

Опыт использования высокопроизводительных вычислительных систем в гидродинамическом моделировании залежей нефти и газа



27 Опыт использования высокопроизводительных вычислительных систем в гидродинамическом моделировании залежей нефти и газа

Несмотря на известные преимущества западных программных комплексов гидродинамического моделирования, разработанных ведущими фирмами: Schlumberger, LandMark, Roxar, ни один из них в полной мере не отвечает потребностям российского рынка. Не учитывают они и специфики сложившейся российской производственной практики разведки и разработки месторождений. В данной статье представлены результаты совместной работы ООО «РН-УфаНИПИнефть» и Уфимского государственного авиационного технического университета в области создания и развития системы гидродинамического моделирования углеводородных резервуаров на высокопроизводительных вычислительных системах.

АВТОРЫ:

В.А. Байков — ООО «РН-УфаНИПИнефть»
О.С. Борщук — ООО «РН-УфаНИПИнефть»
О.В. Емченко — ООО «РН-УфаНИПИнефть»
И.Ф. Сайфуллин — ООО «РН-УфаНИПИнефть»
М.Л. Хаит — ООО «РН-УфаНИПИнефть»
Р.К. Газизов — Уфимский государственный авиационный технический университет
Г.А. Макеев — Уфимский государственный авиационный технический университет

Введение

Современные технологии планирования, управления и контроля над разработкой нефтегазовых месторождений, направленные на оптимизацию процессов поисков, разведки и добычи, достижение максимального коэффициента извлечения нефти, базируются на использовании гидродинамических моделей месторождений. Создание таких моделей и их практическое применение является сейчас обязательным требованием недропользователей при создании проектной документации и анализе разработки.

Современный этап развития вычислительной техники (появление многоядерных/многопроцессорных компьютеров и высокопроизводительных вычислительных кластерных систем) позволил по-новому подойти к задаче моделирования процессов добычи углеводородов. Во-первых, появилась возможность рассмотрения сложных математических моделей, приводящих к вычислительным задачам большой размерности (с большим числом расчетных ячеек). Во-вторых, стало реальным проведение многовариантных расчетов с целью выбора наиболее оптимальных параметров модели.

К сожалению, до настоящего времени российские нефтяные компании, как правило, используют западные программные комплексы гидродинамического моделирования, которые разработаны ведущими фирмами: Schlumberger (Eclipse), LandMark (VIP), Roxar (TEMPEST MORE). Несмотря на все известные преимущества этих программных продуктов, ни один из них в полной мере не отвечает потребностям российского рынка. Другой отрицательной стороной западных программных комплексов является игнорирование ими передовых отечественных технологий и специфики сложившейся российской производственной практики разведки и разработки месторождений.

В данной статье представлены некоторые результаты совместной работы ООО «РН-УфаНИПИнефть» (проектный институт нефтяной компании «Роснефть») и Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ) в области создания и развития системы гидродинамического моделирования углеводородных резервуаров на высокопроизводительных вычислительных системах.

Постановка задачи

В основе моделирования многофазных фильтрационных потоков в пористой среде лежит система уравнений в частных производных, описывающая распределение давления и насыщенных фаз в пласте, дополненная соответствующими начальными и граничными условиями. Указанные дифференциальные уравнения получаются из уравнений сохранения массы для компонентов в предположении, что скорость потока и давление связаны между собой законом Дарси.

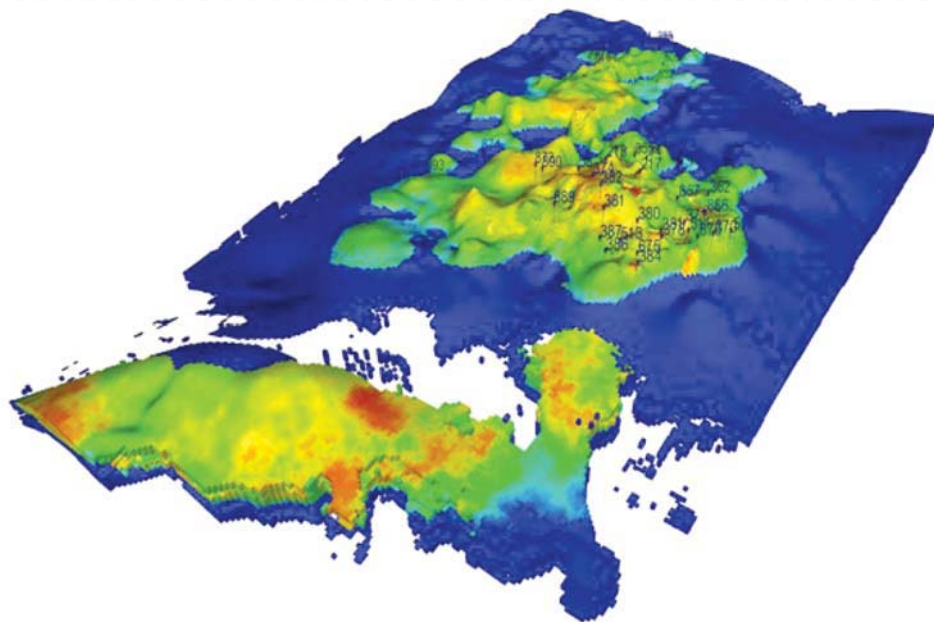


Рис. Пример визуализации гидродинамической модели

Используемые уравнения описывают наиболее важные физические процессы, имеющие место в системе резервуара: а именно, движение флюидов в виде отдельных фаз (нефть, вода, газ) и массообмен между различными фазами. Кроме того, при гидродинамическом моделировании могут быть учтены пространственные изменения свойств породы, свойств фаз и характеристики фазовых проницаемостей, учтены эффекты действия вязких, капиллярных и гравитационных сил.

