

## ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В статье анализируются причины, ограничивающие широкое применение результатов полномасштабного геолого-фильтрационного моделирования в нефтегазодобывающей отрасли. Вводится понятие оперативной (оценочной) модели и даётся её определение и место применительно к актуальным задачам моделирования.

*Ключевые слова:* геолого-фильтрационное моделирование, оперативная (оценочная) модель.

В настоящее время геологами нефтяниками широко используются геолого-гидродинамические модели. По определению, приведённому в Национальном стандарте РФ (Проект Национального..., 2008), под постоянно-действующей геолого-технологической моделью (ПДГТМ) понимается объёмная имитация месторождения, хранящаяся в памяти компьютера в виде многомерного объекта, непрерывно уточняющаяся на основе новых данных. ПДГТМ представляет совокупность цифровой интегрированной Базы Данных, трёхмерной геологической модели, двухмерных и трёхмерных фильтрационных моделей и программных средств.

С помощью моделей решаются научные задачи и задачи, связанные с проектированием разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений. Однако, применение их в массовом порядке для решения повседневных производственных задач сталкивается с рядом проблем научно-методического и организационно-технического характера. Это резко ограничивает внедрение результатов моделирования в производство. В статье рассматриваются проблемы эксплуатации геолого-технологических моделей в нефтедобывающих предприятиях и возможные пути их решения.

бы является наличие актуализированной модели и прирост новых запасов нефти. Специалисты отдела разработки считают, что база данных должна изменяться ежемесячно, но при этом хотят видеть геологическую модель неизменной, так как она утверждена в проектных документах.

Отдел повышения нефтеотдачи пластов, занимающийся подбором потенциальных объектов и технологий хотят, чтобы модель в оперативном режиме давала доступ ко всей геолого-промысловой информации и готовые решения по видам ГТМ. Целевые функции и состав работ структурных подразделений, эксплуатирующих модели представлены в табл. 1.

При этом особую ценность приобретает не автономное (независимое) решение производственной задачи, а организация работы предприятий с возможностью создания автоматизированных рабочих мест. Для решения производственных задач может эффективно использоваться концепция компьютерного моделирования, где в качестве рабочего ядра программ применяются средства построения и эксплуатации геологической и фильтрационной моделей. Технология моделирования должна обеспечивать глубокое внедрение в инфраструктуру предприятия. Поэтому существенным отличием комплексов по моде-

### 1. Задачи эксплуатации геолого-технологических моделей

Разные структурные подразделения нефтедобывающих предприятий требуют от модели решения различных производственных задач. Отдел АСУнефть занимается загрузкой новой информации, сопровождением системы моделирования и оценкой эффективности проводимых мероприятий. Их требования к модели заключаются, прежде всего, в безотказной работе программного комплекса и отсутствии сбоев в обновлении баз данных. Специалисты геологического отдела непрерывно уточняют и перестраивают модель. Критерием полезности модели для этой служ-

Наименование службы	Целевая функция	Состав работ
АСУнефть	Актуализация Базы Данных	1. Загрузка и проверка данных 2. Подготовка ежемесячных отчётных форм по эффективности ГТМ
Геологический отдел	Непрерывное уточнение и перестройка модели	1. Выбор и обоснование точек бурения и зарезки 2-х стволов 2. Ликвидация и консервация скважин 3. Движение запасов
Отдел разработки	Контроль за соблюдением проектных решений	1. Анализ разработки по объектам и блокам; 2. Анализ карт изобар; 3. Построение карт разработки; 4. Движение фонда скважин 5. Анализ разработки 6. Контроль компенсации отбора и закачки по объектам 7. Планирование уровней добычи
Отдел повышения нефтеотдачи	Достижение проектных уровней добычи нефти за счёт проведения ГТМ	1. Подбор объектов для проведения ГТМ 2. Подбор технологий воздействия 3. Определение реагирующих скважин 4. Мониторинг эффективности ГТМ

Табл. 1. Целевые функции и состав работ структурных подразделений.

лированию является широкое использование достаточно простых оценочных моделей, позволяющих проводить расчеты при отсутствии части параметров.

