

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА НЕФТЯНОГО КОЛЛЕКТОРА

Аннотация. В статье представлена редуцированная математическая модель процесса фильтрации на участке нефтяного коллектора и результаты имитационного моделирования после 60 суток эксплуатации пласта. Сделаны предложения по дальнейшему развитию работы.

Ключевые слова: нефтяной коллектор, линейная фильтрация, моделирование пласта, редуцированная модель, линейные неоднородные дифференциальные уравнения.

Процесс механизированной добычи нефти в последние годы привлекает внимание многих исследователей. Обычно нет возможности апробировать предлагаемые решения прикладных задач в условиях реального нефтяного промысла. Решением этой проблемы становится имитационное моделирование отдельных скважин или участков месторождения, что позволяет охватить широкий диапазон изменения управляемых параметров скважин на длительных интервалах времени.

Очевидно, что при решении задач управления нет необходимости использовать сложные численно–аналитические методы моделирования процессов фильтрации принятые в подземной гидромеханике. Целью данного исследования стало построение редуцированной математической модели участка нефтяного коллектора, основным достоинством которой является существенное уменьшение количества параметров модели при сохранении точности описания статических и динамических характеристик, достаточной для решения задач управления.

Для достижения выдвинутой цели предполагается ряд задач:

1. Вывести уравнения модели, описывающие однофазную фильтрацию между элементами коллектора;

2. Построить математическую модель произвольного участка коллектора;
3. Осуществить имитационное моделирование типового участка коллектора.

Соловьев И.Г. и Распопов Р.В. в своих работах пришли к выводу, что грубые модели достаточно точно воспроизводят поведение коллектора в статических режимах, а при некоторых уточнениях и в динамических [1, 2, 3]. Однако, в условиях оперативного управления и ограниченности вычислительных ресурсов, модель должна обладать свойством масштабируемости: свободного локального перехода от грубой модели к точной и наоборот.

Предложенный в указанных работах метод не позволяет осуществить переход к другому масштабу без изменения формы плитки, что представляется нерациональным из-за риска появления неконтролируемой погрешности. Для того чтобы устранить этот недостаток, предлагается использовать в качестве типового элемент квадратной формы.

При построении редуцированной модели участка коллектора M^* мы будем исходить из следующих предположений и допущений:

- линейность закона фильтрации [2; 153–162];
- уравнение баланса зоны включает в себя фильтрационные потоки от соседних зон (или к ним) и извлекаемый (нагнетаемый) скважиной (несколькими скважинами) поток q_i ;
- для описания гидродинамических характеристик пористой среды будет использоваться коэффициент гидропроводности пласта w при переходе из зоны в зону.

Вышесказанное позволяет построить редуцированную модель фильтрационной системы (коллектора) M^* , как совокупность взаимосвязанных конечных элементов приведенных к общей горизонтали. В общем случае

уравнение объемных балансов для произвольного i -го элемента (зоны) модели будет описываться уравнением линейной фильтрации [4; 496].

$$\tau_i \dot{p}_i = \sum_j^n w_{ij} (p_j - p_i) - q_i, \quad (1)$$

где τ_i – гидроупругий объем i -й зоны, p_i – усредненное давление i -й зоны, w_{ij} – элемент матрицы W при перетоке флюида между зонами i и j , q_i – поток жидкости на поверхность из i -й зоны, причем приток жидкости q для i -й зоны определяется как $q_i = \sum_k q_i^m$ для соседних скважин. Для добывающих скважин q_i^m имеет положительный знак, а для нагнетающих – отрицательный.

Матрица W описывает топологию модели M^* . В качестве ее элементов использована величина коэффициента гидропроводности между зонами.

Описав каждый из n элементов модели уравнением (1), мы можем получить систему E линейных неоднородных дифференциальных уравнений (ЛНДУ) в нормальной форме Коши (2), описывающих изменения давления в исследуемой области коллектора.

$$dP/dt = AP + Q, \quad (2)$$

где $P = [p_1(t) \dots p_n(t)]^T$ – вектор-столбец среднезональных давлений элементов модели. A – матрица коэффициентов системы, $Q = [q_1/\tau_1 \dots q_n/\tau_n]^T = const$ – вектор-столбец потоков жидкости на поверхность, приведенных к гидроупругому объему элемента.

Элементы матрицы A формируются следующим образом

$$a_{ij} = \begin{cases} w_{ij}/\tau_i, & i \neq j \\ -\sum_j w_{ij}/\tau_i, & i = j \end{cases}. \quad (3)$$

Для построения модели необходимо определить начальные и граничные условия. Начальные условия для данной системы уравнений представляют собой вектор-столбец давлений в зонах в начальный момент времени. Граничные условия обычно предполагают постоянство давления на границе области фильтрации Ω .

