

Опытное и промышленное применение РИМТМ позволяет сделать вывод о высоком качестве крепления нефтяных скважин в интервале соляной толщи, отвечающем требованию безопасности производства буровых работ на ВКМКС.

Библиографический список

1. Критерии качества крепя нефтяных скважин для оценки надежности и долговечности защиты соляной толщи и обсадных труб от негативного воздействия вод над- и подсолевого водоносных комплексов и техногенных процессов, обусловленных ведением горных работ по добыче калийных солей и нефти на территории ВКМКС. (Утв. ЗУО Госгортехнадзором России 27.05.99 г.). Пермь, 1999.

2. Инструкция по приготовлению, контролю качества и использованию расширяющегося магнезиально-фосфатного тампонажного материала. (Утв. ОАО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть» 13.02.96 г.). Пермь, 1996.

Получено 16.11.2000

УДК 551.735 (470.51/54)

Н. А. Шевко, В. А. Мординов
ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть»,
Пермский государственный технический университет

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

На базе современных численных схем и алгоритмов разработана численная модель процессов трехфазной фильтрации. Последняя реализуется в рамках пакета программ по гидродинамическому моделированию залежей и используется для создания гидродинамических моделей реальных объектов с целью регулирования их разработки.

Проектирование и регулирование разработки нефтяных залежей на современном этапе должно основываться на результатах математического, а по своей сути геолого-гидродинамического моделирования, представляющего собой в настоящее время так называемый вычислительный эксперимент [1], реализация которого на базе какой-либо математической модели позволяет получать непосредственное численное решение соответствующих уравнений, количественно определяющих поведение изучаемого объекта в тех или иных условиях.

Осознанное управление вычислительным экспериментом на различных его этапах реализации, включающих укрупнение геологической сетки (upscaling), пространственно-временную дискретизацию и адаптацию модели, интерпретацию результатов моделирования и проектирование геолого-технических мероприятий, требует от специалистов по разработке нефтяных месторождений глубокого понимания физической сущности моделируемых процессов, математической формализации причинно-следственных отношений между реальными объектами и явлениями, происходящими при разработке залежей, основных подходов численной реализации решаемых задач.

Для создания научно-практической базы по гидродинамическому моделированию в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть» проведено исследование основных существующих численных моделей процессов трехфазной трехмерной фильтрации, разработанных зарубежными и отечественными авторами. Результатом исследования явился пакет программ по гидродинамическому моделированию месторождений, использующий современные эффективные численные схемы и алгоритмы, учитывающие особенности процессов многофазной фильтрации месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть».

Для описания процесса разработки углеводородных месторождений применялась математическая модель изотермической трехмерной трехфазной трехкомпонентной фильтрации, описываемая системой дифференциальных уравнений, получаемых комбинацией уравнений неразрывности для отдельных компонентов с обобщенным законом Дарси для многофазной фильтрации, так называемая обобщенная система уравнений Маскета-Мереса:

$$\operatorname{div} \left[\mathbf{K} \sum_{\alpha} \frac{k_{\alpha} \rho_{\alpha} l_{\alpha}^k}{\mu_{\alpha}} (\operatorname{grad} p_{\alpha} - g \rho_{\alpha} \operatorname{grad} Z) \right] - \frac{\partial}{\partial t} \left[m' \sum_{\alpha} m_{\alpha} \rho_{\alpha} S_{\alpha} l_{\alpha}^k \right] - \sum_{\alpha} Q_{\alpha}^k = 0. \\ (\alpha = 1 \dots 3, k = 1 \dots 3).$$

Система дополняется следующими соотношениями

$$\sum_{\alpha} l_{\alpha}^k = 1, \quad \sum_{\alpha} S_{\alpha}^k = 1, \quad p_{\alpha} - p_{\beta} = p_{\alpha\beta}^c(S_c),$$

а также начальными и граничными условиями.

