

Обзор мирового опыта геолого-геомеханического моделирования

Соболев А. А.

*Соболев Алексей Анатольевич / Sobolev Alexey Anatolevich – магистрант,
кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений,
Институт геологии и нефтегазодобычи
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Аннотация: в статье рассмотрена задача построения трехмерной геолого-геомеханической модели месторождения. Возможность прогнозирования изменения свойств модели во времени.

Ключевые слова: геолого-геомеханическое моделирование, геологические модели в геомеханическом симуляторе, ГРП.

На сегодняшний день геолого-геомеханическому моделированию посвящены сотни российских и зарубежных публикаций. В ходе анализа литературы выявлены следующие классы решаемых задач:

- проседание дневной поверхности над разрабатываемой залежью вследствие снижения пластового давления;
- влияние эффективных напряжений на ФЕС вследствие сжимаемости порового пространства, что проявляется в виде изменения долговременного тренда накопленной добычи;
- перераспределение главных напряжений, влияющих на условия стабильности бурящихся скважин, ориентации трещин ГРП, пескопроявлений и т.д.;
- возникновение скольжений пластов вдоль поверхностей напластования, приводящих к нарушению целостности цементного камня и обсадных колонн существующих скважин.

Анализ публикаций по геолого-геомеханическому моделированию выявил следующую тенденцию в решении полученных классов задачи. Идея заключается в построении трехмерной геолого-геомеханической модели месторождения с возможностью прогнозирования изменения ее свойств во времени. В процессе построения модели возникают следующие проблемы:

1. До сих пор актуальна проблема создания единого программного комплекса, способного проводить проектные технологические расчеты на совместных гидродинамико-геомеханических моделях. Отсутствует единый пакет программ, позволяющий реализовать данную модель. Существующие на данный момент пакеты можно условно разбить на две категории:

- Геомеханическая модель (ANSYS, Abaqus);
- Геологическая модель (ECLIPSE, IRAP MRS).

Программы, представленные в этих категориях, наиболее распространены в проанализированных публикациях. Следует отметить, что каждый пакет обладает рядом своих достоинств и недостатков. ANSYS, например, ориентирован на широкий профиль задач. Abaqus, наоборот, больше популярен для линейной постановки задачи. В обоих пакетах производится расчет методом конечных элементов. В Eclipse и Irar MRS хорошо производился расчет поровых давлений, пористости и проницаемости в каждой ячейке области с помощью метода конечных объемов [1]. В связи с этим возникает следующая проблема.

2. Проблема, основанная на переносе (импорте) гидродинамических полей в геомеханическую модель. Обязательным в данном процессе является перенос геологических свойств с сетки, построенной методом конечных объемов на сетку метку, построенную методом конечных элементов. В ходе анализа было выявлено, что задача переноса сетки и свойств из геологической модели в геомеханический симулятор решается в индивидуальном порядке: скрипт на языке Python RMS2ABA (создает inp файл для Abaqus), скрипт на встроенном языке APDL для ANSYS, скрипт на языке VBA, скрипт на языке Matlab (MRST-toolbox), плагин для Petrel. В одной из статей в качестве такого скрипта использовался коммерческий пакет.

3. Существует проблема наполнения геомеханической модели исходной информацией; особенно остро стоит вопрос о распределении механических свойств в нади подпродуктивных частях массива. Для наполнения геомеханической модели полями указанных параметров необходимо проведение испытаний образцов керна из всего массива пород, охваченного сеткой геомеханической модели, вкупе с комплексированием результатов этих испытаний с данными промысловых исследований (геофизика, сейсмика и т.п.). Граничные условия задаются, как правило, следующим образом: к верхней границе прикладывается вертикальное напряжение, обусловленное весом вышележащих пород (необходимо знание плотности пород разреза и рельефа дневной поверхности), нижняя граница жестко фиксируется (запрет перемещений), на боковых границах есть два варианта: также запрет перемещений или нагружение силами по нормали к поверхности, которые составляют 0 - 1 от вертикальных. Вид и параметры граничных условий являются внешними параметрами модели и могут быть использованы для тонкой настройки.

На практике, оценку НДС проводят в определенные моменты времени с шагом в несколько дней, месяцев или лет. Для корректной формулировки конкретных целей работы нужно понимать инструментарий для решения задачи об НДС. Основным инструментом для оценки НДС является математический аппарат механики сплошных сред (МСС). В самом названии этого раздела механики содержится основное модельное допущение о сплошности изучаемой среды. Основными подразделами МСС, которые интересны в контексте оценки НДС месторождения, является Теория Упругости и Пластичности, а также гидромеханика в приложении к подземным условиям. Выбор инструментария (математического аппарата) зависит от числа степеней свободы решаемой задачи. Гипотеза о сплошности рассматриваемой среды позволяет существенно сократить число степеней свободы рассматриваемой механической системы точек и использовать хорошо проработанные разделы математики, такие как дифференциальное и интегральное исчисление [2].

Понятно, что реальное НДС отличается от модельного и существенно зависит от истории нагружения каждого элементарного кусочка породы в каждый момент времени. Кроме того, известно, что напряжение – это величина силы, отнесенная к площади сечения элементарного (точечного) объема, поэтому при оценке прочности породы величину действующих напряжений сравнивают с величиной допустимых напряжений, которая определяется из лабораторных тестов материалов на прочность [3]. В связи с этим, актуальной становится задача корректного отбора кернов породы и обоснованного усреднения свойств керна по всему его объему. На практике, любой керн является неоднородным, содержит трещины и пустоты различных масштабов.

Вычислительная сложность задач геомеханического моделирования примерно такая: типовая модель из 450 тыс. ячеек нелинейным солвером (120 итераций) решается за 6 суток на кластере (20 ядер и 80 Гб).

Для настройки геомеханической модели необходимо иметь априорные данные по наблюдению НДС месторождения, которые получаются в результате геофизических исследований: FMI (мин. и макс. горизонт. напряжения, азимут макс. горизонт. напряжения), XLOT (мин. горизонт. напряжение), ГРП (мин. и макс. горизонт. напряжение). Варьируя настроечные параметры, необходимо добиться соответствия модели с наблюдаемой картиной НДС. Однако здесь возможна многовариантность настройки.

Литература

1. *Закревский К. Е.* Геологическое 3D моделирование М.: ООО «ИПЦ Маска», 2009. 376 с. ISBN 978-5-91146-279-6.
2. *Гладков Е. А.* Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа Учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 99 с.
3. *Аббасов К. В., Сулейманов Д. Д., Султанов Ш. Х., Котенев Ю. А., Варламов Д. И.* Основы трехмерного цифрового геологического моделирования. Учебное пособие. 2-е издание, переработанное и дополненное. Уфа: изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. 199 с.