

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОСРЕДНЕННЫХ УРАВНЕНИЙ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

С.П. Родионов, В.П. Косяков, Л.Н. Соколюк, Я.В. Ширшов

*Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, 625026, г. Тюмень, Россия*

Одним из наименее затратных методов увеличения нефтеотдачи пластов является метод циклического заводнения, который предложен и развит в ряде работ [1, 2, 3]. В этих работах предложены достаточно простые методики расчета циклического заводнения, основанные на решении одномерных задач. В настоящее время получило широкое распространение трехмерное гидродинамическое моделирование с использованием гидродинамических симуляторов. Исследование циклического заводнения на основе геолого-гидродинамического моделирования выполнено, например, в [4]. Тем не менее, для расчета циклического заводнения на гидродинамическом симуляторе типа ECLIPSE потребуются значительно больше времени, чем для расчета обычного заводнения.

Основной причиной, из-за которой возникают трудности использования обычных уравнений двухфазной фильтрации в гидродинамических симуляторах, является существование ограничения на шаг по времени, превышение которого делает расчет некорректным и недостоверным (например, расчетный эффект от циклического воздействия часто оказывается близким к нулю). Дело в том, что шаг по времени ограничен не только условием устойчивости разностной схемы или условием конечности изменения определенной величины (например, нефтенасыщенности) за один шаг. В практике расчетов циклического заводнения наиболее значимое ограничение состоит в том, что временной шаг должен быть намного меньше полупериода колебаний, который зачастую имеет значение порядка нескольких суток. Поэтому решение обычных уравнений фильтрации при выполнении практических расчетов приведет к большим временным затратам. В этой связи и возникает необходимость развития метода, который позволил бы выполнить расчет за приемлемое время (то есть за время моделирования обычного заводнения).

Для достижения этой цели можно пойти по пути осреднения уравнений двухфазной фильтрации по времени цикла [2, 3, 5], которые позволяют выполнять расчеты без ограничения на шаг по времени, связанного с периодом колебаний. Однако исследования в этих работах ограничены анализом циклического воздействия на основе аналитических решений одномерных задач, то есть при достаточно сильных допущениях. В работе [5] выполнен аналитический анализ интенсивности межслойных перетоков фаз с фазовыми проницаемостями, зависящими от направления потока. Для корректного учета таких эффектов в гидродинамической модели требуется сильное сгущение сетки по вертикальной координате, что также привело бы к значительному увеличению времени расчетов.

Данная работа посвящена развитию метода моделирования циклического заводнения на основе осредненных уравнений фильтрации [1, 2, 3] для выполнения расчетов за приемлемое для практики время. Предложены осредненные уравнения фильтрации и выражение для интенсивности перетоков жидкости между слоями в случае периодического (синусоидального) закона изменения параметров на скважинах. Верификация предложенных уравнений выполнена путем сопоставления расчетов, полученных на их основе, с результатами расчетов с помощью обычных уравнений двухфазной фильтрации, используемых в гидродинамических симуляторах.

Апробация предложенных осредненных уравнений производилась на синтетическом примере циклического заводнения двухслойного пласта, разрабатываемого с помо-

щью пятиточечной сетки скважин. Параметры задачи следующие: размеры рассматриваемого участка $500 \times 500 \times 20$ м. В центре участка находится нагнетательная скважина, по углам – добывающие скважины. На нагнетательной скважине забойное давление изменяется по периодическому закону, а на добывающих скважинах оно постоянно и равно 35 атм. Среднее за период забойное давление на нагнетательной скважине – 100 атм. Период и амплитуда циклического воздействия равны соответственно 15 сут. и 50 атм. Продолжительность применения циклического воздействия – 150 лет. Параметры слоев по латерали одинаковы. При этом проницаемости слоев равны соответственно 1 Д и 0.001 Д; толщины слоев равны 10 м; пористость слоев – 0.3; критические насыщенности нефти и воды в обоих слоях равны 0.2; относительные фазовые проницаемости квадратично зависят от водонасыщенности. Сжимаемость воды 10^{-6} 1/атм, нефти – 10^{-5} 1/атм, горная порода несжимаема. Вязкость воды – 1 сПз, вязкость нефти – 30 сПз. Начальная водонасыщенность высокопроницаемого слоя равна 0.42, а низкопроницаемого – 0.2.

Целью исследования являлось определение коэффициента удержания воды с помощью предложенного выше метода и сопоставление расчетов, полученных на основе обычных и осредненных уравнений. Расчеты накопленной добычи нефти с учетом и без учета циклического заводнения представлены на рисунке. Видно, что полученные результаты удовлетворительно совпадают. Значение коэффициента удержания воды β , определенного по предложенной процедуре равно 0.7.

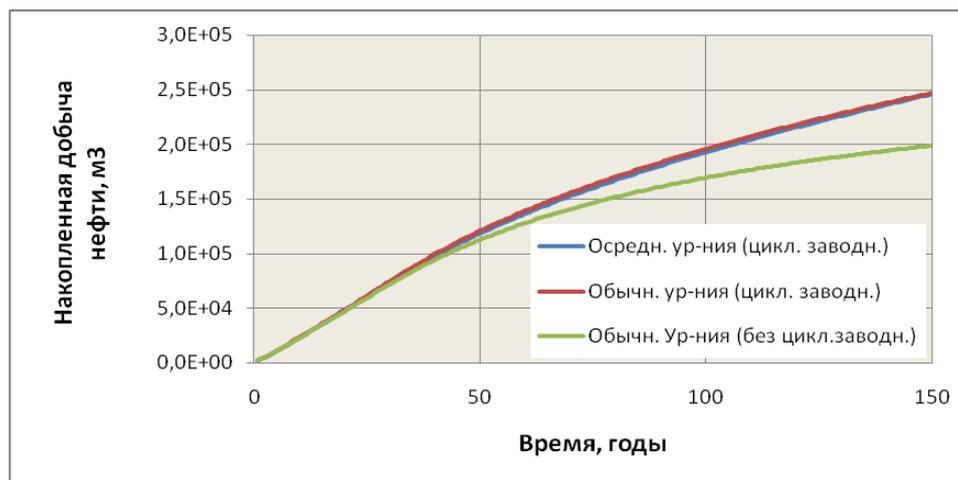


Рис. 1. Зависимости накопленной добычи нефти от времени

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боксерман А.А., Шалимов Б.В. О циклическом воздействии на пласты с двойной пористостью при вытеснении нефти водой // Изв. АН СССР. МЖГ. 1967. №2.
2. Сургучев М.Л., Цыпкина О.Э., Шарбатова И.Н. и др. Циклическое заводнение нефтяных пластов М., Изд. ВНИИОЭНГ, 1977.
3. Шарбатова И.Н., Сургучев М.Л. Циклическое воздействие на неоднородные пласты. М., Недра, 1988.
4. Langdalen H. Cyclic Water Injection (A Simulation Study). MS thesis, Norwegian University of Science and Technology, June 2014.
5. Цыпкина О.Э. К вопросу о механизме циклического воздействия на нефтяные пласты // Изв. АН СССР. МЖГ. 1980. №3. С.58-67.