При этом полагаются $\mathbf{K} = \mathbf{K}(x, p_{\alpha})$, $k_{\alpha} = k(S_1, S_2)$, $\rho_{\alpha} = \rho(p_{\alpha})$, $l_{\alpha}^k = l^k(p_{\alpha})$, $\mu_{\alpha} = \mu(p_{\alpha})$, $m_{\alpha} = m(p_{\alpha})$, где $\mathbf{K}(x)$, $m'(x)$ – диагональный тензор абсолютной проницаемости и коэффициент пористости породы в точке пласта с координатами x_i ; p_{α} , k_{α} , ρ_{α} , μ_{α} , m_{α} , S_{α}^k , l_{α}^k – соответственно давление, относительная проницаемость, плотность, вязкость, относительная пористость, насыщенность и доля k -го компонента в α – фазе; t – время; Q_{α}^k – мощность источника (стока) k -го компонента, моделирующего работу скважины; $p_{\alpha\beta}^c$ –

капиллярное давление между фазами α и β ; g – ускорение свободного падения; Z – глубина залегания пласта.

Под компонентом k может рассматриваться как одно химическое вещество, так и фракция (например, C_1 – C_4 , C_{5+}).

В рамках этой системы уравнений возможен учет гравитационных, капиллярных и вязкостных сил; неоднородности трехмерного ортотропного пласта по абсолютной проницаемости и пористости; сегрегации фаз; зависимости свойств фаз (плотность, вязкость, доля компонентов в фазах) и пористой среды (абсолютная и относительная проницаемость, пористость) от давления в фазах и насыщенностей; притока пластовой воды из законтурной области; течения в стволе скважины.

Для выбора численной модели (схемы пространственно-временной дискретизации математических уравнений и методов их решения) в рамках данного исследования изучались следующие методы: для расчета процесса многофазной фильтрации – IMPES, SS, SEQ и Adaptiv методы; для линеаризации нелинейной системы алгебраических уравнений – методы простой линеаризации, методы экстраполяции, метод Ньютона; для решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) – методы расщепления, итерационные и градиентные методы, методы неполной разностной факторизации, методы полной факторизации, комбинации методов.

Созданная численная модель реализована на следующей эффективной комбинации методов. Аппроксимация и решение системы дифференциальных уравнений осуществляется методом конечных разностей, что обусловлено быстротой получения разностного аналога дифференциальных уравнений на регулярной ортогональной (близкой к ортогональной) разностной сетке. Для трехмерной задачи используется семиточечный шаблон (второй порядок аппроксимации по пространству для равномерной сетки). Нелинейность коэффициентов по пространству принимается среднеарифметической, а для части коэффициентов – среднегармонической, фазовая проницаемость берется «вверх по потоку». Разностная сетка неравномерная с распределенными узлами. Метод расчета процесса многофазной фильтрации – Adaptiv-метод. Аппроксимация по времени первого порядка полностью неявная по проводимостям и источникам. Метод линеаризации – модифицированные итерации Ньютона–Рафсона, а последующее решение СЛАУ методами BSORV, Nested Factorization или ILU с ускорением за счет ORTOMIN или Ланцоша. Локальные сгущения, несоседние соединения и детальное моделирование скважин осуществляются также отдельными алгоритмами и методами, учитывающими особенности их реализации.

Машинная модель, реализующая описанную выше численную модель, представляет собой программу под ОС Windows, которая содержит: модуль подготовки геолого-технической информации; расчетный модуль; модуль, управляющий процессом расчета; модуль визуализации.

При подготовке геолого-технической информации, в частности для целей восстановления полей параметров по скважинным данным, использовались различные варианты двух- и трехмерной интерполяции [2].

Модуль визуализации трехмерной гидродинамической модели и пространственных значений параметров создан на базе стандартной графической библиотеки OpenGL, широко используемой в зарубежных коммерческих программных продуктах трехмерной визуализации.

Применение разработанной модели для регулирования систем разработки показано на примере Евдокимовского поднятия Судановского месторождения ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть» (совместно разрабатываемые пятью добывающими и двумя нагнетательными скважинами пласты Бб₁, Бб₂ и Мл).

На базе проектно-технологической документации Судановского месторождения построена трехмерная цифровая геологическая модель (рис. 1). На ее основе с использованием разработанного программного пакета создана гидродинамическая модель Евдокимовского поднятия. На этапе адаптации модели по данным истории разработки уточнена геологическая модель (фильтрационные параметры пласта), определены прогнозные показатели разработки по базовому варианту (рис. 2) и распределение остаточных запасов нефти по объему объекта.

