

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕДОБЫЧИ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

О.А. Курасов

Научный руководитель - профессор, д.ф.-м.н. С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. Акустические методы стимулирования добычи нефти основаны на физических процессах, которые происходят или создаются в призабойной зоне скважины (ПЗС) под воздействием ультразвуковой (УЗ) интенсификации, основным из которых является нелинейное взаимодействие волны с жидкостью и породой проницаемого коллектора. УЗ, обеспечивающий стимуляцию процессов теплопереноса, помогает повысить производительность различных технических систем, снизить их энергоёмкость и улучшить качество конечного нефтяного продукта.

УЗ технологии, являясь одними из наиболее перспективных альтернативных методов воздействия на жидкость, наименее электрозатратными, экологически чистыми и безопасными средствами, способствуют изменению реологических свойств нефтей как в скважине, так и на поверхности: в процессах нефтеизвлечения и транспорта нефти, очистки нефтяного оборудования от различного вида загрязнений и отложений, удаления парафиновых УВ из керосиново-газойлевых и масляных фракций и повышению качества конечного нефтепродукта, путем его обессеривания и обезвоживания [1,6].

Успех применения акустической стимуляции призабойной зоны пласта из скважины зависит от величины пористости и проницаемости, динамической вязкости жидкости, величин пластовых давлений и температур, а также динамику дебита добывающих нефтяных скважин [1,5].

Цель исследования заключается в анализе современных методов АВ на процессы транспорта и добычи нефти, а также построении физико-математической модели, отражающей результативность и долговременный эффект теплового механизма при АВ на пористую среду и его влияния на технологические процессы.

Снижение интенсификации добычи нефтепродукта, а также рост доли добываемой высоковязкой нефти и ее дальнейший магистральный транспорт, обуславливают необходимость в создании и внедрении передовых технологий по АВ на ПЗС при решении проблем нефтегазового комплекса.

УЗ, воздействуя на тяжелую нефть, вызывает кавитационный эффект - образование «пузырьков-зародышей» и их последующее схлопывание в жидкой среде. Результатом такого процесса является разложение парафинов, что впоследствии приводит к изменению физико-химические свойства нефтяных дисперсных систем [4].

Моделирование. Одним из эффектов, экспериментально наблюдаемых в акустическом поле, является изменение динамической вязкости нефти, обусловленное разрушением циклических структур ввиду интенсивных колебаний. Другим - акустические потоки в жидкости, заключающиеся в передаче импульса волны поглощающей среде, который приводит флюид в движение [3].

Интенсивность УЗ, время обработки и частота возмущений - основные факторы, влияющие на темпы снижения динамической вязкости нефти, а температура испытания, режим работы излучателя волн и время расчётов являются вторичными факторами.

Предполагается, что в рамках рассматриваемой модели пластовый флюид, заполняющий пористую среду коллектора, состоит из фракций легких и тяжелых углеводородов (УВ). Концентрации фракций находятся в равновесном термодинамическом балансе, характеризующиеся равновесной концентрацией примеси C^* , которая, под действием акустической стимуляции или фильтрации, изменяется и приводит к стремлению текущей концентрации примеси C к ее равновесному значению (при условии изменения поля давления из-за возникновения разности пластового давления и давления у забоя скважины, т.е. депрессии на пласт во время разработки скважины) [2].

Акустическая стимуляция пласта из скважины приводит к росту равновесной концентрации примеси и ее преобладанию над текущей, в результате чего улучшается скорость фильтрации нефти в окрестности скважины и удаляются мешавшие фильтрации коагулированные частицы. Причина этого – разогревающий окружающую среду и сам флюид тепловой источник, распределенный в окрестности скважины, вследствие поглощения УЗ волн.

В рамках рассматриваемой модели поведения скорости притока флюида к скважине при акустическом воздействии (АВ) необходимо учитывать поведение флюида без акустической обработки и при условии волнового воздействия.

Линеаризованное по давлению уравнение для фильтрации пластовой жидкости примем в виде [1-6]:

$$m \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \operatorname{div} \frac{k \cdot \rho_0 \cdot c^2}{\eta} \cdot \operatorname{grad} P, \quad (1)$$

где η - коэффициент динамической вязкости флюида (Па·с), P - давление (МПа), ρ_0 - плотность флюида (кг/м³), c - скорость звука (м/с), m - пористость среды.

Уравнение для переноса концентрации тяжелых УВ примесей в пластовой жидкости используем в виде [1-6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C = \frac{1}{\tau_c} \cdot (C - C_*(P, T)) + D \Delta C, \quad (2)$$

где D - коэффициент диффузии ($\text{м}^2/\text{с}$), C - текущая концентрация примеси УВ ($1/\text{м}^3$), C_* - равновесная концентрация примеси ($1/\text{м}^3$), \vec{V} - скорость фильтрации (переноса) флюида ($\text{м}/\text{с}$), τ_c - время осаждения или растворения примеси (с).

