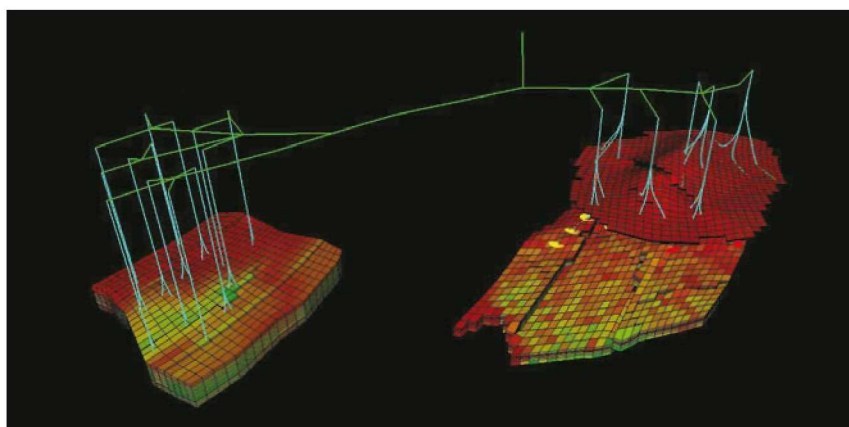


Разработка программного обеспечения для моделирования сложных коллекторов, соединенных общей наземной инфраструктурой

Designing simulation software for multiple reservoirs producing to a common surface facility

Ron Mossbarger, Graham Fleming и John Killough из подразделения Landmark business компании Halliburton описывают новое разработанное программное обеспечение для моделирования коллектора.



Моделирование сложных коллекторов, соединенных общей наземной инфраструктурой, позволяет управляющим активами более точно регулировать и оптимизировать месторождение и производственное оборудование.

Многолетний опыт извлечения нефти и газа из коллекторов привел нефтепромышленников к мысли, что при должной организации месторождений они могут увеличить срок службы своих активов и повысить общую добычу. Осуществление этого привело к развитию ряда технологий и методов, позволяющих оптимизацию выработки углеводородов, и лучшим свойствам коллектора.

Один из способов – моделирование коллектора применительно к геологическим моделям со сгущением сетки – сейчас дает возможным точно вычислить поток флюидов внутри и за пределами бассейна. Получив более точные модели динамики флюидов в резервуаре, управляющие активами могут с большей вероятностью оптимизировать производственный план своих активов.

Моделирование коллекторов построено на таких образцах, которые имеют механизмы, необходимые для понимания поведения флюидов в течение долгого времени. Как правило, для процесса, именуемого «настройка модели» коллектор калибруется с использованием имевшегося давления и данных о добыче. После удачной калибровки модели, ее можно использовать для предсказания будущей добычи или в качестве вспомогательного средства

для принятия решений. Она может также использоваться, например, в плане по улучшению программы разработки месторождения и достижению максимальной стоимости активов.

Разведочные работы становятся все более сложными, поскольку имеются трудности в разработке коллекторов. В настоящее время это привносит новые трудности для моделирования, в связи с чем, требуются новаторские решения. Такие проблемы включают: комплексное извлечение нефти для общих наземных объектов, сверхглубинная разведка, очень сложная геология и недостоверное описание коллектора. К счастью, прогресс науки решает такие проблемы.

Моделирующее устройство нового поколения

Одним из методов решений служит программное обеспечение, разработанное Landmark. Программа Nexus, предназначенная для моделирования коллекторов, разработана для получения высокоэффективных, неструктурированных, согласованных потоков с возможностью параллельной обработки и, в то же самое время, допуская решение соединенных поверхностной сеткой/приповерхностных уравнений. Для гибкости в этой программе применяются объектно-ориентированные принципы,

использующие результирующие структуры данных с сохранением производительности.