При исследовании гидродинамической модели залежи сделан вывод о нецелесообразности (отсутствии необходимости) поддержания пластового

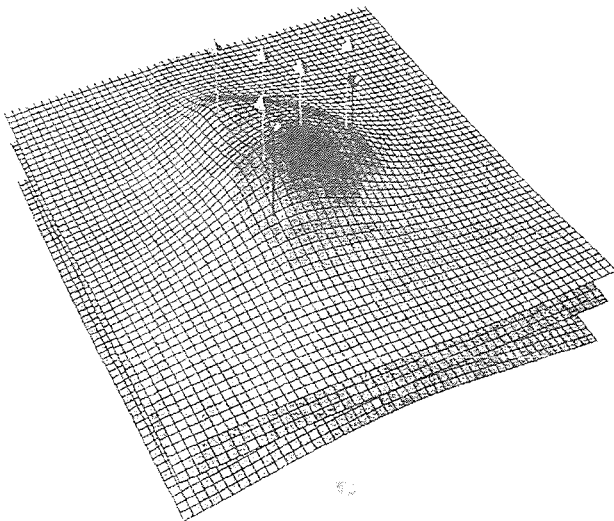


Рис. 1. Структурные поверхности кровли пластов Бб₁, Бб₂, Мл

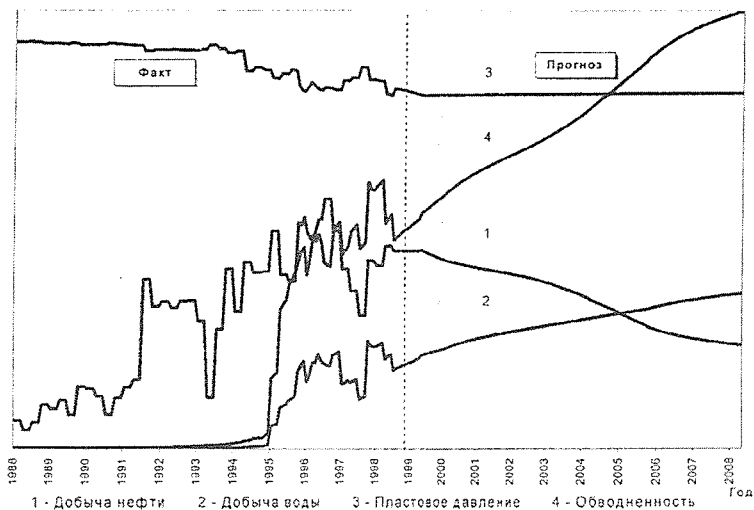


Рис. 2. Показатели разработки Евдокимовского поднятия Судановского месторождения

давления закачкой воды в существующие нагнетательные скважины на данном этапе разработки, так как относительно низкие отборы жидкости компенсируются активностью законтурной области.

С использованием модели запланирован ряд геолого-технических мероприятий, определена их технологическая эффективность. Например, прогноз показателей разработки по пласту Бб₁ с учетом моделирования мероприятия по увеличению продуктивности скважины 525 указывает на увеличение добычи нефти в целом по пласту Бб₁ (рис. 3, 4), несмотря на некоторое снижение добычи по реагирующим скважинам. Моделирование данного мероприятия на других скважинах показало отсутствие значимого положительного эффекта, поэтому на остальных скважинах проектировались другие виды мероприятий.

Таким образом, моделирование нефтяных пластов и технологических воздействий с использованием разработанного пакета программ является инструментом, позволяющим получить ценные результаты для оптимизации процесса разработки.