Сложность задачи

Сложность задачи обусловлена двумя параметрами: размерностью решаемых систем алгебраических уравнений и неопределенностью начальных данных.

Размерность решаемых систем определяется как количеством рассматриваемых расчетных ячеек, так и количеством неизвестных в одной ячейке. Если 5–6 лет назад средний размер решаемой в процессе моделирования системы алгебраических уравнений составлял около 1,5 млн неизвестных, то в настоящее время используются модели, размерность которых достигает 100 млн.

С другой стороны, принятие верных решений при разработке углево-

дородных месторождений возможно только при наличии адекватной геолого-гидродинамической модели месторождения. Построение такой модели является нетривиальной задачей, сложность которой обусловлена тем, что судить о происходящем в пласте можно только по косвенным признакам: по сейсмическим данным, по исследованиям и объему добычи в точках редкой сети скважин. С математической точки зрения, адаптация геолого-гидродинамической модели – это решение обратной задачи нахождения параметров модели (в реальных задачах таких параметров десятки и сотни), которые приводят к наблюдаемому результату. Одним из путей решения обратной задачи является решение большого количества прямых задач для поиска оптимального набора параметров модели.

Успешное решение таких сложных математических задач стало возможным благодаря использованию высокопроизводительных программно-аппаратных комплексов, основанных на суперкомпьютерных технологиях и оптимизированном программном обеспечении.

Пакет NGT BOS

Пакет многофазного многокомпонентного гидродинамического моделирования NGT BOS компании «Роснефть» был разработан специалистами «РН-УфаНИПИнефть» и УГАТУ с целью импортозамещения коммерческого зарубежного программного обеспечения. Кроме ряда уникальных возможностей (в частности, моделирования трещин гидроразрыва пласта), программный комплекс NGT BOS изначально был ориентирован и оптимизирован для решения задач большой размерности с использованием современных многоядерных архитектур (в отличие от коммерческого зарубежного программного обеспечения, созданного задолго до их появления).

В 2008 году ПК NGT BOS прошел сертификацию соответствия Госстандарта России. В настоящий момент НК «Роснефть» переходит на использование данного программного комплекса как основного пакета гидродинамического моделирования. В 2009 году 60% моделей НК «Роснефть» рассчитано на ПК NGT BOS, а его возможности позволяют моделировать более 90% всех месторождений компании.

Интеллектуальные алгоритмы адаптации моделей

Для построения адекватной геолого-гидродинамической модели месторождения на основе известной истории разработки специалистами ООО «РН-УфаНИПИнефть» и УГАТУ разработана библиотека интеллектуальных алгоритмов решения задач оптимизации на основе генетических и нейросетевых алгоритмов. Использование таких интеллектуальных алгоритмов поиска оптимума позволяет со-

кратить количество требуемых приближенных решений за счет значительного увеличения вычислительной сложности.

Естественным инструментом для решения ресурсоемких задач являются суперкомпьютерные системы. Ускорение поиска в целом для задачи адаптации достигается за счет:

- распараллеливания гидродинамического симулятора (решателя), позволяющего оценить текущее приближенное решение;
- распараллеливания алгоритмов искусственного интеллекта, применяемых для генерации новых приближенных решений;
- распределения вычислений необходимых приближенных решений по разным узлам кластера.

С вычислительной точки зрения, подавляющая часть процессорного времени тратится на расчет модели симулятором NGT BOS, поэтому его максимально эффективная параллельная реализация пропорционально сокращает общее время вычислений. В свою очередь применение сложного алгоритма поиска на основе методов искусственного интеллекта позволяет задействовать все имеющиеся ресурсы (узлы кластера) для вычисления приближенных решений с тем, чтобы следующее поколение решений оказалось как можно ближе к оптимуму. Для распределения расчетов по вычислительным узлам применяется система `cluster_server`, имеющая поддержку сторонних систем очередей и позволяющая учитывать лицензионные ограничения симуляторов.

Использование описанных разработок позволяет эффективно решать задачи адаптации больших гидродинамических моделей на базе вычислительного кластера УГАТУ.

Заключение

Суперкомпьютерные технологии открывают новые возможности адекватного моделирования залежей углеводородов. Применение высокопроизводительных кластерных систем в связке со специальным программным обеспечением позволяет во многом автоматизировать процесс инициализации и адаптации гидродинамической модели к условиям реального месторождения.

Использование отечественного программного продукта позволяет оперативно внедрять современные научные и технологические достижения в рабочий процесс нефтяных компаний России.