

Изучение и разработка коллекторов

Свежий взгляд на программное обеспечение для моделирования коллекторов (A fresh look at integrated reservoir modelling software)

Gerard de Jager и Raymond J.W. Pols из компании JOA Oil & Gas, базирующейся в Нидерландах, описывают работу их компании в области разработки пакета программных приложений и методов моделирования с целью определения, создания и простого обновления статических и динамических имитационных моделей коллектора. Приложение на платформе Windows .NET нацелено на решение некоторых ключевых задач в современном рабочем потоке мультидисциплинарного моделирования пласта-коллектора.

Главный двигатель для образования новых решений – это смещение рынка E&P в область, в которой разработка сложных месторождений и добыча тяжелых углеводородов становится все более и более важной. Это создает потребность в современных моделях коллектора с большой временной изменчивостью. Видение построения лучших и более качественных моделей коллектора можно реализовать путем отхода от концентрации усилий на создании лучших в своем классе элементов рабочего потока для статических и динамических моделей. Вместо этого предлагается создавать более качественную интегрированную модель коллектора типа «три в одном» – совокупность геофизической модели, геологической модели и имитационной модели коллектора. Это есть то, что мы попытались достигнуть, создавая пакет JOA Jewel Suite.

Моделирование сложного геологического строения

Множество современных промышленных пакетов для моделирования пытается перенести на трехмерную сеть модель коллектора, осложненную разрывными нарушениями, путем выравнивания ячеек вдоль разрывных нарушений посредством двух различных способов.

Недостаток первого метода, который показан

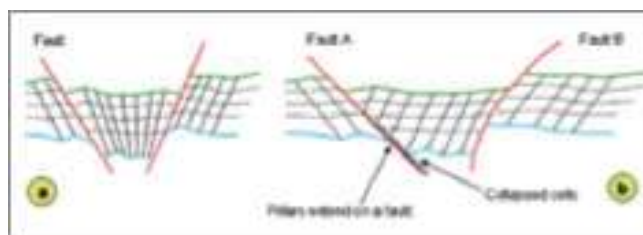


Рис. 2. Два примера создания сетки моделирования: а) ячейки выровнены вдоль плоскости разрывного нарушения без их усечения, б) ячейки выровнены вдоль плоскости разрывного нарушения с их усечением.

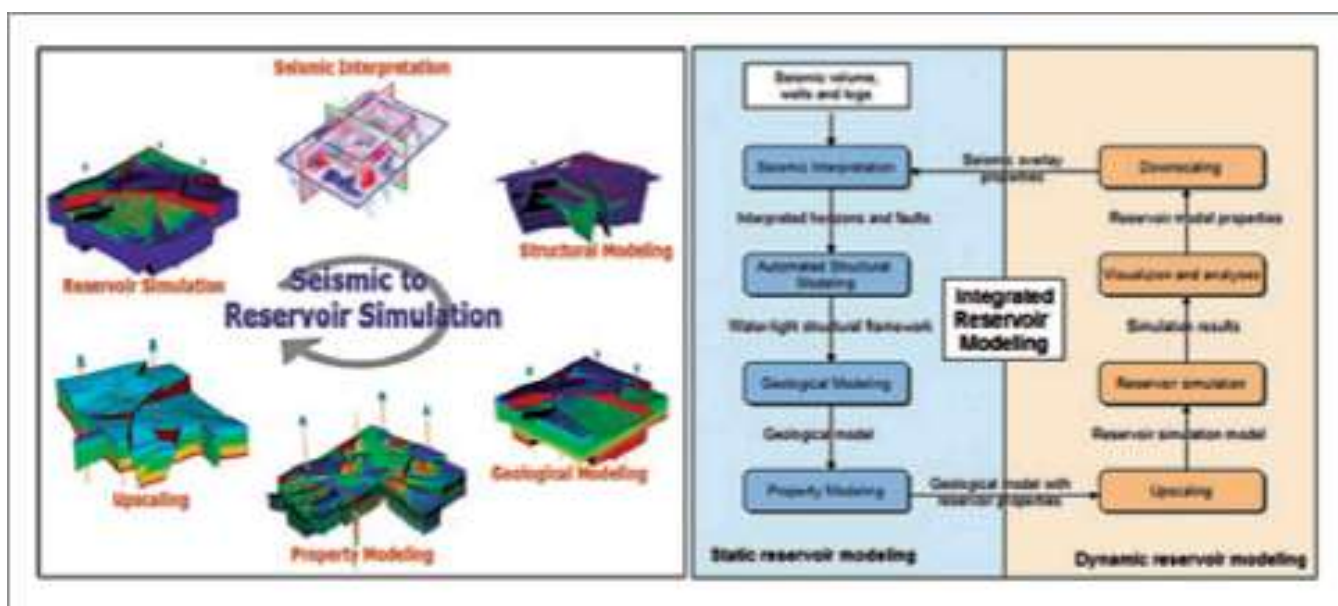


Рис. 1. Интегрированный рабочий поток пластового моделирования: слева, модели, созданные на основании изучения данных, а справа, шаг рабочего потока для работы как со статическими, так и с динамическими фазами моделирования.