Идея состоит в том, что инженеры объектовой группы могут быстро сделать прогноз запасов и добычи, улучшить разработку и план переустройства месторождения и помочь в максимальном увеличении общей стоимости активов. Программное обеспечение позволяет равномерно соединить сложные коллекторы с различными флюидами и составами, привязать к общему наземному объекту и получить решение этого, словно оно единственное решение моделирования. Поскольку эксплуатируются и новые области, коллекторы можно включить в систему.

На каждый коллектор накладывается одна или более «сетка». Каждая сетка представляет совокупность ячеек, имеющих определенные общие свойства. Применение таких привязок объектов заметно облегчает технологические процессы, и их можно легко добавить или изменить. Совместное решение системы нескольких коллекторов и оборудования гарантирует везде последовательное соединение. Все ячейки сетки подвергаются одной числовой обработке (методы IMPES или косвенные), имеют одинаковое число углеводородных компонент и набор характеристик флюида (например, композиционная или тяжелая нефть). Однако разные сети могут подвергаться разной числовой обработке (методы IMPES или косвенный метод). Например, бывает полезным применить к околоскважинной области косвенный метод, а к остальной части – IMPES. Поскольку нет никаких требований к расстоянию между ячейками, все блоки скважины можно соединить одной неявной сеткой, а все оставшиеся ячейки – второй сеткой IMPES.

При моделировании сложных коллекторов, соединенных поверхностной сеткой, на любой бассейн обычно накладывается грид, и это будет разумным решением. Так как каждая сетка может обладать разными характеристиками, структура данных модели поддерживает возможность отличий по свойствам флюида, то есть некоторые

коллекторы будут обладать тяжелой нефтью, а другие – сухим газом или композиционные.

Еще одно применение структуры данных – параллелизация, при которой различные сегменты области вычисления простого или сложного коллектора, заключены как в сетку, что, в свою очередь, отображается на различных обрабатывающих устройствах.

Помимо массива информации, относящегося к включающим их ячейкам, сетка также содержит данные о внутреннем соединении и возможности передачи между ячейками. Они хранятся на основе прямых связей и не зависят от регулярности структуры (например, декартовой). Так как все взаимодействия потоков в программе обрабатываются по такому способу, становится возможным моделирование неструктурированных сетей.

Наравне с существованием «объектов» сетки, хранящим информацию о своих внутренних ячейках и связях между ними, существуют «межсеточные» объекты, содержащие данные об идентичности и связях двух взаимодействующих сеток (ячейки и способности к передаче), характеризующих взаимодействие. Это согласуется с центральной структурой данных. Также в этих объектах хранятся указатели на массивы, содержащие зависящую от времени информацию: давление, изменчивость и прочее, что необходимо для расчета обмена флюида между сетками.

Численное представление

Система состоит из трех высокоуровневых вычислительных областей, состоящих из сети, наложенной на коллектор, поверхностной распределительной сети (которая включает ствол скважины вплоть до песчаной фации), а третья область (перфорация скважины), представляет зону взаимодействия между первыми двумя областями.

Меняющиеся перфорации считаются частью всеобщей сети и составлены из массовой скорости потока через перфорации. В то время как сеть и уравнения потока воды в скважине всегда обрабатываются в полностью неявном виде, гарантируя полное соединение с системой коллектора, она сама может быть или IMPES, или неявная, или смешанная в зависимости от различных сетей, которая их содержит.

При применении сети используется представление коллектора, но присутствуют значительные различия. Обобщенный композиционный подход разделяет обработку свойств флюида от всего моделирования, так характеристики модели, несвязанные непосредственно с совокупностью свойств флюида, могут быть явно использованы для всех поддерживаемых методов ДОТ. Ньютоновские величины представляют датчики давления и компоненты массы. Первичные уравнения для ячеек коллектора являются уравнениями сохранения массы (одно уравнение на один компонент) и уравнениями связи объема. Это верно и для неявного метода, и для IMPES.

