (плотность распределения поровых каналов по радиусам f(r)).

Однако энергия, передаваемая в среду при прохождении волновых импульсов, пропорциональна:

$$E \sim (\Delta p \cdot f)^2. \tag{7}$$

Очевидно, что кольматант начнет разрушаться, когда энерговложение превысит некоторый рубеж *E*. Однако, собственно энергетическое рассмотрение не дает пока возможности установить численное значение критерия *E*, так как требует целого ряда предположений о характере диссипации энергии, о величинах констант термоупругих напряжений и т.д.

Интересно оценить характерный диапазон значений критерия (6):

$$K = \frac{\delta \cdot C}{2 \cdot < r >}. \tag{8}$$

Прочность на сдвиг глины составляет величину порядка 10^3 Па, а для бурового раствора она существенно ниже 10 Па [2], то есть будем считать, что δ лежит в пределах

$$10 \text{ Па} \leq \delta \leq 10^3 \text{ Па}. \tag{9}$$

Диапазон изменения среднего радиуса капилляров в поровых коллекторах от 10^{-2} до 10^3 мкм [3], весьма широк:

$$10^{-2} \text{ мкм} \leq < r > \leq 10^3 \text{ мкм}. \tag{10}$$

В результате, принимая в качестве скорости звука в пластовом флюиде величину $C = 10^3$ м/с, получаем

$$10^6 \text{ Па} \cdot \text{Гц} \leq K \leq 10^{12} \text{ Па} \cdot \text{Гц}. \tag{11}$$

Или, используя более привычную размерность атм = 10^5 Па:

$$10 \text{ атм} \cdot \text{Гц} \leq K \leq 10^7 \text{ атм} \cdot \text{Гц}. \tag{12}$$

Заключение

Соотношение (12) позволяет заключить, что гидродинамическая обработка ПЗП может быть эффективной лишь для крупнопоровых коллекторов (в частности для трещиноватых) либо на стадии освоения, когда кольматирующие отложения представлены буровым раствором со сравнительно низкой сдвиговой прочностью. Это связано с тем, что технологические особенности процесса устанавливают следующие границы параметров гидроимпульсного воздействия:

$$\Delta p \leq 10 \text{ атм}; f \leq 10^2 \text{ Гц}.$$

Следовательно, практический важный диапазон параметра К будет представлен областью вблизи левой границы неравенства (12):

$$10 \text{ атм} \cdot \text{Гц} \leq K \leq 10^3 \text{ атм} \cdot \text{Гц}. \quad (13)$$

Статья опубликована при поддержке Программы развития Сибирского федерального университета.

Список литературы

1. Марьянчик В.И. Гидродинамический пульсатор давления, АС № 2008128101 E21B28/00.

2. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 1007 с.: ил. С 416-418.

3. Иванова М.М., Чоловский И.П., Брагин Ю.И. Нефтепромысловая геология: Учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 414 с.: ил. С. 82.

Analysis of Hydrodynamic Processing to Well-Bottom Zone Oil-Bearing Layer

Vladimir I. Maryanchik, Aleksandr V. Mineev
Siberian Federal University
79 Svobony, Krasnoyarsk, 660041 Russia

Paper is devoted to solve main currency mission about increase efficiency of hydrodynamic processing to well-bottom zone of oil strata with main idea to improve well production.
Paper considers process of distribution hydrodynamic impulse in oil reservoir on conditions that hydrodynamic impulse processing to well-bottom zone of oil strata well be effective. Herewith, take into consideration properties of oil reservoir and technological parameters working-process of hydrodynamic pressure pulsator.

Keywords: well, production, permeability, hydrodynamic (fluid) impulse, mudding, depression, repression.