Изучение и разработка коллекторов

на рисунке 2а, заключается в том, что горизонтальные размеры ячеек (блоков) сетки можно изменять не в очень больших пределах, и поэтому с помощью данного метода можно моделировать разрывные нарушения, только с относительно простой геометрией. В большинстве случаев этот метод дает почти вертикальные плоскости раздела. В результате более сложную топологию разрывного нарушения, например нарушения типа у, взбросы, и нарушения типа х нельзя учесть.

Второй метод, который показан на рисунке 2b, может учитывать и вертикальные плоскости раздела и горизонтальные плоскости раздела. Для горизонтальных плоскостей раздела он создает ячейки, сжатые вдоль поверхности нарушения, у которых усечены некоторые ячейки. Однако это образует искаженные ячейки в случае, когда нарушение, которым были усечены ячейки, заканчивается где-нибудь в середине модели. На рис. 3а показан пример, когда Нарушение А заканчивается и появляются искаженные ячейки по причине отсутствия поверхности, которая их сжимает.

Вывод из анализа данной проблемы заключается в том, что сетки, построенные с усечением ячеек, могут учитывать только простую топологию формы разрывного нарушения. Они не могут описать более нарушения с более сложной топологией, пример которых показан на рисунке 3b. Область между нарушениями, обозначенная как X, не может быть нанесена на сетку, потому что границы ячеек должны доходить до кровли или подошвы коллектора. Кроме того, в других сложных геологических ситуациях, типа пластов соли, стратиграфических несогласий и эрозии, может наблюдаться вздымание К-слоев, как показано на рисунке 3с, вследствие того, что ячейки не совмещены с поверхностью эрозии. Это также приведет к искажению форм ячеек, которые будут влиять на режим геологической имитационной модели и имитационной модели коллектора в остальной части рабочего потока.

Решение для пересчета данных на сетку

Одним решением этих задач, разработанным компанией JOA, является новый вид пересчета данных на сетку с использованием различных форм ячеек, который показан на рисунке 4. Он совмещает в себе преимущества метода пересчета данных на сетку с использованием различных форм ячеек, а именно, снижает требования к памяти компьютера и потребность в регулярном упорядочении стратиграфических уровней. Это также преодолевает упомянутые выше недостатки.

В данной сетке существует два типа ячеек: вертикальные ячейки и ячейки, простирающиеся вдоль таких несогласий как разрывные нарушения, интрузии и стратиграфические несогласия. Ячейки вдоль разрывных нарушений соединяют собой

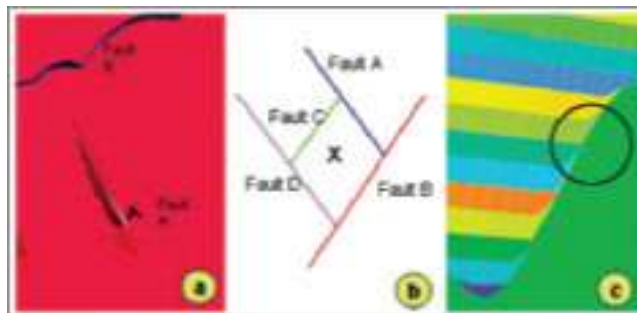


Рис. 3. Три проблемных области существующих методик пересчета данных на сетку: а) Вид сверху на деформированные ячейки в окрестности окончания Разрыва А, усекающего Разрыв В, б) Вид сбоку на разрез топологии разрывных нарушений, и с) Вздымание К-слоев.

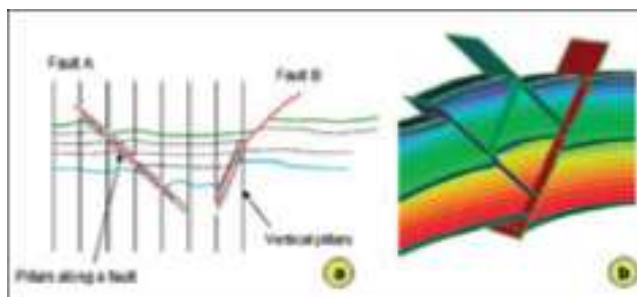


Рис. 4. Методики пересчета на сетку, основанные на вертикальных ячейках и многозначных суммированных разрезах: а) схематичное изображение, б) проблемная разрывная структура из рисунка 3b, разрешенная с помощью данной методики пересчета.