Важно заметить, что несколько факторов привели к значительному улучшению численного представления. В случае IMPES – использование полностью неявного притока воды в скважине позволяет применение намного большего временного шага. Это осуществимо благодаря тому, что приток в скважину часто вносит значительную неустойчивость в IMPES. Аналогично для неявного случая существует несколько факторов. Первый – представление о сохранении масс и особенно сходимости – уменьшают величину ошибки. Второй – улучшенный критерий сходимости приводит к точным решениям без многочисленных излишних итераций. Третий – улучшенный метод затухания также может помочь с лучшей сходимостью.

В дополнение к обычному уменьшению давления, насыщения и изменения состава, также ослабляется подвижность флюида, экстраполированного с использованием производных от движения. Чтобы ослабить изменения больших объемов флюида, применяется парциальный молярный объем. Для ячеек с тяжелой нефтью, чтобы уменьшить значительную подвижность через фазу, осуществлен контроль фазового перехода. Более того, программа работает только с выбранными ячейками внутри неструктурированного объекта. Процессор предварительной обработки убирает все пассивные ячейки. Это сокращает память и затрату вычислительных ресурсов на моделирование.

Наконец, неявная связь между поверхностной сетью и системой коллектора приводит к более быстрой сходимости комплексной системы управления, таким образом, уменьшается количество итераций Ньютона и связанных с ними дорогостоящих вычислений грида по временному шагу.

Моделирование сложных коллекторов

Моделирование сложных коллекторов с общим наземным объектом является важной экономической задачей. Прежде возникали значительные трудности, так как на одиночные коллекторы иначе накладывалась сетка, они изучались отдельно и часто разными людьми из объектовой группы.

Моделирующая программа рассматривает каждый бассейн сложных коллекторов как отдельный объект сетки. Однако сеть можно разложить на составляющие, возможно, для целей параллелизации. Структура сетки допускает имеющиеся дополнения и вычитание бассейна из группы коллекторов. Коллектор можно легко приспособить к построению новой модели с другой привязкой. Чтобы добавить измененную сетку в существующую группу, используется обыкновенный процессор предварительной обработки.

Дискретизация по времени

Максимально допустимый временной шаг для одной ячейки рассчитывается по значению максимального изменения компоненты массы ячейки (взвешенной к общей массе) за предыдущий временной шаг.

В случае сложного месторождения в различной степени дополнительная трудность состоит в численной несогласованности коллекторов. Поскольку каждый коллектор, возможно, может представлять совсем другую проблему (в перспективе обособленный коллектор), значения наибольшего допустимого временного шага для различных коллекторов могут значительно отличаться для целой системы коллекторов, будучи ограниченных наиболее «сложным» бассейном. Таким образом, необходимо взять наименьшее значение из максимально возможных временных шагов отдельных коллекторов. По этой причине, лучше все коллекторы рассматривать как неявные, в противном случае, маленький временной шаг, необходимый для коллекторов IMPES, может быть использован для целой системы, и выполнены вычисления для полностью неявных бассейнов. Вторичный эффект состоит в том, что коллектор с наиболее нелинейными свойствами (то есть требующий наибольшее число итераций Ньютона) может определить число итераций Ньютона для всей системы в целом.

К счастью, высокая производительность программы позволяет получить дискретизацию по времени одновременно с моделированием

большого числа ячеек, связанных со сложными объединенными коллекторами, таким образом, поддерживая жесткое соединение и согласованность всей системы. В структуре сеток нет различий в подходе между моделированием единичного коллектора и моделированием связанных коллекторов, кроме, конечно, другого числа ячеек.

Перепад давления для поверхностной сетки можно вычислить одним из двух способов. Можно использовать стандартные рабочие столы с гидравлическим приводом, использующие стандартный объемный расход нефти и его соотношения. В этом случае, пока расчеты свойств флюида отражают смещение различных изменяющихся потоков, подсчет перепада давления не происходит.

