

Схемы моделирования следующего поколения повышают надежность принимаемых решений при разработке месторождений

Next-generation modelling workflows improve reservoir management decisions

Sheldon Gorell, Tom Smart, Keshav Narayanan, Pom Sabharwal и Sarah Bassett из **Landmark Graphics** обсуждают развитие улучшенной и более экономичной методики разработки месторождений благодаря внедрению усовершенствованных алгоритмов применения процедур, которые можно многократно выполнять на практике.

Всегодняшних мировых условиях бизнеса разведочные и добывающие компании решают дорогостоящие и требующие все больших сил задачи по разработке и добыче на ранней стадии разработки продуктивного пласта. Эти решения исходят от ряда факторов, включающего более сложные резервуары, более сложные и дорогие скважины, дорогое оборудование, меньшие цели, требующие хороших стратегий для оптимальных многорезервуарных разработок, высокие цены на нефть и газ, и необходимость уменьшения риска.

Традиционный последовательный производственный процесс

Способность точного моделирования сценариев разработки месторождения до этапа значительных капитальных вложений может оптимизировать добычу нефти и привести к огромным сбережениям. Исторически моделирование коллектора и связанные с ним производственные процессы требуют много времени и вычислений, из-за чего работающим над проектом группам часто приходится выбирать между более тщательным анализом и допустимой длительностью производственного цикла.

Обычно большинство случаев сложного резервуара решалось методами приближения, в которых степень точности приносилась в жертву в одной или более моделируемых областях. Примеры таких компромиссных решений находятся в пределах от упрощенных моделей резервуара до слабо связанных сложных высокоразрешенных моделей резервуара, связанных с поверхностным сетевым моделированием посредством приближенных или итерационных методов.

Традиционный процесс разработки/управления месторождения состоял из линейных процессов, в которых специалисты из каждой отдельной дисциплины предлагали свою модель, слабо взаимодействуя со специалистами других направлений. Мелкомасштабные

модели среды, учитывающие все сложности и неоднородности геологической среды, строят с использованием сейсмических, скважинных и геологических данных. Часто такие модели геологической среды доводят до разрешенности, которая будет эффективной для традиционного процесса моделирования, где они становятся основой для моделирования коллектора. На этой стадии запускается ряд сценариев «что, если» для различных неопределенностей и опций разработки. Далее имеет место еще одно слабое взаимодействие — между удобством разработки и экономической стороной.

Основная проблема этой методики в том, что каждая область получает результаты своим способом и перебрасывает их к следующему звену цепочки. Этот хорошо известный процесс был особенно громоздким вследствие сложностей в передаче цифровых данных и моделей. Инструменты и технологии, доступные в каждой дисциплине, дают возможность высокой степени строгости, однако была ограничена поддержка интеграции между дисциплинами. Часто сосредотачиваются на построении лучшей модели, согласующейся со всеми областями, вместо оптимизации ресурсов для достижения основной цели деятельности компании.

Поскольку процесс многоступенчатый (очень много аналогий со старой игрой «телефон», где смысл сообщения теряется при переходе от одного участника к следующему), первичная цель часто теряется и получается субоптимальный результат. Линейный процесс также ограждает работающие над проектом группы от вычисления многочисленных сценариев разработки до этапа капитальных вложений, что сильно повышает риск. Такой процесс имеет и другие недостатки, такие как необходимость в повторяющем процессе, а не в контролльном анализе, а также излишние ограничения. Часто накапливаются погрешности, поскольку на каждом отдельном шаге не учитываются взаимосвязи в цепочке разработки месторождения.



Рис. 1. Традиционно каждая техническая область оценивает ресурсы нефти и газа со своего специфического ракурса, почти не взаимодействуя с соседними областями линейной последовательности — неэффективный и очень длительный процесс.

