

Новые технологии моделирования пластов

The changing face of reservoir modelling

David Hardy,* руководитель отдела разработок, и **Andres Hatloy, VP Technology, Roxar Software Solutions,** приводят обзор разработок в области моделирования пластов, с акцентом на задачах моделирования коллекторов, стоящих в будущем перед инженерами и геологами.

В кратком историческом обзоре приводятся сведения о радикальных изменениях в области моделирования пластов, произошедших за последние полтора десятилетия. В памяти многих геологов до сих пор живы воспоминания о картировании и вычислении объемов коллекторов вручную, с помощью планиметра и миллиметровки. Ситуация в корне изменилась путем внедрения компьютерного построения карт, что позволило использовать большее количество информации при моделировании и сократило временные затраты, приведя в результате к значительному повышению качества моделирования. В настоящее время компании в большинстве случаев полагаются на результаты 3D геологического моделирования при планировании разработки месторождения и моделировании пластов. С помощью доступных в настоящее время средств стало возможным осуществление междисциплинарных проектов группами разработчиков, состоящими из профессионалов в различных областях. Пока еще нельзя сказать, что геологическое 3D моделирование общепринято во всем мире, но, несмотря на это можно с уверенностью утверждать, что для многих людей уже сегодня оно стало привычным и основным рабочим инструментом.

Смена размерности

Импульсом к повышению размерности стало осознание того, что стандартный подход к моделированию пластов, основанный на построении 2D карт, в значительной мере упрощал их строение.

В то время как геофизики и пластовые инженеры уже использовали преимущества трехмерного моделирования, геологи продолжали создавать неточные 2D модели. Они зачастую были настолько условны, что пластовым инженерам приходилось вносить ничем не обоснованные и не имеющие физического смысла поправки, чтобы добиться исторического соответствия. Это отражалось не только на низком качестве модели коллектора, но и приводило к абсолютно неверным оценкам запасов месторождения и прогнозирования добычи. Плохое качество моделей приводило к неверному планированию разработки, что, в конечном счете, могло привести и приводило к потере миллионов долларов.

Наиболее раннее применение технология 3D получила при моделировании месторождений, расположенных в Северном море. Сложное и разнородное геологическое строение областей подразумевало использование дорогостоящего оборудования, и в конечном итоге технология получила развитие практически до сегодняшнего уровня.

3D сегодня

Пластовое 3D моделирование развивалось достаточно быстрыми темпами. Средства моделирования стали общепринятыми и постоянными элементами рабочего стола. В настоящее время они составляют ядро постоянно пополняющегося набора инструментов. Преимущества более полной интеграции, позволяющей достичь большей эффективности, понятны всем. Уже привычной стала интеграция статической и динамической моделей и интеграция полной пластовой модели месторождения в процесс общего моделирования. Группы, состоящие из

теперь могут осуществлять более тесное сотрудничество при работе над моделью, таким образом, получая более полную картину изучаемого пласта и уменьшая количество «белых пятен».

Методика и технология совершенствовались по мере построения тысяч построенных 3D пластовых моделей. Совершенствуясь, инструменты становились также более легкими в использовании и доступными коллективу разработчиков в отсутствие исследовательских лабораторий.

Аспекты развития

В настоящее время по-прежнему существует множество технических аспектов для дальнейшего развития моделирования пластов, но требования бизнеса их в значительной мере превосходят. Модели пластов должны соответствовать установившимся бизнес-процессам и являться основой для принятия решений. Они являются основными при устранении «белых пятен» и соответствующих рисков на месторождении. За годы выполнения работ время выполнения проектов сократилось, в соответствии с чем возникла необходимость в сокращении временных затрат отдельных процессов. Смена демографической обстановки в индустрии и сокращение количества квалифицированных профессионалов потребовало большей отдачи от рядового персонала, что привело к необходимости создания простых в употреблении и стандартизованных инструментов. Даже сегодня, когда цены на нефть заоблачно высоки, уделяется постоянно возрастающее внимание управлению затратами и сокращения бюджетов IT подразделений не предвидится.

Изначально присутствующие недостатки

Даже, несмотря на огромное количество проведенных исследований, по-прежнему наблюдается большое количество изначально присутствующих недостатков.