Притом, что отделы решают разные задачи, исходная информация в виде Базы Данных остаётся единой. Отсюда следует сделать вывод о том, что существует проблема, как увязать в рамках одного программного продукта все звенья технологического процесса эксплуатации месторождения. Техническая политика компании-недропользователя может быть разной. Например – все программные продукты от одного производителя. Это позволяет добиться определённой унификации форматов, состава входных и выходных данных, но значительно удорожает эксплуатацию моделей и неоправданно повышает квалификационные требования к службе сопровождения и порой приводит к расширению штатов. Если все задачи решаются в рамках одного комплекса, то ответственность за конечный результат целиком возлагается на программный продукт, а не конкретных специалистов, принимающих производственные решения

## 2. Информационные аспекты эксплуатации программного обеспечения

Программное обеспечение для мониторинга разработки основано на использовании трехмерной структурированной по пропласткам геолого-фильтрационной модели на всех стадиях технологического процесса, включая оценку эффективности, планирование и мониторинг ГТМ. Для всех приложений используется единая база данных, включающая всю необходимую информацию для технологических расчетов. Все решаемые задачи логически распределены между самостоятельными модулями программы. Для эффективного освоения моделирующей системы широким кругом промысловых геологов предусмотрен простотой пользовательский интерфейс и возможность быстрого получения конечных результатов.

Функциональные требования к программному обеспечению непрерывно возрастают. В то же время, как показал опыт эксплуатации, базовый набор функций на протяжении длительного времени развития существенно не меняется. Очевидно, это продиктовано научными знаниями (тезаурусом), накопленным в нефтепромышленной геологии начиная с 60-70 г.г. прошлого века. Многие компании как стандарт работы с моделями сформулировали перечень требований к программному продукту. Эти требования могут быть объединены в несколько укрупнённых разделов.

Геологическая часть включает работу с контурами (нефте- и газоносности, линиями выклинивания и замещения коллекторов), корреляцию пластов, формирование геологических профилей, 3D блок-моделей. Кроме того, нужна возможность расчёта и вывода в твёрдую копию геологических карт (структурных, эффективных и эффективных нефтенасыщенных толщин, фильтрационно-емкостных параметров (нефтенасыщенности, пористости, проницаемости и т.д.). Завершается работа с геологической информацией подсчетом начальных балансовых запасов нефти и коэффициента нефтеизвлечения (КИН) по различным произвольным участкам, зонам насыщенности и залежи в целом. Гидродинамическая часть включает воз-

можность внесения изменений в относительные фазовые проницаемости (ОФП), корректировку значений параметров в узлах сетки, которые необходимы для проведения адаптации фильтрационной модели. Нужна также возможность сопоставления расчётных и фактических показателей разработки, пластовых и забойных давлений, как по отдельным скважинам, так и группам скважин и залежи в целом. Необходим также аквифер, который позволяет установить граничные условия. Технологическая часть должна также включать возможность подбора объектов по заданным критериям, выбор оптимальных технологий воздействия и экспертную оценку эффективности геолого-технических мероприятий (ГТМ).

Данные функциональные требования к продукту были расширены путём включения интерфейсных требований и требований, связанных с возможностью эксплуатации ПО в общей информационной системе нефтегазодобывающего предприятия.

Состав требований к программному продукту для мониторинга разработки постоянно возрастает, а разработка самого программного продукта перерастает в серьёзную научно-исследовательскую работу, проведение которой требует больших временных и финансовых затрат. Перейдём к рассмотрению конкретных требований к программному продукту, объединив их для удобства в несколько разделов.

## 3. Конвертирование и загрузка полномасштабных моделей

Широко известно использование для управления разработкой нефтяных месторождений полномасштабной геолого-фильтрационной модели (Булыгин, Медведев и др., 2001; Булыгин, Ганиев, 2008), полученной с помощью комплексов геолого-гидродинамического моделирования. Однако моделирующие системы, применяемые на российском рынке, не рассчитаны на оперативную работу геологов-разработчиков нефтегазодобывающих управлений. С целью организации работы с имеющейся моделью и доведения ее до потребителя может быть использована процедура конвертирования.

Необходимость загрузки данных построения геологической и гидродинамической модели из одних программных продуктов моделирования в другие возникла одновременно с тем обстоятельством, что в нефтяной промышленности были построены геолого-фильтрационные модели практически по всем месторождениям. Так как модели исторически строились в разных программных продуктах, под различными системами управления базами данных и имели совершенно непохожую друг на друга идеологию построения, актуальным стал вопрос о создании программ, так называемых конверторов. Задача программы конвертора состояла в том, чтобы с максимальной экономией средств и ресурсов актуализировать уже существующую геолого-фильтрационную модель и дать второе дыхание модели.