Геолого-геофизические методы для изучения резервуаров/Разработка

Производственные процессы следующего поколения

Комплексирование революционных успехов в разработке программного обеспечения и высокопроизводительных вычислений за все уменьшающуюся цену может заметно повысить эффективность традиционных производственных процессов. На сегодняшний день возможно быстрое решение очень сложных задач без потери точности. Например, программное обеспечение DecisionSpace компании Landmark имеет стойкую платформу для применения итерационных методик следующего поколения к решению этих задач.

Более сложные методики, включенные в эти технологии следующего поколения, обеспечивают большую стойкость и высокую итеративность процесса привязки сейсмических данных в моделировании. Такие производственные процессы позволяют работающим над проектом группам сохранять точность высокоразрешенных моделей, где это необходимо, а также создавать контролируемый итеративный процесс и применять технологию, которая, по сути, интегрирует границы между дисциплинами (глубинными и поверхностными) с помощью современных алгоритмов. Вдобавок, возможен стойкий анализ неточностей, учитываются риски, а также возможна оптимизация производственного процесса.

В большей степени такой подход затрагивает большинство этапов традиционного производственного процесса, однако технические улучшения на каждом шаге делают проще учет необходимой физики в рамках возможностей моделирования без потери разрешенности. На рис. 2 приведена схема производственного процесса. В отличие от современного линейного процесса, структура следующего поколения по характеру итеративна и дает возможность уверенного управления риском и погрешностями.

Такая же структура может быть использована и для оптимизации. Она обеспечивает расчет сетки, полностью используя выгоды новых методов вычислений, и понижает стоимость в пределах расчета сетки и совокупности технологий. DecisionSpace дает возможность интеграции и автоматизации производственного процесса, а также открывает программные средства, позволяющие использовать разнообразие механизмов на уровнях точности, которые подходят для рассматриваемой задачи. Эти процессы также порождают большое количество данных и результатов, которыми нужно управлять и которые должны быть эффективно проанализированы, пока работающие над проектом группы обеспечены контрольным анализом решений, сделанных в прошлом.

Далее мы рассмотрим несколько частей производственного процесса DecisionSpace, рассмотренного выше, и обсудим последние достижения и тенденции с акцентом на управление разработкой.

Построение модели геологической среды

Одно большое изменение в процессе управления разработкой месторождения — возможность быстрого обновления и добавления новой информации в геологические модели на постоянной основе. Это было достигнуто благодаря тесной интеграции геофизической и геологической интерпретаций, бурения и геологического 3D моделирования резервуара. Другим изменением стало развитие вычислительных мощностей и методов вычисления, таких как геостатистические распределения

петрофизических атрибутов, которые позволяют профессионалам из области разведка-разработка рассматривать намного больше моделей геологической среды.

Исторически работающие над проектом группы в программу моделирования включали одну или две модели. В сегодняшних производственных процессах множество (от десятков до сотен) возможных в равной степени моделей могут быть актуальными на всем пути от сейсмики к моделированию. Модели, построенные сегодня, часто обладают большим количеством параметров резервуара, с достаточной детальностью, которая может фактически соответствовать концепции геологов о резервуарах, в которой нет потери детальности. Например, статические модели среды со 100 млн. ячеек — не новость на сегодняшний день. Хотя и можно получить такие модели, стоит отметить, что они, конечно, вычисляются на пиковых возможностях производительности даже новейших и самых модернизированных программ моделирования. Вообще признано, что учет погрешностей и/или оптимизация моделей такого размера сложны и отнимают много времени.

По этой причине различные компании приняли разные подходы к моделированию геологической среды. Среди них:

- Подход с ограничением по назначению, где модели «масштабируемые», а размер и разрешенность модели зависят от решения проблем и принятия решений.
- Размер модели зависит от доступной вычислительной мощи, поэтому модели строятся из условия, чтобы вычисления было возможно произвести в указанных временных рамках (например, за ночь), без пересчета модели на грубую сетку.
- Построение больших моделей возможно с их пересчетом на грубую сетку требуемого размера.
- Построение больших моделей возможно без пересчета на грубую сетку.