Способность к взаимодействию: требования пользователей заключаются в открытости используемых решений, позволяющей простым образом управлять данными и потоками данных. Пользователям нужны средства, способные органично влиться в круг их повседневных

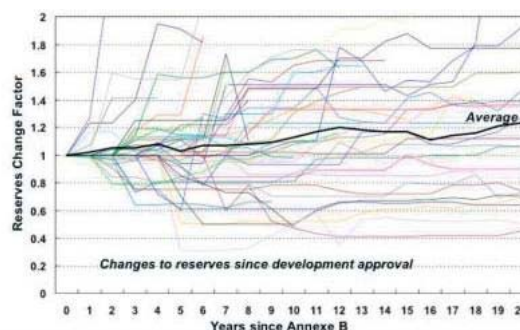


Рисунок 1 Прогноз запасов Великобритании

закрытые частные решения, как это имело место в прошлом, что «привязывало» их к использованию дорогостоящих решений от одного и того же разработчика.

Структурное моделирование: Основой для моделирования является построение точной структурной модели. К сожалению, в настоящее время ни один из используемых для этого инструментов не соответствует в полной мере требованиям скорости, гибкости и полноты. Месторождения, для которых однажды было определено отсутствие разломов или наличие разломных областей простого строения, в дальнейшем таковыми и остаются, несмотря на то, что их строение намного сложнее, нежели было установлено первоначально.

Используемые модели должны обладать как возможностью работы со сложными каркасными моделями, так и средствами построения соответствующего 3D грида в дальнейшем. Если построенную структурную модель месторождения нельзя использовать для геологического моделирования или симуляции, то, несмотря на всю ее «красоту», она остается малоприменимой. Решение в некоторых случаях может быть получено путем использования новых неструктурированных методов построения грида, но необходимо разрабатывать новые более полные решения.

Компромиссы при переходе от данных сейсмике к моделированию перестали соответствовать предъявляемым требованиям. Необходимо точное позиционирование разломов в пределах всей модели, ввиду их значительного влияния на течение и вытеснение жидкости в пласте. Данное требование заключается не только в построении точной геометрии разломов, но и в точном указании их свойств, таких как одно-многофазная пропускательная способность.

Большее количество обстановок осадконакопления

Большинство существующих методов моделирования может быть использовано применительно к широкому спектру обстановок и типов осадконакопления, но если речь идет о коллекторах, имеющих особо важное значение или обладающих особо сложным строением, эти методы зачастую необходимо адаптировать и настраивать соответствующим образом. Первыми подобными примерами являлись специальные средства, разработанные в начале 90-х гг прошлого века для речных и прибрежных обстановок осадконакопления. На фоне возрастающего интереса к глубоководным обломочным коллекторам, последние разработки содержат методы улучшенного моделирования турбидитных коллекторов. Для подобных типов коллекторов идеальными являются объектно-ориентированные методы. Гибкая геометрия, определяемая пользователем, в сочетании с

впоследствии учитывается путем ввода внутренних по отношению к объекту петрофизических зависимостей.

На большинстве разведанных месторождений с известняковыми коллекторами необходимо внедрение и применение специализированных методов, наилучшим образом отвечающих определенным задачам. Средства, используемые в настоящее время, широко используются применительно к трещинным коллекторам, реологические свойства которых зависят в целом от фаций исходного осадконакопления. Строение карбонатных коллекторов может изменяться от относительно простого до очень сложного. Кроме того, на их продуктивные характеристики могут оказывать влияние различные факторы. Изначально накопленные осадочные отложения зачастую подвергаются различным фазам диагенеза и дроблению. Существующие средства позволяют получить хорошую модель карбонатных отложений с помощью индикаторного и объектного методов; с целью более приближенного к действительности моделирования карбонатных коллекторов данные методы вне всякого сомнения необходимо совершенствовать и/или заменять новыми.

При все большем возрастании своего значения, причем не только применительно к карбонатным продуктивным пластам, моделирование трещинных коллекторов также испытывает развитие. Новые средства, такие как разработка Roxar под названием FracPerm, предназначены скорее для объектовых групп, нежели для экспертов по изучению, поскольку в них упрощены последовательность выполняемых процедур и интеграция с существующими средствами моделирования. Подобный переход от группы специалистов к объектовой группе отражает тенденции, наблюдаемые в области моделирования на протяжении 10 последних лет.

Вновь возросший интерес к моделированию трещинных коллекторов также привел к улучшению процедур трещинного моделирования при моделировании коллекторов. Двумя из последних разработок Roxar являются многочисленные форм-факторы для блока гридов и отдельного грида и модели двойной пористости. Данные разработки в результате привели не только к повышению качества и упрощению процедур статического описания трещин, но также в значительной степени способствовали повышению качеству их динамического описания.