вертикальные ячейки. В результате горизонтальные поверхности могут быть смоделированы как несогласие, и метод построения сетки не требует, чтобы блок разрывного нарушения достигал кровли или подошвы коллектора. Это означает, что нарушения, в модели такого вида, могут также без проблем закончиться в середине коллектора. При этом не происходит искажение формы ячеек сетки вдоль несогласий. Процесс пересчета требует, чтобы поверхности разрывных нарушений были должным образом усечены друг напротив друга и, чтобы в модели не было пустот. Это достигается путем расчета линий усечения от края поверхностей в двух направлениях - сначала для направления внутрь для выявления любых пересекающихся поверхностей, а затем для внешнего направления для заполнения любых пустот (дырок).

Практический пример

В этой статье описывается и обсуждается преимущества интегрированного моделирования коллектора с использованием данной технологии пересчета данных на сетку и возможности создания в ортогональном базисе геологических и

Изучение и разработка коллекторов

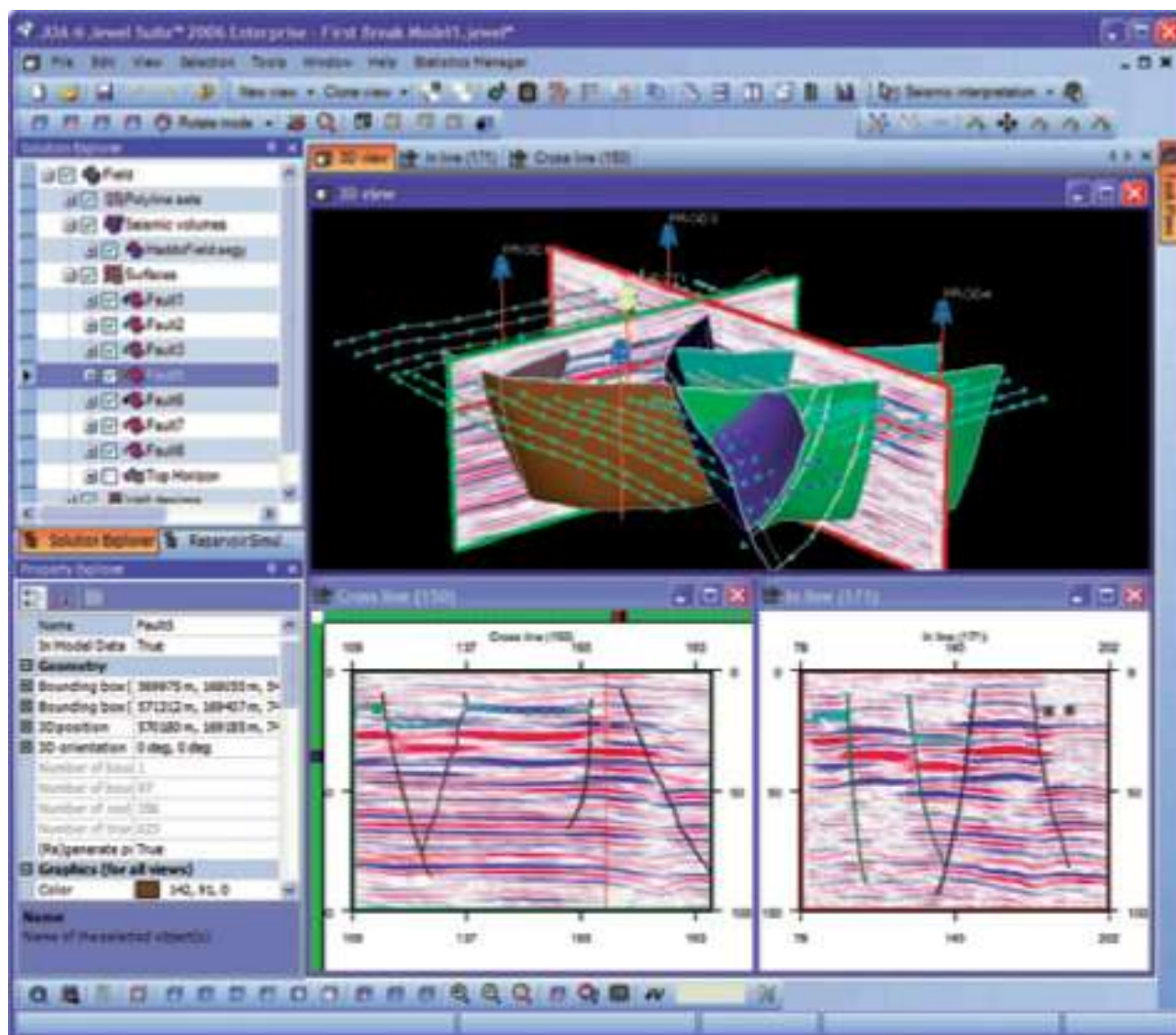


Рис. 5. Концепция моделирования в процессе интерпретации.