Итоговая система уравнений образует редуцированную математическую модель M^* участка коллектора Ω .

Решение $P(t)$ системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений E при заданных начальных и граничных условиях описывает динамику усредненных давлений по площади коллектора.

На основе выведенных уравнений был смоделирован участок нефтяного коллектора размерностью 6x6 элементов. Модель предоставляет информацию о распределении давления после шестидесяти суток эксплуатации пласта (Рис. 1).

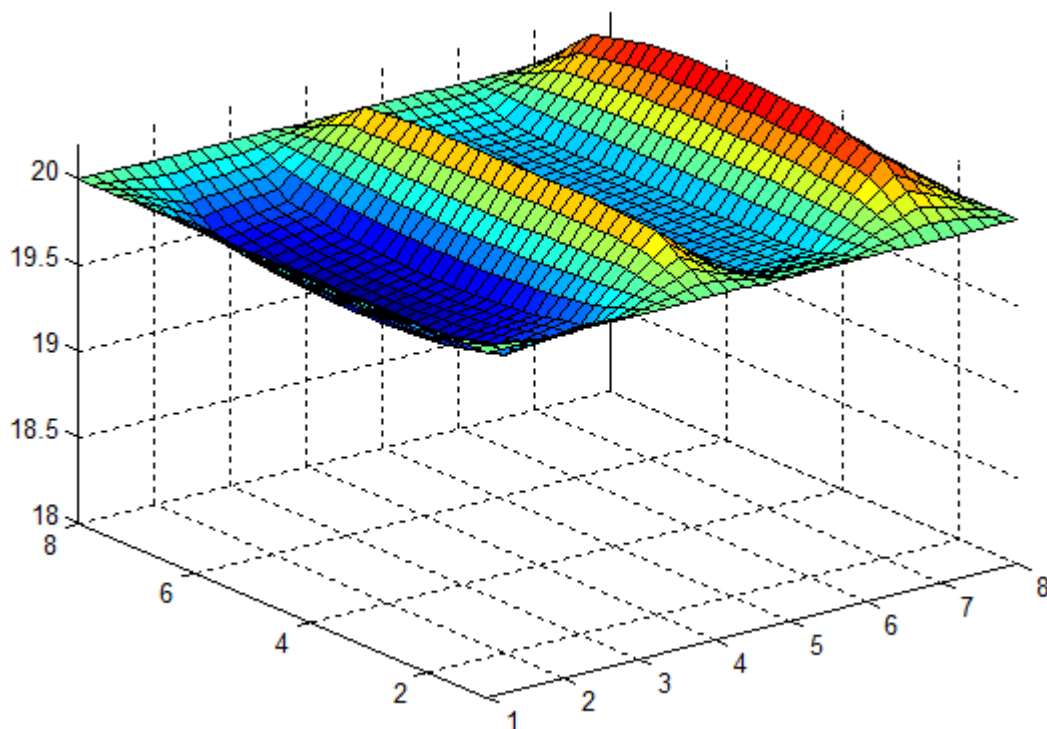


Рис. 1. Распределение давления по площади участка нефтяного коллектора.

В дальнейшем предполагается, что на интересующем нас участке коллектора будет производиться более точное моделирование, а на других участках модель будет огрубляться путем объединения ее элементов с усреднением параметров. Для того чтобы обеспечить такой переход требуется решить следующие задачи:

- разработать правила изменения масштаба локального участка коллектора;
- определить потери точности при огрублении модели коллектора;

- выяснить изменения в области быстрогодействия при укрупнении масштаба.

Решение этих проблем является предметом дальнейших исследований. Кроме того требуется разработать методику параметрической идентификации предложенной модели, что является весьма сложной проблемой, так как относится к классу плохо обусловленных обратных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1) Соловьев И.Г. Техника зонального редуцирования гидродинамической модели нефтяного коллектора/ Соловьев И.Г., Распопов Р.В.// Математическое моделирование.– Москва, 2014.– Т. 26, № 4.– С.21–32.

2) Распопов Р.В. Алгоритм регуляризации оценок гидродинамических параметров локальных участков нефтеносных коллекторов/ Распопов Р.В., Соловьев И.Г.// Вестник Тюменского государственного университета. Физико–математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика.– Тюмень, 2015.– Т. 1, № 2 (2).– С 153–162.

3) Распопов Р.В. Регуляризация оценок параметров нефтеносного коллектора в технологиях группового гидропрослушивания: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – ТюмГУ.– Тюмень, 2015.– 144 с.

4) Басниев К.С. Подземная гидромеханика/ К. С. Басниев и др.– М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.– 496 с.