

УДК 622.2

Хусаинов Исмагилян Гарифьянович, доцент, к.ф.-м.н.

(СФ БашГУ, г. Стерлитамак)

Khusainov Ismagilyan Garifyanovich, Associate professor, PhD of Physical and
Mathematical Sciences

(SB of BashSU, Sterlitamak)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА НЕФТЯНОГО ПЛАСТА С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

RESEARCH OF PROCESS OF HEATING OF THE OIL LAYER BY MEANS OF THE ACOUSTIC FIELD

Аннотация

Выполнено исследование воздействия акустическим полем на горную породу вокруг скважины с целью нагрева. Получена и изучена математическая модель, описывающая исследуемый процесс. Установлено, варьируя частотой и амплитудой волны, можно эффективно нагреть горную породу вокруг скважины.

Abstract

Research of influence by an acoustic field on rock around of a chink with the purpose of heating is executed. The mathematical model describing researched process is received and studied. It is established, varying frequency and amplitude of a wave, it is possible to heat up effectively rock around of a chink.

Исследование акустического воздействия на горную породу вокруг скважины представляет большой интерес для использования в различных технологических процессах, в частности, при эксплуатации газонефтяных скважин.

Снижение дебита эксплуатационных скважин во многом обусловлено уменьшением фильтрационных свойств в поровом пространстве горной породы в непосредственной близости от стенки скважины из-за выпадения парафина, солей или твердых частиц. Загрязнение породы происходит примерно до глубины 0,5 м, и это приводит к сильному снижению дебита скважины. Поэтому восстановление фильтрационных свойств породы именно в этой зоне может служить достаточным условием восстановления производительности скважин [1].

Для восстановления проницаемости призабойной зоны пласта применяют различные методы [2]: химические (кислотные обработки); меха-

нические (гидравлический разрыв пласта и с помощью импульсно-ударного воздействия и взрывов); тепловые (паротепловая обработка, электропрогрев) и их комбинирование. К числу менее энергоёмких и технологически легко осуществимых способов очистки призабойных зон относятся технологии связанные с использованием энергии волн акустического поля [3].

В данной работе рассмотрен процесс нагрева горной породы, насыщенной жидкостью, под воздействием акустических волн. Построена функция объемного источника тепла для горной породы. Проанализирована зависимость интенсивности нагрева среды от параметров волнового поля и параметров, определяющих состояние пористой среды.

Рассмотрим неоднородную пористую среду с пористостью m_1 и проницаемостью k_1 в первой зоне ($0 \leq x \leq a$) и с пористостью m_2 и проницаемостью k_2 во второй зоне ($a < x \leq l$). На границе $x = 0$ пористой среды действует источник гармонических волн давления.

Под действием источника волн давления жидкость будет совершать колебательные движения относительно скелета пористой среды. При описании исследуемого процесса будем считать, что пористый скелет несжимаем. Это допущение означает, что из-за слабого затухания «быстрых» волн, распространяющихся по скелету, тепловым эффектом для них можно пренебречь. При описании волновой и температурной задачи в системе будем считать, что температуры жидкости и скелета пористой среды в каждой точке совпадают. Полагается, что неоднородность температурного поля не влияет на акустическое поле давления (пренебрегаем влиянием температурных эффектов на акустические характеристики, определяемые вязкостью и сжимаемостью жидкости).

Закон сохранения массы жидкости при отсутствии источников массы запишем в форме

$$m_j \frac{\partial \rho_l}{\partial t} + \rho_{l0} \frac{\partial u}{\partial x} = 0. \quad (1)$$

Здесь ρ_l – возмущение плотности жидкости, ρ_{l0} – плотность жидкости, соответствующая невозмущенному состоянию, u – скорость фильтрации жидкости. Параметры с нижним индексом j соответствуют j -й зоне, при $0 \leq x \leq a$ $j = 1$, при $a < x \leq l$ $j = 2$.

В случае нестационарной фильтрации жидкости в уравнении движения необходимо учесть действие объемной силы трения

$$\rho_{l0} \frac{\partial u}{\partial t} = -m_j \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{m_j \mu}{k_j} u, \quad (2)$$

где p – возмущение давления в жидкости, μ – динамическая вязкость жидкости.

Уравнение состояния жидкости в пористой среде примем в виде

$$p = C_1^2 \rho_l. \quad (3)$$

Наличие источника гармонических волн давления на границе $x = 0$ записывается в виде следующего граничного условия:

$$p = A_p \cos \omega t, \quad x = 0, \quad t > 0. \quad (4)$$

Для границы $x = a$ запишем условия отсутствия скачка давления и скорости движения жидкости

$$[p] = 0, [u] = 0, \quad x = a. \quad (5)$$

Правая граница второй зоны высокопроницаемая:

$$p = 0, \quad x = l. \quad (6)$$

Под воздействием гармонических волн давления насыщающая пористую среду жидкость совершает колебательное движение относительно твердого скелета. За счет сил вязкости между жидкостью и скелетом энергия волны переходит в тепло. Средний приток тепла в единицу объема за единицу времени определяется по формуле [4]

$$Q(x) = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{\mu}{k} (\operatorname{Re}(u))^2 dt. \quad (7)$$

Здесь $\operatorname{Re}(u)$ - реальная часть от u . Величина скорости фильтрации жидкости определяется из решения системы уравнений (1)-(6).