Рис. 2. Подход, использующий такую технологию как DecisionSpace DMS, имеет более целостный взгляд на ресурсы — сосредоточение на достижении основной коммерческой цели. Он сводит вместе все технические и коммерческие дисциплины на начальных этапах, когда изменения могут производиться легко и быстро.

Геолого-геофизические методы для изучения резервуаров/Разработка

Сегодняшние системы управления разработкой месторождения нужно сделать достаточно гибкими для урегулирования всех этих подходов.

Пересчет на грубую сетку

Пересчет на грубую сетку — процесс осреднения, который уменьшает разрешенность модели до такой степени, пока сохраняются геологические особенности, влияющие на движение флюидов. Пересчет на грубую сетку, по природе процесс осреднения, имеет тенденцию терять экстремальные значения данных в процессе соединения ячеек. В моделировании потоков это обстоятельство часто отражается в смещении важных особенностей, связанных с потоком, таких как экстремально высокое или низкое значение проницаемости, что может вызвать канализирование или ограждение потока.

Из-за таких дефектов, профессионалы моделирования резервуаров моделированию в полном масштабе геологической среды предпочли бы либо моделирование без пересчета на грубую сетку; либо с применением интеллектуального пересчета на грубую сетку, который сохраняет детальную разрешенность, где это необходимо, и загруbiaет области отсутствия углеводородов; либо сохранение целостности особенностей высокой или низкой проницаемости.

На рис. 3 приведен пример процесса интеллектуального пересчета на грубую сетку, использующего систему следующего поколения для пересчета наблюдаемых значений на равномерную сетку. Для этой модели, отображающей комплексы каналов, области сланцев с низкой проницаемостью (показаны синим цветом) предпочтительно загрублены, в то время как сохраняются мелкомасштабные детали атрибутов в области каналов. В более сложных, нарушенных разломами резервуарах может быть важным сохранение расположения разломов, в случае когда они могут играть экранирующую или неэкранирующую роль в течении углеводородов из одной области в другую. Множество боковых горизонтальных скважин делают пересчет на грубую сетку еще более сложным. Пересчет таких моделей традиционными методами может привести к неправильному расположению разломов и ошибочному прогнозу функционирования резервуара. Технологии следующего поколения выдвигают интеллектуальные методы пересчета, которые сохраняют первичные геологические детали в области разломов, расположения скважин и областей, определенных пользователем.

Другой инновационный подход позволяет уменьшить размер имитационной модели на основе интеллектуального автоматического разделения на слои, основанного на петрофизических свойствах в вертикальном направлении. Это исключает тяжелую, времяземкую и часто решаемую методом проб и ошибок задачу определения слоев, которые следует объединять для уменьшения размера пересчитанной модели.

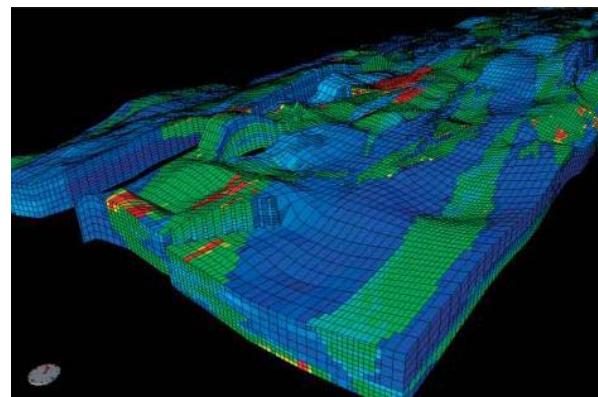
Моделирование потоков

Моделирование потоков представляет собой область, где самые значимые успехи были сделаны в показателях повышенной изощренности численных методов. Имитационные модели резервуаров традиционно остановлены на вскрытой поверхности в песчаном пласте или на головке насосно-компрессорных труб, а результаты

были переданы экспертам из других областей для вычисления поверхностной сети и проектирования производственных помещений. Этот метод больше не адекватен при решении задач, которые необходимо решать сегодня. Существует, например, много ситуаций, где общая поверхностная инфраструктура используется или будет использована для разработки сложных месторождений. Здесь единственная необходимость — ответить на такие вопросы как:

- Что собой представляет собственная последовательность для заложения различных скважин в различных месторождениях?
- Как влияет увеличение добычи из одного месторождения на добычу из другого месторождения?
- Какую роль это сыграет в проектировании производственных помещений, для производительности и расчета времени?