В качестве примера рассмотрим процесс импорта полномасштабной модели из Petrel в ПК ДельтаОйл. Сначала создаётся пустой проект базы данных, содержащий все необходимые справочники, применяемые в данном регионе и незаполненные формы таблиц данных по геологии,

разработке, исследованиям скважин и ГТМ. Кроме того, заводятся массивы данных для параметров трёхмерной модели. Затем, структурная модель, кубы параметров и признак активности ячеек выгружается в обменный формат данных GRDecl. После этого, с помощью специализированной программы конвертирования данные переписываются в структуру ПК ДельтаОйл. Кроме перечисленного, загружаются исходные данные по пластопересечениям, траекториям скважин, параметрам проницаемых интервалов, а также поверхности контактов, контуры нефти и газоносности, линии и границы тектонических нарушений и пр. Таким образом, процедура конвертации заключается в грамотной передаче математических параметров модели по скважинам и межскважинному пространству, расчётной сетки модели, значений параметров модели в узлах сеточной области и исходной базы данных.

Как пример, на рис. 1 показан общий вид модели, выгруженной из программы Petrel с сохранением числа слоёв по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ .

Однако для практических целей при конвертации модели целесообразно сохранения шаг по осям  $x$  и  $y$ , равно примерно 50 м, но по оси  $Z$  шаг уменьшать в 10-15 раз, что позволяет существенно увеличить скорость работы с моделью. Отказ от излишне мелких сеток по  $z$  (0,2 м) снижает детальность модели, однако общее количества ячеек соответствует требованиям, предъявляемым для расчёта фильтрационной модели.

На сегодняшний день накоплен большой опыт по конвертированию геолого-фильтрационных моделей из одних программ для моделирования в другие. Однако после процедуры конвертирования полноценная эксплуатация модели невозможна. Из-за потери связи с исходной моделирующей системой такая модель может быть использована только для визуализации, выбора траекторий боковых стволов и оценки начальных и текущих запасов нефти. Проведение гидродинамических расчётов на конвертированной модели имеет существенные ограничения.

#### 4. Использование оперативных (оценочных) моделей

Модель это компромисс между общностью (генерализацией) и точностью воспроизведения частных. Нужно находить компромисс, так как чем модель проще, тем она более устойчива. По этой причине для проведения оперативных расчётов не всегда целесообразно выделение в законченные самостоятельные части геологической и гидродинамической моделей, так как эти модели важны в совокупности, в качестве итогового результата. Для удобства проведения расчётов достаточно их условное выделение. Тогда совершенно не требуется и большая детальность геологической модели по вертикали равная шагу интерпретации каротажа и последующее проведение процедуры апскейлинга. В качестве примера на рис.2. показан геологический профиль, построенный на основе оперативной трёхмерной (3D) структурированной модели. Она вполне достоверно передаёт слоистую структуру пласта и характер насыщения природного резервуара. В подобной модели каждый пласт делится на отдельные слои, а слои объединяются в пакки.

Границы слоёв в такой модели всегда согласуются с границами проницаемых интервалов.

Оперативная геологическая модель используется в расчётах результаты интерпретации данных геофизических исследований скважин по проницаемым интервалам в готовом виде. В разумных пределах, она согласуется с утверждёнными контурами нефтеносности, отметками ГНК и ВНК и величиной начальных балансовых запасов нефти по каждой залежи в целом, а также по зонам насыщенности (нефтяной, водонефтяной, подгазовой). Для учета морфологии ловушек, характера насыщения и неоднородности продуктивных пластов базовые алгоритмы расчетов дополнены вспомогательными процедурами. При построении структурного каркаса модели используются сейсмические поверхности. Структурированная геологическая модель представляет набор взаимосвязанных структурных поверхностей и карт параметров, построенных с шагом по  $z = 0,4 - 0,8$  м. Размер ячеек по простиранию ( $x - y$ ) для большинства залежей выбирается в пределах от 50 x 50 м.

Оперативная геологическая модель согласуется с утверждёнными запасами нефти, контурами нефтегазоносности, принятой стратиграфической разбивкой горизонтов. В пределах месторождения для каждой залежи рассчитывается весь необходимый набор геологических карт (Регламент..., 2000).

#### 5. Актуальные задачи моделирования

Известно, что программные средства 3D моделирования дают широкие возможности для обоснования точек заложения и траектории зарезки боковых стволов.

Наряду с этой актуальной задачей, в нефтегазодобывающем предприятии геолого-фильтрационные модели используются с целью подбора объектов для проведения геолого-технических мероприятий. Привлечение результатов моделирования значительно расширяет возможности принятого в практике стандартного метода.