имитационных моделей в комбинации с автоматизированными средствами структурного моделирования. Производительность при построении больших комплексных моделей и время обновления модели для быстрых обзорных изучений, будут ясно показаны в данной статье. Также будут показаны многие преимущества данного метода для пользователей в промышленности.

Используя практический пример в этой статье, мы опишем полный рабочий поток от интерпретации сейсмических данных до пластового моделирования и реализации интегрированного моделирования коллектора. Это не односторонний процесс, так как мы будем также демонстрировать концепцию понижения масштаба свойств пластового моделирования к масштабу геологической модели, а также к масштабу куба сейсмических данных.

Модель в практическом примере содержит один главный горизонт и различные структуры разрывных нарушений: нормальные сбросы,

взбросы, и нарушения типа у. Существующие скважины включают в себя четыре эксплуатационных скважины и одну водную нагнетательную скважину в середине коллектора. Были созданы три проекта расположения скважин для проверки трех сценариев добычи из пласта.

Интерпретация сейсмических данных

Полный интегрированный рабочий поток начинается с интерпретации сейсмических данных, при которой можно интерпретировать главные геологические структуры в коллекторе. Пакет Jewel Suite выходит за пределы стандартного процесса интерпретации сейсмических данных и использует интегрированные и точные методики триангуляции для построения поверхностей на лету, в процессе ручной интерпретации или автоматического прослеживания. Это моделирование в процессе интерпретации дает хороший трехмерный обзор созданной структурной модели в полном содержании сейсмического куба, используя специальный метод просмотра (рис. 5). Помимо

Изучение и разработка коллекторов

самого процесса интерпретации, пакет обладает совместимостью с другими промышленными пакетами интерпретации. Это позволяет пользователю сразу перейти к следующему этапу рабочего потока - к построению структурной модели.

Автоматизированное моделирование

структурное

Создание трехмерной структурной модели представляет собой процесс установления связи между сейсмическим миром, в котором интерпретация нарушений, горизонтов и других структур делается по сейсмическим данным, и миром геологии резервуара, в котором создается трехмерная сетка со всеми ее свойствами для моделирования потока. Этот процесс создания структурной модели является также построением

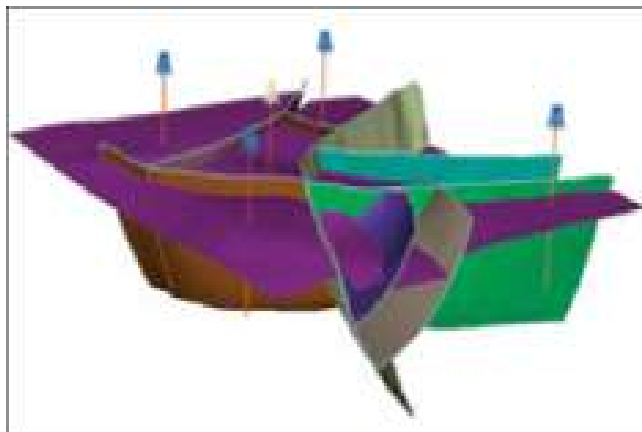


Рис. 7. Результирующая обоснованная структурная основа, на которой показаны всех моделируемые поверхности (горизонты и разломы), должным образом связанные.