Рис. 3. Комплексный производственный процесс:



PowerGrid делает возможным гибкость при пересчете на сетку, пересчете и загрублении этой сетки для создания готовой к вычислению модели наряду с учетом геологических особенностей, где это необходимо. (Картина любезно предоставлена компанией Landmark, Halliburton Digital and Consulting Solutions. Данные любезно предоставлены компаниями BP и Wytch Farm Partnership, включая Premier Oil, ONEPM, Kerr McGee Oil (UK), и Talisman North Sea).

Важно избегать проектирования излишних производственных помещений для обеспечения максимальной добычи, которая может наступить в течение очень короткого периода времени, в то время как недорасчет производственных помещений может привести к сокращению и задержке возможной добычи.

Правильное определение времени разработки сложных месторождений, оптимальное количество скважин для каждого месторождения и оценка требуемых сооружений — это все экономические задачи. Обычно недостаточно получение моделей сложных резервуаров порознь и дальнейшее изменение масштаба отдельных моделей каким-либо образом для оценки характеристик производственных помещений. Для того чтобы сделать это правильно и охватить обратной связью поверхность и недра, требуется методика моделирования, которая включает тесно связанное и совместное моделирование поверхности и недр в одном цикле вычислений.

Геолого-геофизические методы для изучения резервуаров/Разработка

Методика моделирования следующего поколения, появившаяся на свет этой осенью, обладает этими способностями. Например, целая поверхностная/подземная система, показанная на рис. 4, может быть равномерно смоделирована с выполнением этих типов вычислений. Она также дает пользователям возможность добавления к системе дополнительных резервуаров, если новые месторождения увеличат добычу в будущем.

Вдобавок к сложности резервуаров, оценка расходов и проектирование скважин, которые обычно бурятся сегодня, также сложны. Двадцать лет назад большинство скважин могли быть спроектированы как простые вертикальные трубы. Сейчас почти любая скважина бурится направленно с увеличенным отклонением от своей оси и оборудуется приборами для скважинных исследований для контроля отдельных перфораций. Эти «интеллектуальные скважины» дают операторам огромную гибкость эксплуатации скважин, однако их моделирование должно образом требует создания более сложных моделей, чем те, что получены раньше.

В технологии моделирования следующего поколения ствол скважины рассматривается как расширение поверхности сети и как опора сети в большинстве случаев рассматривается в совершенно неизвестной формулировке. Стволы скважин можно моделировать как привязанные или «взятые в целом», что аналогично традиционной модели скважины. Давления в стволе скважины можно моделировать, учитывая углеводородные градиенты, или посредством множества корреляций падения давления. Поскольку ствол скважины моделируется как расширение поверхности сети, компоненты сети, такие как трубопроводная арматура и штуцеры, можно моделировать скважинным способом, поэтому технология может легко приспособить конфигурации «интеллектуальной скважины» и многосторонних скважин.

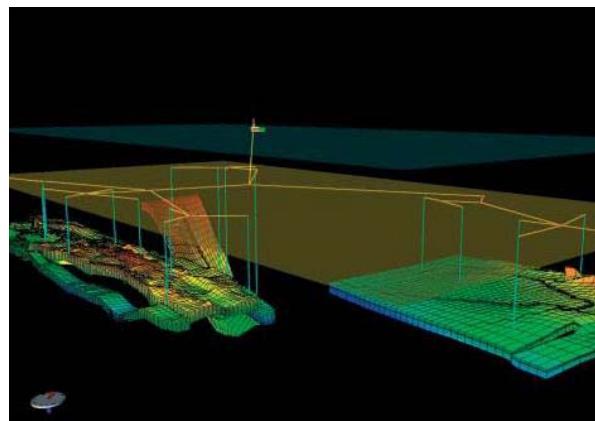
Как отмечено выше, благодаря успехам в моделировании геологической среды и технологиях пересчета на грубую сетку, работающие над проектом группы сейчас способны создавать очень реалистичные модели. Вдобавок к увеличению размера, учет многих разломов, выклиниваний, несогласий, неактивных ячеек и других особенностей добавляет то, что известно в терминологии моделирования как «несмежные» соединения. Как только количество «несмежных» соединений растет, программы моделирования первого поколения теряют свою эффективность.