Новые методы

Хотя существующие на данный момент технологии являются довольно мощными и уже приняты к использованию, инструменты описания неоднородности коллекторов продолжают постоянно и активно развиваться. Последним словом в этой области является многоточечная статистика (multi-point statistics, MPS). Этот метод, основанный на индикаторном анализе,

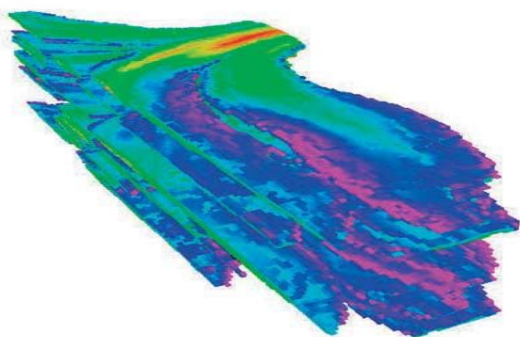


Рисунок 2 Модель турбидитных потоков.

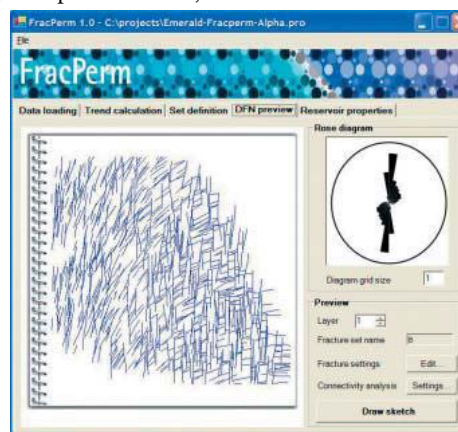


Рисунок 3 Трещинное моделирование стало привычной операцией.

является многообещающим, поскольку позволяет избежать проблем, возникающих при использовании для восстановления связности более ранних методов, основанных на индикаторном анализе, таким образом, создавая геологически адекватные модели. С помощью обучающих образов MPS способна воспроизводить сложную геометрию более быстрым и гибким образом, по сравнению с ранее используемыми индикаторными методами.

Хотя за последние годы MPS прошла довольно длинный путь развития, многие по-прежнему относятся к ней как к недостаточно развитому методу, но она продолжает развиваться и в ближайшее время может стать общепринятой. Возможно, MPS станет решением в случае необходимости специализированной интеграции данных и сложной подготовки скважины, но для множества месторождений, для которых связность является основным изучаемым фактором, наилучшим выбором по-прежнему остается применение объектно-ориентированных методов.

Интеграция данных

Средства 3D пластового моделирования зарекомендовали себя наилучшим образом при работе с разнородными и разномасштабными данными. Дальнейшие усовершенствования в области сейсмических и эксплуатационных данных соответствуют этой тенденции.

Поскольку качество сейсмических данных неуклонно и стремительно повышается, с их помощью можно получить еще более ясное представление о коллекторе. Поскольку в некоторых случаях особое внимание уделяется интеграции и интерпретации сейсмических данных, использование сейсмических данных для улучшения характеристик коллектора является существенным достижением. Данные сейсморазведки уже широко используются при моделировании коллекторов, обычно в смысле учета вероятностей. Путем использования фациального анализа и петрофизического моделирования можно включить в рассмотрение непосредственно атрибуты и данные сейсмического тренда. На сегодняшний день также существуют средства, позволяющие извлечь значимую геологическую информацию из данных сейсморазведки. Тем не менее, даже наилучшие сейсмические данные позволяют получить лишь картину с низким разрешением, качество которой к тому же в пределах месторождения сильно варьируется. На этой картине могут быть неразличимы различные генетические единицы, литофациальные комплексы и/или типы пород; к тому же, возможно, не будут отображаться тренды перехода в пределах генетических фациальных подразделений.

Наилучшие модели коллекторов всегда представляют собой компромисс между детерминированным и вероятностным подходами, задача при этом состоит в извлечении детерминистической информации и ее использовании в совокупности с прочими вероятностными методами моделирования.