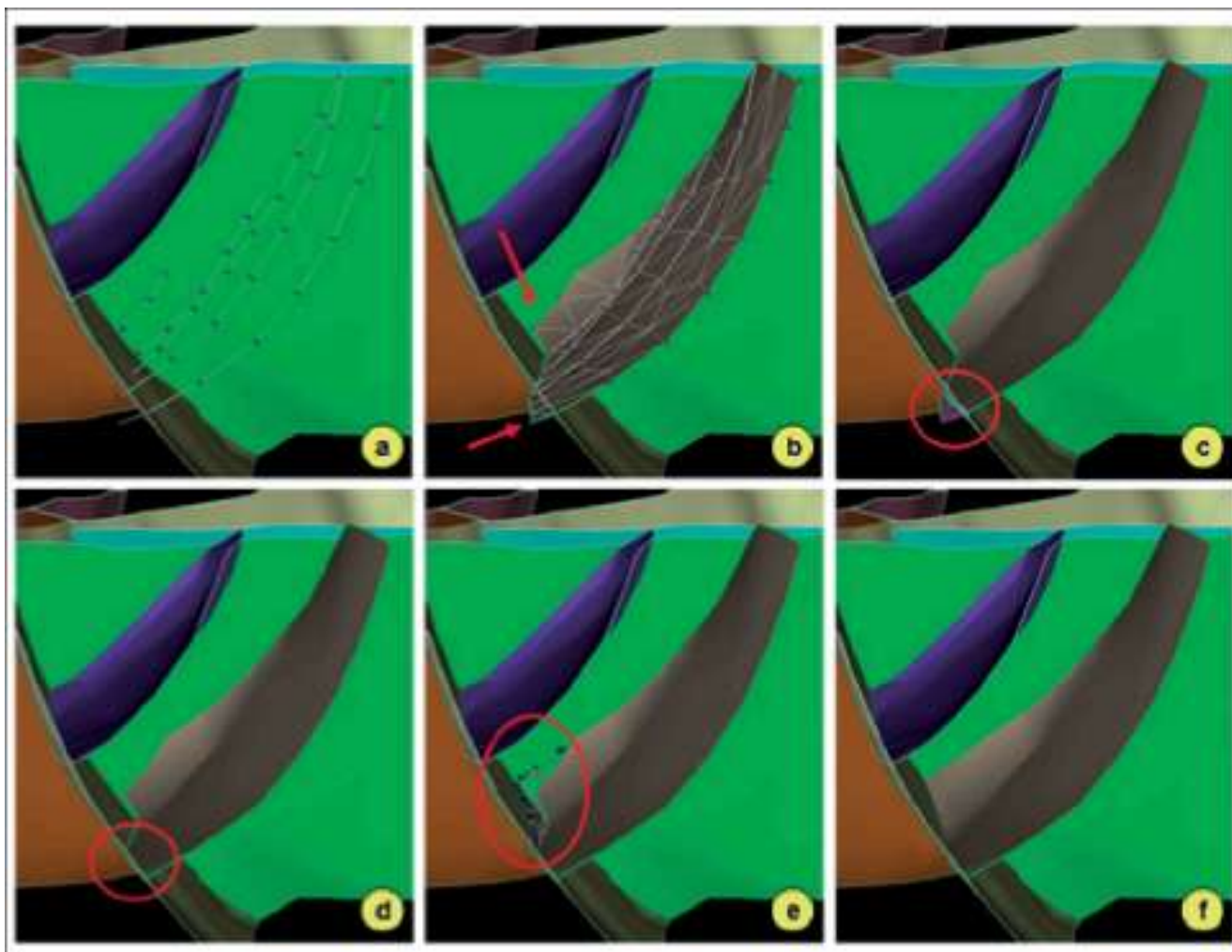


Рис. 6. Процесс создания обоснованной структурной основы с использованием автоматизированного средства создания структуры: а) одно из интерпретированных разрывных нарушений, б) нарушение после триангуляции на трехмерную поверхность; на рисунке показаны пересечение и пустой промежуток в направлении нарушения с левой стороны, с) предварительный просмотр области пересечения, d) процесс ретракции, автоматически разрешающий пересечение, е) предварительный просмотр добавочной области, и f) добавочный процесс, автоматически заполняющий промежуток, который в результате дает обоснованное соединение нарушения типа Y.

Изучение и разработка коллекторов

связи между сейсмическим миром и другими областями структурной геологии, такими как моделирование напряжений на месторождении. Сегодняшняя цель состоит в разработке автоматизированных методов расчета и алгоритмов для построения гладкой структурной модели и пересчета данных на сетку с учетом сложной геологии, нарушений типа у, усеченных нарушений, взбросов, солевых пластов и явлений эрозии. Новые методы для автоматизированного выделения повреждений, выделения горизонтов и разрывных нарушений в отложениях соли, и выделения горизонтов и разрывных нарушений при наличии эрозии были разработаны и они дают возможность инженерам-нефтяникам проводить действительно интегрированное моделирование коллектора. Если входные данные достаточно когерентны, то средство автоматизированного построения структуры в течение дней создает непротиворечивую трехмерную модель, содержащую любую структурную сеть разрывных нарушений в комбинации с горизонтами, соляными куполами и явлениями эрозии. Используя эти инструменты автоматизированного построения структур, все противоречия в структурной сети, такие как пересечения типа разрыв-разрыв, наложения горизонтов друг на друга, быстро разрешаются, уменьшая как время моделирования, обычно требуемое на построение структурной модели, так и количество ручной работы, необходимой для редактирования и оформления структурной модели.

На рисунке 6 изображен данный автоматизированный процесс, выполняющийся в нескольких шагах для прояснения одного

пересечения типа разрыв-разрыв. Данный процесс может также применяться сразу для нескольких поверхностей для дальнейшего ускорения процесса.

Как только получены трехмерные поверхности, или смоделирована структурная основа, она может быть привязана к реперам по данным ГИС для обеспечения согласованности между поверхностями и скважинами. Эта методология структурного моделирования приводит к автоматическому созданию полностью согласной структурной основы, которая является совместимой со всеми доступными данными ГИС. Таким образом, снижается сложность процессов построения модели и сокращается время на построение модели, и в то же время дается гарантия высокого качества модели коллектора, как показано на рисунке 7.