Уравнение скорости изменения радиуса пор [1-6]:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot R \cdot \left(\frac{\rho_f^0}{\rho_s} \right) \cdot \left(\frac{C - C_*}{\tau_c} \right), \quad (3)$$

где R - радиус скважины (м), ρ_s - плотность твёрдой УВ фазы ($\text{кг}/\text{м}^3$), ρ_f^0 - начальная плотность жидкости ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Динамика изменения процесса «осаждения-растворения» примеси тяжелой фракции УВ при заданных температуре и давлении осуществляется по причине распространения температурного поля и его дальнейшей релаксации. Помимо этого, из-за малой скорости изменения пористости во времени, происходит изменение распределения поля давления в потоке пластового флюида при волновой стимуляции ПЗП из скважины. Апробация результатов осуществлялась с помощью погружного скважинного источника УЗ колебаний мощностью 1 кВт, расположенного ниже узла забора жидкости [2].

Обсуждение. На рисунке 1 отражено изменение распределения с некоторой плотностью в окрестности первого десятка сантиметров от скважины источников тепла, в условиях волнового воздействия источником УЗ колебаний в течении 10 часов, рассмотренное для упругой среды с поглощением и проницаемой среды Био, повышение температуры которого на небольшом удалении от скважины составило около 10°C .

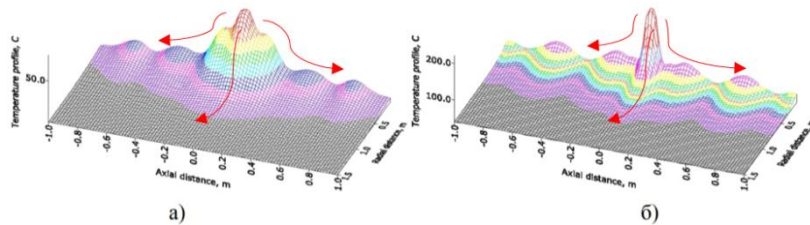


Рис. 1 Распределение температурного поля на расстоянии 0,5 м от скважины после 10 часовой обработки: а) упругая среда б) проницаемая среда Био (Максимов Г.А., Радченко А. В.) [2].

При рассмотрении модели проницаемой среды Био величина теплового прогрева призабойной зоны, превышающего сотен градусов, намного больше величины распределения температурного поля для упругой среды. С одной стороны, это должно обеспечить гораздо более интенсивное распространение тепловых источников и прогрев внешней среды, но опытно промышленные эксперименты не подтверждают этого. Одна из причин кроется в том, что в рамках этой модели при расчете диссипируемой акустической энергии нужно учитывать только открытую пористость, другая вызвана частичной перфорацией зоны между пластом и скважиной.

Рассматриваемая модель учитывает механизм медленной коагуляции в призабойном пространстве; следовательно, это также позволяет изучать альтернативные механизмы волновой стимуляции скважин [2].

Заключение. Ни один из ныне существующих физических способов повышения продуктивности ПЗП не был полностью изучен, несмотря на очевидную потребность в полевой геофизике, направленной на получение новых данных о составе и свойствах нефтяных ДС различной природы до и после акустической обработки ПЗС, по причине недостаточного понимания физических процессов, происходящих в пластах-коллекторах. На основании проведенного обзора можно сделать вывод, что с точки зрения эффективности, доступности и экономичности технологии АВ, позволяющие без значительных энергетических затрат перестраивать структуру вещества, являются наиболее перспективными в процессах интенсификации нефтедобычи. В связи с этим сравнительное исследование нефтяных дисперсных систем до и после УЗО представляет научный и практический интерес.

Литература

1. Ануфриев Р. В., Волкова Г. И. Влияние ультразвука на структурно-механические свойства нефтей и процесс осадкообразования //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2016. - Т. 327. - №. 10.
2. Максимов Г. А., Радченко А. В. Моделирование интенсификации нефтедобычи при акустическом воздействии на пласт из скважины //Акустический журнал. - 2005. - Т. 51. - №. 5. - С. 118-131.
3. Максимов Г. А., Радченко А. В. Роль нагрева при акустическом воздействии на пласт //Геофизика. - 2001. - №. 6. - С. 38-46.
4. Муллакаев М. С. и др. Изучение воздействия кавитации на реологические свойства тяжелой нефти //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2011. - №. 5. - С. 24-27.
5. Муллакаев М. С. и др. Ультразвуковая технология повышения продуктивности низкодебитных скважин //Нефтепромысловое дело. - 2012. - №. 4. - С. 25-32.
6. Муллакаев М. С. Ультразвуковая интенсификация технологических процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов //Дис. докт. техн. наук. Московский государственный университет инженерной экологии. М. - 2011.