

УДК 532.546:534.2

ПОВЫШЕНИЕ НЕФТЕОТДАЧИ АКУСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА

Музафаров А.С.

научный руководитель канд. физ.-мат. наук Хусаинов И. Г.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

Добыча нефти на поздней стадии разработки месторождения сопряжена с необходимостью решения проблемы расколотации призабойной зоны пласта. Снижения дебита эксплуатационных скважин во многом обусловлено уменьшением фильтрационных свойств в поровом пространстве пласта, в непосредственной близости от стенки скважины из-за выпадения парафина, солей или твердых частиц. Плотность такого компонента экспоненциально убывает по мере удаления от стенки скважины в пласт. Поэтому восстановление фильтрации именно в этой зоне может служить достаточным условием восстановления производительности скважин [1; с. 32, 2; с. 47]. Поддержание на стабильном уровне фильтрационных свойств зоны перфорации скважины может служить залогом полноценной выработки пласта и в конечном итоге, повышению нефтеотдачи пласта.

В последние годы отечественные и зарубежные исследователи уделяют значительное внимание акустическим методам повышения нефтеотдачи, как наиболее перспективным по своим техническим возможностям. Метод акустического воздействия является наиболее экономичным и экологически чистым. В основе метода акустического воздействия лежит ряд физических процессов действия интенсивного акустического поля на насыщенную пористую среду, которые вызывают в ней характерные нелинейные эффекты [3; с. 4]:

- повышение скорости фильтрации жидкой фазы относительно пористой среды на 25-90%;
- уменьшение сил поверхностного натяжения и разрушение двойного электрического слоя в капиллярах;
- увеличение теплопроводности.

Все это гарантирует эффективность технологии метода акустического воздействия при решении задачи восстановления проницаемости [4; с. 67, 5; с. 26].

Пусть на границе ($x = 0$) пористой среды, насыщенной жидкостью, действует источник гармонических волн давления. При описании волновой и температурной задачи в системе примем следующие допущения: температура жидкости и скелета пористой среды в каждой точке совпадают; пористый скелет несжимаемый. Последнее допущение означает, что из-за слабого затухания “быстрых” волн, распространяющихся по скелету, тепловым эффектом для этих волн можно пренебречь. Полагается, что неоднородность температурного поля не влияет на акустическое поле давления (пренебрегается влияние температурных эффектов на акустические характеристики, определяемое вязкостью и сжимаемостью) [6; с. 11].

В рамках вышеизложенных допущений для нестационарного течения жидкости в пористой среде запишем линеаризованные уравнения импульса, неразрывности и состояния [6; с. 11]

$$m \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \rho_{10} \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_{10} \frac{\partial U}{\partial t} = -m \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{m\mu}{\kappa} U \quad (2)$$

$$P = C_1^2 \rho_1, \quad x > 0, \quad (3)$$

где C_l - скорость звука в насыщающей жидкости; ρ_l - возмущение плотности жидкости; ρ_{l0} - плотность жидкости, соответствующая невозмущенному состоянию; m - пористость; μ - вязкость жидкости; k - проницаемость пористой среды; P – возмущение давления в жидкости; U – скорость фильтрации.

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

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

где A_p – амплитуда волны; ω – круговая частота. Рассматривается случай, когда зона воздействия имеет конечную ширину ($0 < x < l$), но при этом правая граница ($x = l$) высокопроницаема. Последнее условие для реальных ситуаций означает, например, призабойная зона шириной равной l «засорина», а за этой зоной начинается «не засоренная» область с проницаемостью во много раз превышающей, чем ее значение в прискважинной зоне. Граничное условие записывается в виде:

$$p = 0, \quad x = l. \quad (5)$$

Под воздействием гармонических волн давления насыщающая пористую среду жидкость совершает колебательное движение относительно твердого скелета. За счет сил вязкого трения между жидкостью и скелетом, энергия волны переходит в тепло. Для определения среднего притока тепла в единицу объема за единицу времени используется формула [6; с. 11]:

$$Q = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{\mu_T}{k} (\operatorname{Re}(u))^2 dt. \quad (6)$$

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

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q(x), \quad l > x > 0, t > 0. \quad (7)$$

Изменение температуры будем отсчитывать от начальной температуры системы, которая однородна. Будем полагать, что граница $x=0$ теплоизолирована, тогда это условие может быть записано в виде

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0. \quad (8)$$

На границе $x = l$ происходит теплообмен с окружающей средой. При этом на этой границе температура и поток тепла непрерывны. Температурная задача решена методом прогонки.

Установлено, что с помощью акустического поля можно нагреть и очистить от парафиновых отложений призабойную зону, и тем самым увеличить нефтедобычу.

Список используемой литературы

1. Крутин В.Н. Механизм акустической интенсификации притоков нефти из продуктивных пластов. - Научно-технический вестник АИС "Каротажник" . - № 42. С. 32-39.
2. Козяр В.Ф., Белоконь Д.В., Козяр Н.В., Смирнов Н.А. Акустические исследования в нефтегазовых скважинах: состояние и направления развития. - Научно-технический вестник АИС "Каротажник". - № 63. С. 47-56.

3. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. - М.: Недра, 1983. 327 с.
4. Мерсон Э., Митрофанов В.П., Сафин Д. Возможности ультразвука в нефтедобыче. - Нефть России.- №1.- 1999. С. 67-74.
5. Митрофанов В.П., Дзюбенко А.И., Нечаева Н.Ю., Дрягин В.В. Результаты промышленных испытаний акустического воздействия на призабойную зону пласта. - Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. - №10.- 1998. С. 26-36.
6. Хусаинов И.Г., Шагапов В.Ш., Юмагузина А.Г. Нагрев пористой среды, насыщенной жидкостью, с помощью акустического поля // Инж. физ. ж. 2003. Т.76. № 1. С. 11-16.