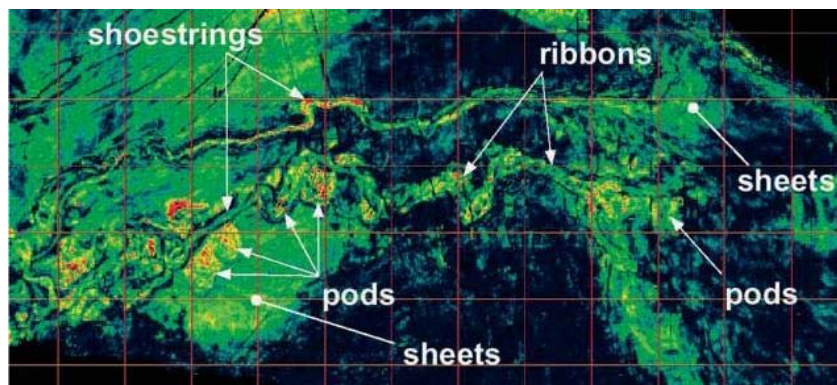


Рисунок 4 Геология коллектора, полученная с помощью сейсморазведки.

Probability that HCPV column is greater than 10m

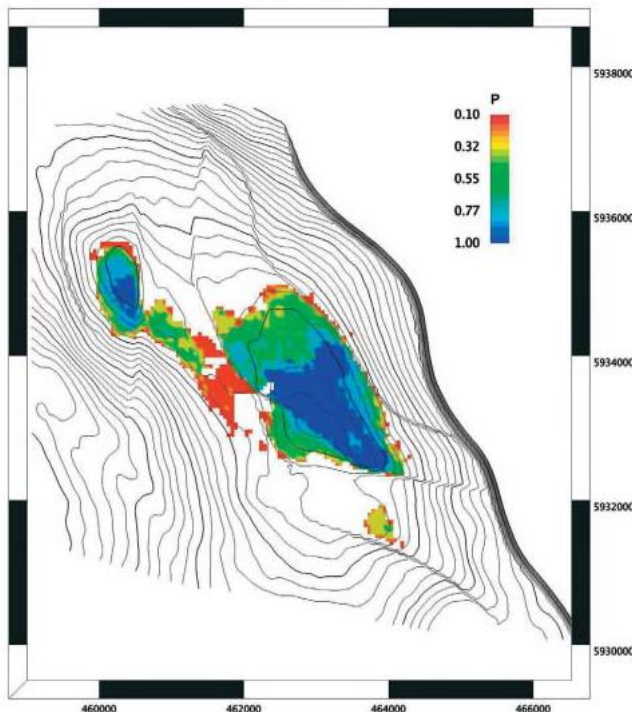


Рисунок 5 Неопределенности высоты ловушек.

Динамические показатели добычи обычно задействуются большинством алгоритмов моделирования коллекторов только на этапе установления возрастного соответствия. Как перейти от полностью статической модели коллектора к модели, учитывающей ранее определенные динамические показатели?

Правильное использование показателей добычи может очень существенно отразиться на улучшении прогноза свойств с помощью пластовых моделей, сократив при этом количество времени, необходимое на установление соответствия со стратиграфическими данными. Данной области было уделено особое внимание и были предприняты различные подходы к ее изучению. Не за горами промышленное использование этих технологий, которые уже стали превращаться в коммерческие продукты.

Связующим звеном между двумя этими областями является 4D сейсморазведка. Трехзвенная связь между статической, динамической и сейсмической моделью является очень многообещающей и в отдельных случаях уже применяется в стеке соответствующих процедур. Она обладает большим потенциалом предоставления качественной информации о связности коллектора и вытеснении.

Неопределенность моделей

Все модели по определению являются неверными. По словам George E.P. Vox (1972) 'Все модели неверны, но некоторые из них все же весьма полезны'. Средства пластового моделирования должны предоставлять возможность построения и управления множеством моделей и способов их построения для того чтобы изучить и понять все возможные неопределенности. Необходимо изучить неопределенности на каждом из этапов построения пластовой модели и проанализировать, какие из них имеют наибольшее значение. В свою очередь это позволит выявить неопределенности, которые затем можно будет уменьшить в ходе дальнейшей работы или сбора данных.

Преимуществом от использования современными средствами пластового моделирования усовершенствованных вариантов метода Монте-Карло является возможность использования пространственных решений, например объемных вероятностей и карт. Подобные результаты могут быть в наибольшей степени полезны при планировании разработки месторождения и размещении скважин. Они также могут предоставить информацию для дополнительного анализа и прогнозирования показателей добычи.

Несколько средств пластового моделирования уже способны реализовать некоторые из этих возможностей, а именно – средства управления доступом и средства выбора решений, которые продолжают развиваться, тем самым еще больше расширяя область своего применения. Не меньшей по степени важности задачей является интеграция подземных неопределенностей с прочими, связанными с разработкой месторождения (бурением, экономикой и т.п.).