Подобным образом, разумно пересчитанные на грубую сетку модели, приведенные на рис. 3, которые имеют соединения между блоками в различных масштабах разрешенности, также делают эти типы проблем сложными для программ моделирования первого поколения. Новая технология моделирования, которая использует не имеющую четкой структуры постановку, преуспевает для этих типов моделей. В прямых сравнениях этих типов моделей программы следующего поколения часто достигают скорости вычисления в пять раз большей, чем скорость сегодняшних коммерческих программ моделирования. Комплексируя передовые функциональные средства с выполнением улучшений, эта новая система дает работающим над проектом группам инженеров не имеющий конкурентов производительный инструментарий, давая большую возможность достижения совершенства за меньшее время.

Проектирование производственных сооружений

Проектирование производственных сооружений в интегрированной среде часто отсутствует в большей части процессов управления разработкой месторождения. Кроме того, это нужно делать согласно характеру процессов первого поколения, а также согласно отсутствию интегрированного программного обеспечения и производственным процессам. Другой инструмент следующего поколения для планирования месторождения может быть использован на многих этапах разработки и принятия решений. На первый взгляд, его можно использовать более традиционным способом для получения оптимальных концептуальных сценариев разработки, включая затраты и стоимость ресурсов. Исследование показало, что эта технология точна в пределах +/- 20%, используя постоянно обновляемую и уточняемую региональную базу данных цен, и часто может давать такой же ответ несколькими путями, что традиционно занимало много человеко-месяцев в случае применения других методов.

Рис. 4. Повышенная точность: программа *Nexus* предлагает сильное снижение времени исполнения для



полного цикла моделирования месторождения при привязке одного или нескольких резервуаров к общей поверхности сети по сравнению с традиционными программами для моделирования. *Nexus* возник при совместной работе компаний *Landmark* и *BP* и в начале был известен под именем *Project Falcon*. *BP* сейчас применяет *Nexus* на своих проблемных месторождениях, включая сложные резервуары в Анголе.

Эта технология планирования месторождения дает точное значение в случае его интеграции в поверхностное/подземное моделирование резервуара и экономические вычисления в рамках неопределенных и/или оптимизационных процессов, что будет рассмотрено ниже. В этих ситуациях система использует планы разработки скважины для расчета оптимальной концепции разработки и цен, которые затем используются в экономических расчетах.



Неопределенность и оптимизация

Система выбора решения (DMS) программы DecisionSpace — структура, управляющая процессами, описанными на рис. 3. До DMS не существовало структуры неопределенности и оптимизации, которая бы полностью интегрировала точное моделирование резервуара, моделирование потоков и экономику, несмотря на явный риск управления. Cullick и др. (2004) говорят о составляющих процесса принятия решения, а именно о цели, параметрах состояния, искомых переменных и процессе решения.

Цель — изложение задачи, такой как «максимизация чистой приведенной стоимости (NPV)» или «максимизация добычи». Неопределенности — параметры состояния, которые неточны и не могут быть проверены (например, реализация геологии, распределение параметров, контактов флюида в модели геологической среды, цены, будущие и капитальные затраты, а также цены на нефть и газ в финансовой модели). Они часто моделируются посредством непрерывных или дискретных плотностей распределения вероятности. Часто бывает необходимым рассмотрение особых сценариев и различных неопределенностей, которые могут быть представлены в каждом сценарии. Искомые переменные контролируются и могут быть различными в процессе оптимизации для достижения цели (например, размеры производственных сооружений, количество и расположение скважин, а также время и способ добычи).