Уравнение притока тепла в пористую среду, насыщенную жидкостью, с учетом объемного источника тепла, связанного с вязкостным затуханием акустического поля, запишем в виде

$$\rho_j c_j \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_j \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q(x), \quad (8)$$

$$\rho_j c_j = (1 - m_j) \rho_s c_s + m_j \rho_l c_l, \quad \lambda_j = \lambda_s (1 - m_j) + \lambda_l m_j.$$

Для каждой из зон объемный приток тепла $Q(x)$ определяется с помощью формулы (7).

Начальное условие и граничные условия имеют вид

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, x = 0; [T] = 0, \left[\lambda_j \frac{\partial T}{\partial x} \right] = 0, x = a, x = l, T = T_0, x \rightarrow \infty. \quad (9)$$

На основе выше предлагаемых уравнений проведены расчеты с целью анализа особенностей нагрева пористой среды, насыщенной водой, в зависимости от состояния системы, а также от характеристик акустического поля.

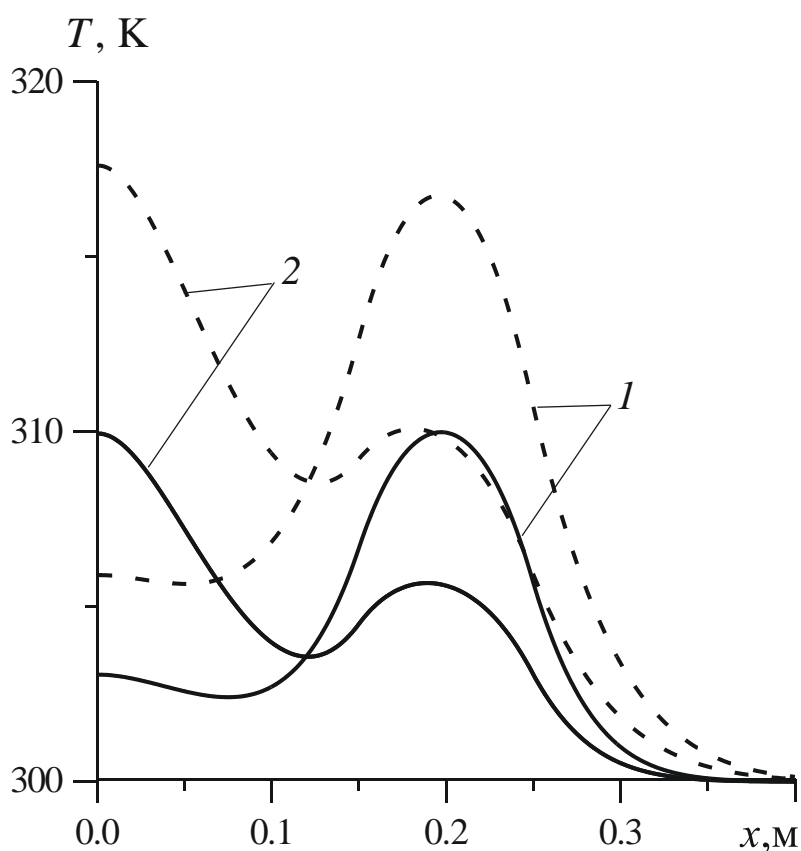


Рис. 1. Распределения температуры в неоднородной пористой среде после воздействия акустическим полем

На рис. 1 приведены распределения температуры в неоднородной пористой среде. Сплошные линии соответствуют двухчасовому воздействию акустическим полем на среду, а штриховые - четырехчасовому воздействию. Линиям 1 соответствуют параметры волны – $A_p = 1.023$ МПа, $\omega = 100$ с⁻¹, линиям 2 – $A_p = 0.778$ МПа, $\omega = 300$ с⁻¹. Ширина первой зоны равна $a = 0.15$ м, а второй – 0.10 м. Значение проницаемости для каждой зоны определялось с помощью формулы Козени [5]. Пористости зон име-

ют значения: $m_1 = 0.2$, $m_2 = 0.1$. Вычисленное значение проницаемости первой зоны почти на порядок больше по сравнению с проницаемостью второй зоны.

Из рис. 1 видно, что увеличение частоты волны не дает желаемого эффекта. Здесь основная часть затрачиваемой энергии уходит на нагрев ближней зоны. При частоте $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$ максимум температуры наблюдается не в ближней зоне, а внутри пористой среды в зоне с меньшей проницаемостью. Это дает основание утверждать, что с подводом акустического поля можно добиваться эффективного воздействия на засоренные области призабойной зоны с целью нагрева и плавления осевших на стенках пор парафина.

Список литературы

1. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. -М.: Недра, 1983, 221 с.
2. Крец, В.Г. Основы нефтегазового дела: учебное пособие / В.Г. Крец, А.В. Шадрин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 182 с.
3. Максимов Г. А., Радченко А. В. Роль нагрева при акустическом воздействии на пласт – Геофизика - № 6. - 2001.
4. Хусаинов, И.Г. Распределение температуры в однородной пористой среде при акустическом воздействии на призабойную зону / И.Г. Хусаинов, А.Г. Юмагузина // Проблема сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2003. – № 62. – С. 118-127.
5. Баренблатт, Г.И. Движение жидкостей и газов в природных пластах / Г.И. Баренблатт, В.М. Ентов, В.М. Рыжик. – М.: Недра, 1984. – 211 с.