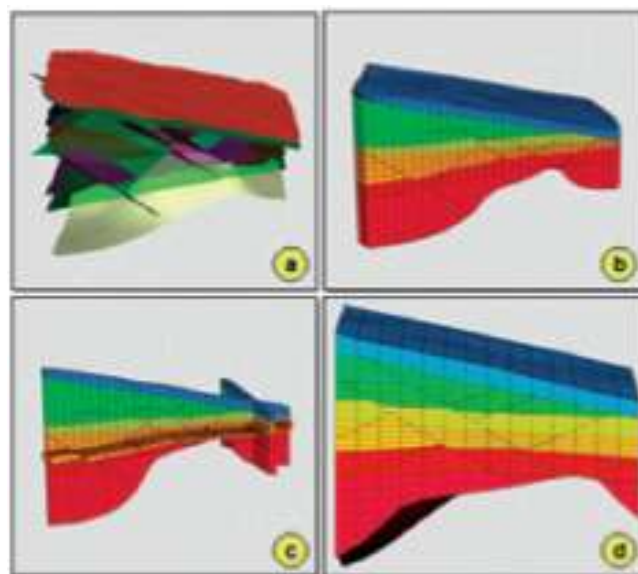


Рис. 9. Пример модели коллектора, которая сочетает в себе различные сложности геологического строения, которые могут быть автоматически смоделированы с помощью технологии пересчета данных на сетку: а) структурная основа, б) геологическая модель, с) срезы геологической модели, и д) ближний вид модели с передней стороны.

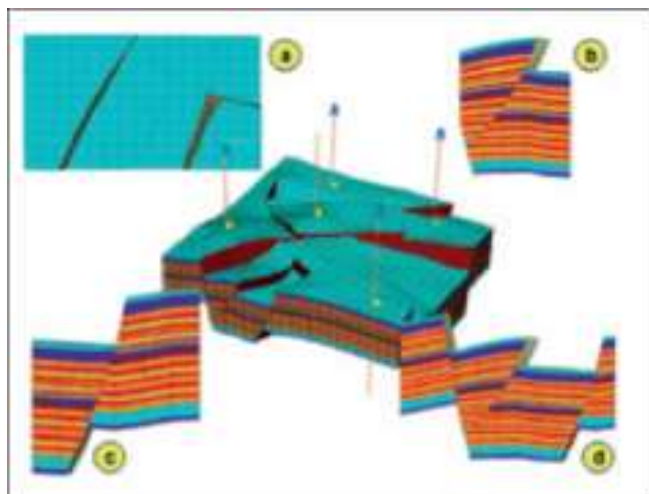


Рис. 8. Итоговая геологическая модель в середине, основанная на особом методе пересчета данных на сетку, который полностью учитывает входную структурную модель: а) вид сверху, на котором показаны идеально ортогональные наборы ячеек, б) учета взброса, с) учет нормального сброса, и д) учет нарушения типа у.

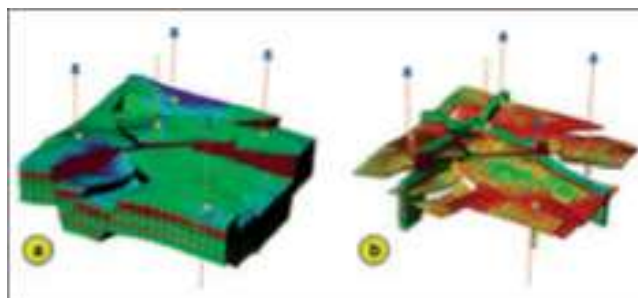


Рис. 10. Геологическая модель, на которой показаны результаты моделирования пористости: а) визуализация полной модели и б) визуализация трех срезов модели.

Изучение и разработка коллекторов

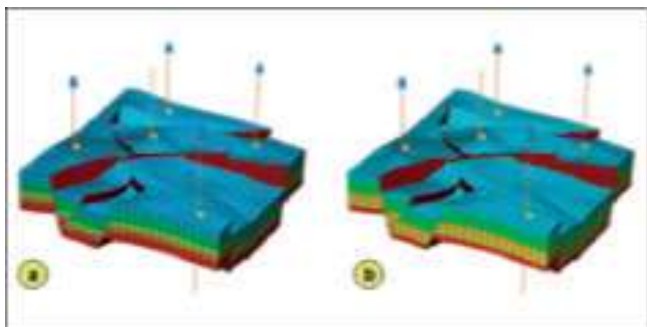


Рис. 11. Геологическая модель и имитационная модель, пересчитанная на грубую сетку, на обеих моделях видна структурная основа, вставленная в сетку. Это гарантирует реалистичное представление всюду в рабочем потоке.