Процесс оптимизации неизбежательно сходится к единичному математическому или «доказуемому» оптимальному решению, однако главное постепенная локализация цели поиском «лучших» решений. Часто, как в случае подбора параметров динамических моделей пласта, бывает необходимым определение сложных решений, которые могут быть перенесены с тем, чтобы импульс от неопределенности был учтен. Возможно, системе придется учитывать ограничения: некоторые ограничения, такие как максимальные оценки или возможности процесса, должны быть определены и учтены в программе моделирования потоков и другие механизмы, которые составляют производственный процесс, в то время как другие ограничения и требования, такие как толерантность к риску, будет необходимо рассчитать и подробно определить в процессе формулировки проблемы оптимизации.

Структура DMS была успешно использована с различными коммерческими приложениями для моделирования потоков, интегрированного моделирования, электронных таблиц и т.д., в различных ситуациях, которые были описаны в других местах (Cullick и др., 2005; Kabir и др., 2005).

Для анализа неопределенности DMS открывает эффективные пути упрощения неопределенностей и определения основных неопределенностей, которые управляют общим риском проекта. Классическая квазислучайная схема дискретизации, такая как Monte Carlo и Latin Hypercube поддерживается в DMS. Вдобавок к обычному применению экспериментальных моделей, DMS также позволяет использовать почти прямоугольные модели и технологии дискретизации Hammersley, которые делают возможным более эффективную дискретизацию в случае большого количества переменных. Могут быть определены корреляции между неопределенностями, а параметры могут группироваться для определения связей, которые должны быть учтены в процессе дискретизации, таким образом, в процессе дискретизации исключаются абсурдные комбинации.

С такими подходами, как схемы решения или исследование характерных случаев, решения не управляются целью или потенциальным риском. Проблемы разведки/разработки обычно имеют такое большое количество альтернатив, что человек не может просто добиваться совершенства решений, особенно, когда требуются расходы за неясность будут ли требования к цели со стороны статистического риска при применении глобального оптимизатора. Подход моделирование-разработка использует глобальный стохастический алгоритм поиска, который внедрен в DMS.

Устройство оптимизации здесь использовало служебные стандарты и эвристические подходы глобального поиска («метаэвристика»), которые включают запретный поиск, разбросанный поиск, линейное программирование и нейронные сети. Другой механизм оптимизации также может быть внедрен в структуру DMS, если будет необходимо. Структура DMS может быть использована для оптимизации планирования разработки или в обратной задаче согласования наблюденных данных о добыче.

Выводы

Сегодняшняя нефтегазовая индустрия меняется и стоит перед различными проблемами. Существует постоянная нужда повышения скорости для уменьшения длительности цикла. Организации ждут появления рационализированных процессов и уменьшения затрат; резервуары все сложнее обнаруживать; и компании требуют лучшего понимания неопределенностей, которые влияют на экономику проектов. Все эти изменения требуют большой междисциплинарной интеграции и точности. Для полного управления риском неопределенностей и для получения оптимальных решений, производственные процедуры необходимо запускать несколько раз во временных рамках практики. Решение этих проблем возможно при применении технологий следующего поколения и процессов, которые были проиллюстрированы в данной статье.

Ссылки на литературу

- Cullick, A. S., Heath, D., Narayanan, K., April, J., and Kelly, J. [2004] Optimizing Multiple-Field Scheduling and Production Strategy With Reduced Risk. Distinguished Author Series, *Journal of Petroleum Technology*, 77, 11, 2004.
 Cullick, A. S., Narayanan, K. and Gorell, S. [2005] Optimal Field Development Planning of Well Locations with Reservoir Uncertainty. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Oct. 9-12.
 Kabir, C. S., Gorell, S., Portillo, M.E., and Cullick, A.S. [2005] Uncertainty While Developing Multiple Gas/Condensate Reservoirs. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Oct. 9-12.