Наиболее малоизученным в настоящее время является моделирование гидродинамических потоков в областях сложной формы, например многофазного притока к скважинам сложной траектории, моделирование перфорационных отверстий, трещин гидроразрыва и др. Решение этих задач

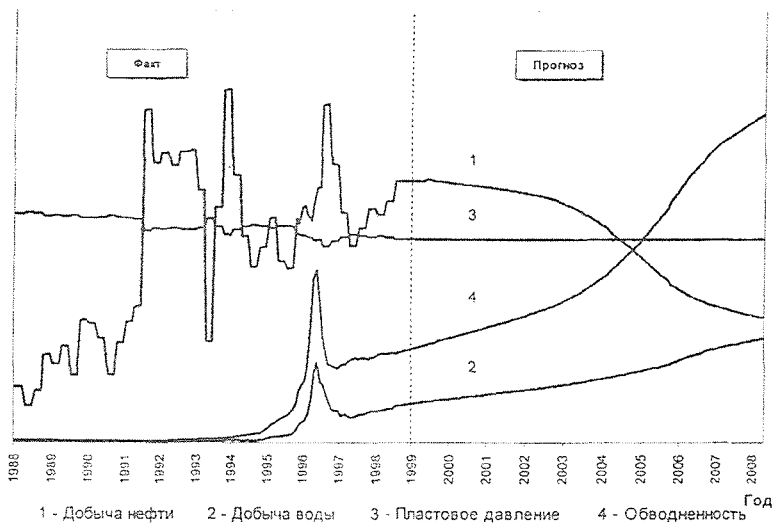


Рис. 3. Динамика показателей разработки пласта Бб₁ при базовом варианте

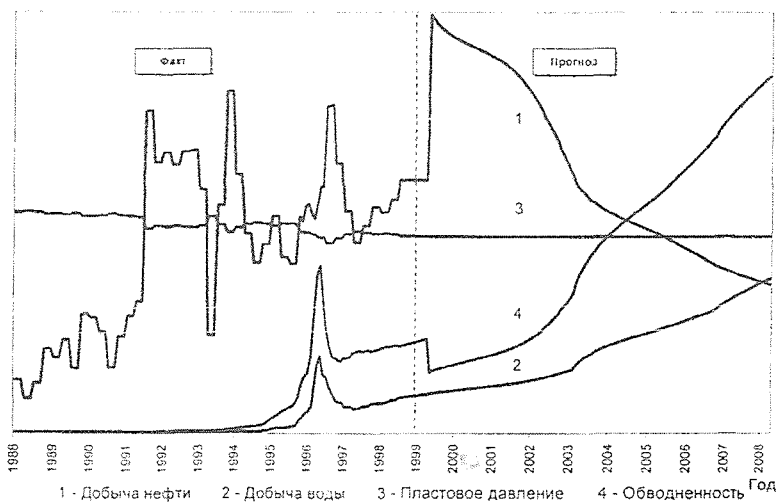


Рис. 4. Динамика показателей разработки пласта Бб₁ с учетом проведения мероприятия на скв. 525

позволит моделировать проведение геолого-технических мероприятий на отдельных скважинах в условиях детального учета неоднородностей свойств пласта и призабойной зоны.

Дальнейшее исследование математических и численных моделей процессов фильтрации и совершенствование разработанной численной модели будет вестись параллельно с моделированием реальных объектов на приобретенном ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефть» программном комплексе по гидродинамическому моделированию «ECLIPSE» (фирмы Shlumberger GeoQuest), наиболее распространенном во всем мире и лучшем среди аналогичных пакетов при проектировании и регулировании разработки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений.

Библиографический список

1. Самарский А. А. Математическое моделирование и математический эксперимент // Вестник АН СССР. 1979. №5. С. 48-55.
2. Аронов В. И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. М.: Недра, 1990.

Получено 15.11.2000

УДК 550.8 : 551.24

В. В. Шелепов, А. С. Флаас, М. Л. Чернова
ООО «ЛУКОЙЛ - Западная Сибирь»,
Пермский государственный технический университет

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КОГАЛЫМСКОГО РЕГИОНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Рассмотрены основные особенности и дана краткая сравнительная характеристика структурных планов кровли трех стратиграфических уровней: палеоплитного комплекса («фундамента»), пермо-триаса и верхней юры.

Современные представления о тектоническом строении Западно-Сибирской плиты базируются на результатах анализа большого объема буровых работ и данных геофизических исследований, проводившихся, главным образом, в пределах нефтегазовых месторождений. Интерпретация имеющегося фактического материала приводит различных авторов к неоднозначным выводам о глубинном строении и геодинамических факторах формирования современной структуры этой крупнейшей нефтегазоносной провинции.