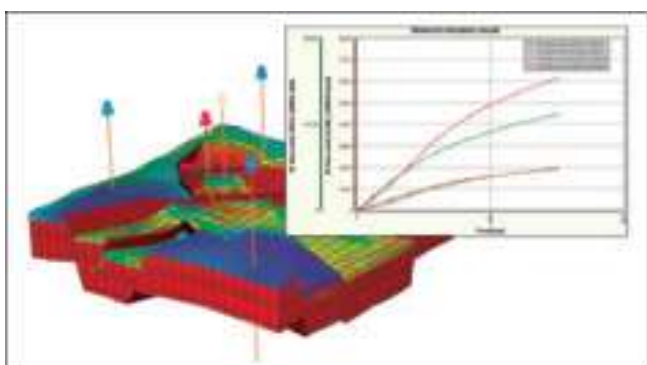


Рис. 12. Результаты пластового моделирования для свойств нефтенасыщенности и полной добычи, полученные в результате моделирования свойства нефти и газа с помощью средства пластового моделирования Sensor.

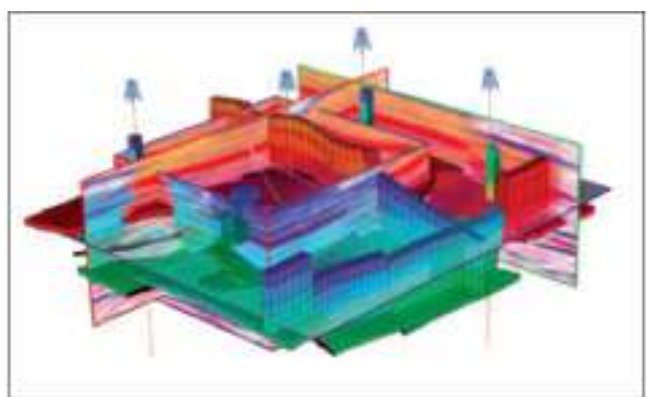


Рис. 13. Результаты пересчета данных на более мелкую сетку, наложенные на геологическую сетку и на срезы куба сейсмических данных, которые позволяют с легкостью проводить контроль качества всех свойств, полученных в результате моделирования коллектора, по всему рабочему потоку.

Геологическое моделирование

Геологическое моделирование выполняется с использованием технологии пересчета данных на сетку, которая была описана ранее. Этот процесс

автоматически создает гео-ячеистую модель коллектора. Определяя горизонтальную область моделирования, и создавая вертикальную слоистость из моделируемых поверхностей и скважин, можно создать реалистичное и точное представление геологии резервуара с использованием специальной топологии и методов для работы с сеткой. В нашем исследовании для моделирования кровли коллектора используется горизонт кровли. Используя доступные данные ГИС, были идентифицированы дополнительные маркирующие горизонты для нужд дальнейшего процесса моделирования. В результате этого были выделены различные геологические зоны.

Определенная область моделирования, которая определяет ширину и длину модели, размеры ячеек и направление моделирования, используется процессом пересчета для разделения на части структурной основы от её кровли до подошвы. В результате этой операции получается множество вертикальных многозначных наборов ячеек. Ячейки, приуроченные к разрывным нарушениям в структурной основе, обрезаются таким образом, чтобы поверхность разрыва полностью перешла в результирующую гео-ячеистую модель. На рисунке 8 показана геологическая модель для нашего исследования, на которой выделено множество смоделированных геологических явлений.

Помимо показанных примеров, другие геологические явления могут быть точно смоделированы с использованием автоматизированной технологии пересчета на сетку. В эту группу можно отнести следующие явления: стратиграфические несогласия, сложные взбросы, Y-нарушения, X-нарушения и соляные купола. На рисунке 9 показана еще более сложная модель, которая включает различные геологические структуры, скомбинированные в один резервуар: интрузия, сложный разлом и усеченные нарушения, и стратиграфическое несогласие в кровле резервуара. Нужно отметить превосходные результаты вертикального суммирования ячеек во всех представленных случаях; только ячейки, связанные с разрывными нарушениями были отсечены для точного следования за структурами разрывов.

Моделирование тел и свойств

Как только геологическая модель создана, добавление большего количества геологических особенностей производится посредством моделирования тел и свойств. Моделирование тел – процесс использования доступных скважинных и каротажных данных для вставки дополнительных слоев и форм в геологическую модель. Моделирование свойств включает в себя как детерминированные, так и стохастические методы, типа моделирования формы, последовательного гауссовского моделирования и последовательного индикаторного суммирования. Данные ГИС по

Изучение и разработка коллекторов

пористости, доступные для различных скважин в нашем исследовании поступали на вход процесса моделирования пористости в различных зонах коллектора (рис. 10).