В качестве альтернативы, можно использовать соотношения для перепада давления, например, Beggs и Brill или Hagedorn и Brown. На сочленения трубопроводов автоматически накладывается «скрытая» сетка с разрешением, определяемым дебитом. Тогда используются соотношения, чтобы высчитать перепад давления по всей длине трубы. Несмотря на допущение об установившемся потоке в сети трубопроводов, удельный массовый расход остается фиксированным по всей длине, и только нужно вычислить изменения давления.

Полевые примеры

Морская зона Западной Африки

Этот бассейн включает шесть отдельных коллекторов, которые все должны соединиться через морские трубопроводы к расположенному в центре плавучему нефтекомплексу. Централизованное управление добычей и нагнетание воды и газа поддерживались системами нефтекомплекса. Месторождение расположено под толщей воды в 1200 м.

Для правдоподобного прогнозирования эксплуатационных характеристик требовались вычисления поведения трубопровода, а также пластов шести бассейнов. Следовательно, было важно увеличить взаимосвязь между давлением и интенсивностью из устьев скважин к поверхностной сети. Это было достигнуто моделированием возможности подсоединения к интегрирующей сети неструктурированной программы, которая соединит поверхностную сеть с моделями среды.

Ранее использовались и другие программы моделирования, но имеющие значительно большую стоимость

и высокие требования центрального процессора. Нефтедобывающая компания желала найти замену программе моделирования, которая бы предлагала те же самые выполняемые функции и результаты, но была более эффективной и с точки зрения времени работы и требований ЦП.

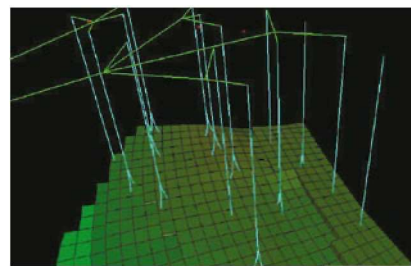
Для этого модели отдельных коллекторов были преобразованы под новую программу моделирования. Далее были выполнены несколько испытаний. Цель состояла в сравнении эффективности и возможности построения и испытания неструктурированной программы для модели сложного коллектора. Модель сети была настроена на определение разветвлений, отображая различные участки сети, то есть устья скважины, подводные манифольды, разделительные колонны и плавучие нефтекомплексы. Перепад давления и столы ДОТ были установлены для каждого соединения, определяемого между двумя узлами. В программе прогноли все модели за двадцатилетний период, а результаты сравнили.

Тестирования, выполненные программой моделирования на моделях отдельных коллекторов, дали хорошее соответствие в предсказании поведения пласта. Результаты сравнительных тестирований показали, что неструктурированная программа более устойчивая и работает быстрее, чем обе программы, использовавшиеся ранее. Серии испытаний представили три подводных разрабатываемых месторождения, различающиеся по размеру. Самая крупная модель состоит из 82,000 активных блоков, вторая – из 38,000 блоков, а третья модель – из 18,000 блоков. Графики результатов показали ускорение в два-три раза для более простых моделей и до 20 раз для сложных. Сильное увеличение было достигнуто, используя неструктурированную программу моделирования. Работа со сложными месторождениями объединяла семь различных коллекторов, это дало общее количество ячеек около двух миллионов, а активных ячеек - 199,973.

Ближний Восток

Возможность получения точного построения модели нескольких коллекторов, соединенных общим наземным объектом, была труднодостижимой целью моделирования. Раньше применялись слабосвязанные методы, но они могли получить хорошую сходимость комплексного решения моделирования. В худшем случае это приводило к неустойчивости, а

Новые технологии



Жестко связанный подземный/наземный образец вместе с новой программой для моделирования коллекторов дает возможность точного и быстрого построения модели движения флюидов внутри резервуара и полного влияния наземной инфраструктуры на коллектор.

в лучшем случае – к неточностям в решении, так как они должным образом не отвечали за полное взаимодействие коллектора.

