

УДК 622. 276

Анализ гидродинамического воздействия на призабойную зону пласта

В.И. Марьянчик*, А.В. Минеев

Сибирский федеральный университет

Институт нефти и газа

Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 82, стр. 6¹

Received 13.08.2012, received in revised form 20.08.2012, accepted 27.08.2012

Статья посвящена решению актуальной задачи по повышению эффективности гидродинамического воздействия на призабойную зону пласта с целью увеличения притока нефти к скважине.

Рассмотрены 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 процессе первичного вскрытия продуктивных пластов в условиях репрессии происходит ухудшение коллекторских свойств призабойной зоны пласта (ПЗП) вследствие кольматации его твердыми частицами. Это снижает добычные возможности скважин, увеличивает сроки ее испытания и освоения.

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 углеводородов 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.

ГИВЭ может применяться и с прямо противоположной целью – для уменьшения проницаемости ПЗП, например, при консервации продуктивного пласта, установке отдельных экранов

* Corresponding author E-mail address: maryanchikvi@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

в интервалах газоводонефтяных контактов, а также при изоляции интервалов, поглощающих буровой раствор пластов 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 (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 – резонансными свойствами каждого слоя.

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

Рассмотрим взаимосвязь амплитуды и частоты с точки зрения оптимизации параметров гидроимпульсного воздействия на ПЗП и получим соответствующий критерий их выбора.

Оценим вначале градиент давления, создаваемый распространяющейся продольной волной

$$\nabla P = \frac{\Delta p}{\lambda/4} = \frac{4 \cdot \Delta p \cdot f}{C}, \quad (1)$$

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 капилляре:

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

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

$$\tau_0 = \frac{r_0}{2} \cdot \nabla p. \quad (3)$$

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 определяется 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

$$\langle r \rangle = \int_0^{\infty} r \cdot f(r) \cdot dr.$$

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

$$\langle \tau \rangle = \frac{\langle r \rangle}{2} \cdot \nabla p. \quad (4)$$

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

$$\langle \tau \rangle \geq \delta, \quad (5)$$

где δ – предел прочности кольматанта на сдвиг.

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

$$\Delta p \cdot f \geq \frac{\delta \cdot C}{2 \cdot \langle r \rangle}. \quad (6)$$

Полученный результат носит качественный характер, поскольку не учитывает некоторых особенностей процесса – например, вида функции $f(r)$, возможной анизотропии пространственной ориентации проводящих каналов, зависимость от координаты величины $\delta = \delta(X)$. 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

$$E \sim (\Delta p \cdot f)^2 \quad E \sim \Delta p \cdot f^2. \quad (7)$$

И очевидно, что кольматант начнет разрушаться, когда энергозатрата 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):

$$K = \frac{\delta \cdot C}{2 \cdot \langle r \rangle}. \quad (8)$$

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

$$10 \text{ Па} \leq \delta \leq 10^3 \text{ Па}. \quad (9)$$

Диапазон изменения среднего радиуса капилляров в поровых коллекторах от 10^{-2} мкм до 10^3 мкм [2], или среднего раскрытия трещин в случае трещиноватого коллектора 10^{-2} мкм до 10 мм [3], весьма широк:

$$10^{-2} \text{ мкм} \leq r \leq 10^3 \text{ мкм.} \quad (10)$$

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

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

Или, используя более привычную размерность $\text{атм} = 10^5 \text{ Па}$,

$$10 \text{ атм} \cdot \text{Гц} \leq K \leq 10^7 \text{ атм} \cdot \text{Гц.} \quad (12)$$

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 K будет представлен областью вблизи левой границы неравенства (12):

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

Список литературы

- [1] Марьянчик В. И. А. с. 2008128101 (1972) // Б. И. 1973. № 11.
- [2] Оркин К. Г., Кучинский П. К. Физика нефтяного пласта. М.: Гостоптехиздат, 1955.
- [3] Еременко Н. А. Справочник по геологии нефти и газа. М.: Недра, 1984.

Analisis of Hydrodynamic Processing for Wellbottom Zone

Vladimir I. Maryanchik and Aleksandr V. Mineev
*Siberian Federal University
Oil and Gas Institute
building 6, 82 Svobodny Str., Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The article is devoted to solving the actual problem to improve the efficiency of the hydrodynamic effects on the bottom zone of the reservoir, to increase the flow of oil to the well. Considering the spread of momentum in the oil hydraulic reservoir and the condition under which the impact of hydraulic pulse of the bottomhole formation zone will be effective. This takes into account the physical characteristics of the oil reservoir and process parameters of the hydrodynamic pressure pulsator.

Keywords: well, flow rate, permeability, hydraulic impulse colmatation, depression, repression.