Применяемые алгоритмы моделирования свойств, очевидно, учитывают геологическую модель, созданную по технологии пересчета данных на сетку. Это также гарантирует, что свойства геологической модели полностью согласуются со структурной основой и моделируемой стратиграфией.

Увеличение шага сетки значений и моделирование коллектора

Следующий шаг в процессе моделирования коллектора – это построение имитационной модели. Чтобы гарантировать непротиворечивую и интегрированную модель коллектора во всем рабочем потоке моделирования, применяется та же самая технология пересчета данных на сетку для создания имитационной модели коллектора на более грубой сетке с идентичным геометрическим представлением среды. Еще раз, реалистическое и точное представление геологии, топологии, и конфигурации резервуара присутствует в имитационной модели, что дает возможность проводить полностью интегрированное моделирование коллектора с совмещением трех моделей в одну.

Благодаря этой высокой степени ортогональности грубой сетки и абсолютному отсутствию неопределенных или так называемых сжатых ячеек, образуется идеальная комбинация геологического моделирования и пластового моделирования. На рисунке 11 показана геологическая модель и имитационная модель на грубой сети. Обратите внимание на то, что полная структурная основа полностью присутствует в полученной имитационной модели на грубой сети.

Интегрированное средство моделирования коллектора (третья сторона) создает схематическое сеточное представление, соединяя сложную геологию с геометрией на сети, полученную по данным сеточных свойств и скважинных перфораций, со средством моделирования пласта. Этот процесс позволяет правильно работать с многогранными ячейками в окрестности разрывных нарушений путем вычисления объема порового пространства ячеек и создания связей между несмежными ячейками через поверхности нарушений. Важное преимущество этого метода – непротиворечивые значения проницаемости по X и Y, что приводит к более точным вычислениям проницаемости и результатов пластового моделирования.

На рисунке 12 показаны результаты моделирования тяжелых нефтяных остатков пятилетней давности в коллекторе, с использованием одного из проектов расположения скважин для предсказания добычи нефти и газа для будущих наступающих лет.

Уменьшение шага сетки значений

Для замыкания цикла моделирования коллектора, доступны базовые методы уменьшения шага сетки значений. Это позволяет отобразить любое свойство пластового моделирования обратно в геологическую модель с более высокой разрешающей способностью или даже в куб сейсмических данных. Это позволяет выполнять контроль качества результатов пластового моделирования с помощью ранее созданных статических моделей. Так как все эти модели доступны в том же самом приложении, три модели в одной гарантируют интегрированную и естественно непротиворечивую модель коллектора. Вовлечение всех дисциплин моделирования в процесс моделирования позволяет совмещать интегрированную среду, лучшее понимание строения коллектора и оптимальное использование талантов в организации.

Вывод

Фундаментальная задача для наук о земле – это создание точной модели глубинного строения разреза. Начало этого процесса обычно заключается в создании того, что называют структурной моделью. Такая модель будет состоять из множества поверхностей, которые представляют собой крупные разломы и горизонты по результатам интерпретации. Структурная модель дает обоснованный каркас, в который средства моделирования пласта добавит слои масштаба коллектора и пластовые свойства. Это очень похоже на простую задачу, однако практически это весьма трудно сделать. Геометрические и топологические зависимости геологии резервуара весьма сложны сами по себе, и необработанные данные, снабженные типичной системой интерпретации обычно либо неоднозначны, либо несовместны для решения задач структурного моделирования. Подходы, которые основываются на упрощении предположений, которые не дают средству моделирования точно описывать сложные особенности геологического строения по сейсмическим данным, больше не приемлемы. Можно добавить множество особенностей для точного описания всех шагов эффективного и полностью интегрированного геологического моделирования и рабочего потока пластового моделирования. Однако, эти детали выходят за рамки этой статьи. Здесь мы просто описали основной рабочий поток для достижения настоящего интегрированного решения для моделирования коллектора. Выгоды этого метода можно охарактеризовать следующим образом:

- Высокая степень автоматизации, компьютерное моделирование и гибкость обновления модели. Все это уменьшает чрезмерное время на моделирование.

Изучение и разработка коллекторов

- Легкость в использовании: создание лучших моделей и сценариев для сложных месторождений, использование платформы Windows .NET по максимуму.
- Обновление и повторный расчет интегрированных моделей коллектора в течение времени существования, аудиторские испытания и будущие функциональные возможности.
- Совместная деятельность объектовых групп дает выгоду из естественного пути, по которому создаются и обновляются модели коллектора в течение фаз подготовки и разработки, и таким образом появляется лучшая видимость ситуации.
- Оптимизированная интеграция данных между дисциплинами путем отображения данных и пересчета свойств на грубую сеть между различными моделями коллектора, также называемая три модели в одной.
- Использование средства разработки программного обеспечения .NET (SDK) для интеграции собственного программного обеспечения в форме дополнительных модулей, подключаемых к основной программе.