Этот полевой пример показывает первое применение программы моделирования Nexus применительно к ближневосточному комплексу нескольких коллекторов с общим наземным объектом. Комплекс состоит из основного продуктивного горизонта, состоящего из четырех расположенных друг над другом антиклиналей. Обнаруженный в середине 1950-ых годов, комплекс является самым в сравнении с другими активами, но его бассейны все еще содержат достаточно запасов. Наземный объект состоит из центров добычи и имеет возможности к газлифтной эксплуатации и закачиванию воды.

Здесь задача состояла в моделировании всех четырех разнородных коллекторов, соединенных общей наземной инфраструктурой, используя два различных программных пакета для моделирования. Параллельно происходило управление сравнительными параметрами в электронной таблице и моделирование поверхности.

Данные для двух бассейнов были взяты из существующих имитационных моделей ECLIPSE. Данные для других двух бассейнов были взяты из существующих моделей VIP. Для любой отсутствующей информации, включающей наземный нефтепровод и/или центральные пункты промышленного сбора, использовался произвольный выбор длины трубопровода в 2 км. Также диаметр наземного трубопровода был принят равным шести дюймам.

Четыре коллектора были объединены в одну 600,000-ячеечную модель. Это было сделано автоматически при предварительной обработке в программе. Особенность результирующей модели включала способность к автоматическому

переключению трубопроводов более чем 500 скважин среди шести различных разделительных пакетов в пунктах промыслового сбора в зависимости от устьевого давления и объемов добываемой воды.

Перед моделированием полностью соединенного бассейна и модели поверхностной инфраструктуры, сделали проверку данных, сравнивая период добычи с приблизительно 1955 по 2005 г.г. для каждого из четырех коллекторов в отдельности. В целом, соответствия между первоначальным моделированием и произведенным с помощью программы Nexus были чрезвычайно близки для каждого из четырех коллекторов.

Как только проверка была закончена, для полной модели, включающей все четыре коллектора и наземные объекты, была запущена программа за период, охватываемый свыше 60 лет. Получившийся прогноз впервые продемонстрировал взаимодействие бассейнов и наземной инфраструктуры, включая перераспределение добычи и закачивания, на основе ограничения оборудования. В результате

оказалось, что модель сложного коллектора представляет инструмент планирования и оптимизации месторождений, дающий прогнозы, которые могут использоваться с большей уверенностью благодаря существующей физики для разработки месторождения.

Выводы

Использование объектно-ориентированных принципов для определения сетей значительно увеличило гибкость структур данных, необходимых для поддержания различных и важных способностей. Такие способности включают моделирование многопластовых связанных коллекторов, неструктурированных сетей типа PEVI и параллелизации разных уровней неоднородности.

Такие полезные возможности были реализованы в новом программном обеспечении без потери эффективности. В действительности, выполнение является крайне эффективным, и в настоящее время исходные показатели равным образом указывают на значительно лучшую эффективность коммерческих программ моделирования коллекторов, использующихся для стандартного моделирования систем отдельных бассейнов.

В этом смысле, подход Nexus является масштабируемым. Например, он эффективно работает не только с обычными заданиями, но и с более сложными, а именно со сложными коллекторами и поверхностными сетями.

Кроме этого, улучшенные рабочие характеристики программы дают совместный метод решения сложных коллекторов и общей наземной инфраструктуры.

Литература

Al-Matar, B.S., Pathak, A., Mandal, D., Killough, J., Fleming, G., Engle, C., Brock, N., and Varma, S. [2007] Next Generation Modeling of a Middle Eastern Multireservoir Complex. *SPE Reservoir Simulation Symposium*, Houston, SPE 106069.

Shiralkar, G.S., Fleming, G.C., Watts, J.W., Wong, T.W., Coats, B.K., Mossbarger, R., Robbana, E., and Batten, A.H. [2005] Development and Field Application of a High Performance, Unstructured Simulator with Parallel Capability. *SPE Reservoir Simulation Symposium*, Houston. SPE 93080.