Масштабное моделирование

При построении сложных моделей большего масштаба анализ неопределенностей обычно проводится «сверху вниз». Задачей при этом остается сохранение простоты моделей и быстрота их построения, при котором расстояние по латерали имеет преимущественное по отношению к глубине значение. При использовании больших и сложнопостроенных моделей очень трудно обработать все неизвестные неопределенности и возможные вероятности в отведенное на это время. Редкие данные + сложное подземное строение + различные способы построения = тратится слишком много времени. Сложностью этого метода является то, что у неопределенности нет какой-либо заранее определенной цели – а как восстановить неоднородность позже, когда она потребуется? Но, тем не менее, это интересный и прагматичный подход, поскольку большинство проектов, связанных с пластовым моделированием, привязаны к графику и ресурсным ограничениям.

Получение данных и моделирование в режиме реального времени

Задачами при работе с данными реального времени являются не только их фильтрация и управление ими, но также их эффективное использование в качестве инструмента для принятия решений. Современные средства пластового моделирования решают эти задачи путем обращения к широкому диапазону источников данных в реальном времени, позволяя пользователям ускорить процесс принятия решений путем использования инновационных процедур. Последние являются многообещающими в плане повышения скорости моделирования для управления бурением, эксплуатацией и мониторингом свойств коллектора.

Задачей последовательности операций 'моделирование при бурении' является построение модели практически одновременно с поступлением данных в реальном времени. Существующие сегодня средства моделирования уже позволяют получить доступ в реальном времени к данным, хранящимся на компьютере, посредством WITSML

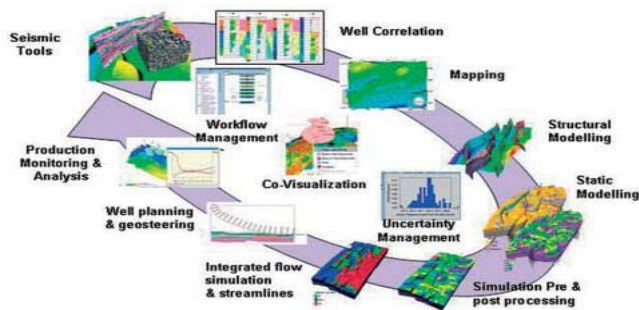


Рисунок 6 Возможно, в будущем последовательность операций пластового моделирования будет такой

и произвести обновление модели с помощью инструментов управления стеком процедур. Но эти средства все же далеки от полного управления моделированием и просмотра модели в реальном времени. Локальное обновление моделей гораздо более вероятно, нежели глобальное, таким образом, ускоряя процесс принятия решений. Наличие геологической модели высокого разрешения околоскважинного пространства позволит осуществить в дальнейшем моделирование каротажных диаграмм в реальном времени, предоставляя каротажнику возможность ознакомиться с ожидаемыми каротажными диаграммами. Также будут присутствовать связи с процессом построения траектории и объекта бурения, что позволит также отслеживать эти параметры в режиме реального времени.

Также возрастает необходимость в получении значений показателей добычи в режиме реального времени, что в настоящее время ограничено ввиду слабой ограниченной обратной связи скважинных приборов с моделями пласта. Данное направление развивается с меньшей скоростью, по сравнению с получением информации при бурении и также является одной из основных задач, стоящих в будущем перед пластовым моделированием. Как уже обсуждалось, использование показателей добычи в качестве условий при построении статической модели будет иметь важное значение для управления разработкой коллектора. Существуют также дополнительные способы оптимизации эксплуатации за более краткий промежуток времени. Нельзя недооценивать возможность визуализации показателей добычи одновременно с данными статической и динамической модели, поскольку это позволяет группам, ответственным за управление и эксплуатацию, осуществлять совместную деятельность. С целью оптимизации добычи путем быстрой адаптации к событиям по мере их возникновения, необходимо использовать интегрированные средства моделирования и анализа заводнения, совместно с практически моментальным откликом пластовой модели.

База знаний

По мере того как средства пластового моделирования стали инструментами, позволяющими осуществлять соединение в реальном времени с цифровыми моделями месторождений, стало необходимым не только получение данных на входе и выходе, но также сохранение опыта, накопленного при создании этих моделей. Пластовое моделирование заключается не только в наличии соответствующего ПО, но и в совершенствовании опыта и знаний сотрудников. Возможно наибольшей задачей, стоящей сегодня перед пластовым моделированием, является убедить людей обоснованно использовать средства моделирования. По мере упрощения ПО можно забыть, что для получения существенных результатов по-прежнему необходимы опыт и знания, которые не заменят даже самые совершенные технологии.