Так, традиционным подходом является подбор перспективных объектов по критериям применимости. Суть метода заключается в подборе скважин по критериям, определённым на основе статистического анализа эффективности ГТМ. Геологические критерии часто определяются как выборка с карты. Это связано, с тем, что карта по любому параметру рассчитывается путём интерполяции значений из базы данных и покрывает всю площадь, а следовательно, значения критерия имеются по всем скважинам. Другие критерии определяются в динамическом режиме, путём выборки из Базы Данных.

Важным критерием для ряда месторождений является работа скважины на один продуктивный горизонт, так как в пределах месторождения отмечается ряд скважин работающих на два и даже на три горизонта. Наряду с геологическими и технологическими критериями при подборе объектов важную роль выполняют критерии, характеризующие техническое состояние скважины. В этом случае, при выборе с учётом этих критериев перспективные объекты будут располагаться не локально, а по всей площади залежи. Если же в выборке участвуют только геолого-промысловые характеристики, то скважины, могут быть объединены в группы со сходными условиями разработки.

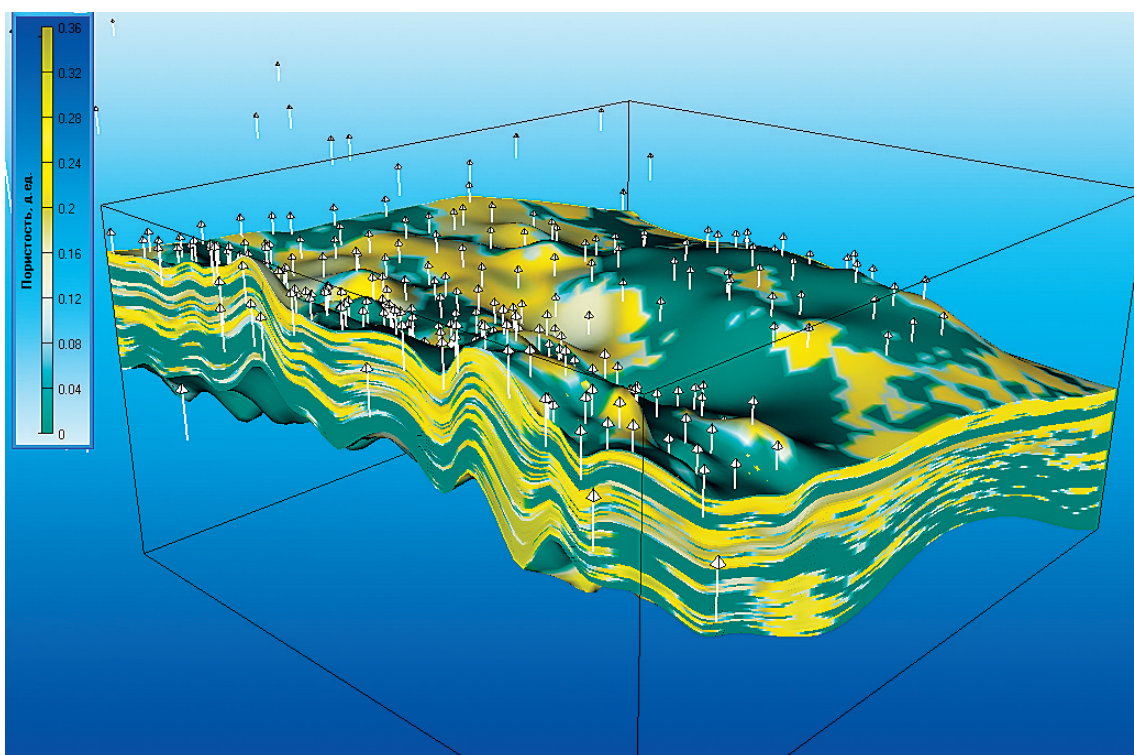


Рис. 1. Общий вид модели Petrel, конвертированной в ПК ДельтаОйл.

Использование моделей позволяет проанализировать всю совокупность факторов и правильно подобрать объекты для увеличения нефтеотдачи пластов.

При подборе участков и скважин для применения методов повышения нефтеотдачи могут использоваться карты подвижных запасов по отдельным пачкам и пласту в

целом. Карты запасов могут быть существенно дополнены картами скоростей фильтрации нефти и воды, картами линий тока и зон влияния закачки, а также карты компенсации отбора закачкой и равных объемов прокачанной через пласт воды, которые также рассчитываются на основе модели.

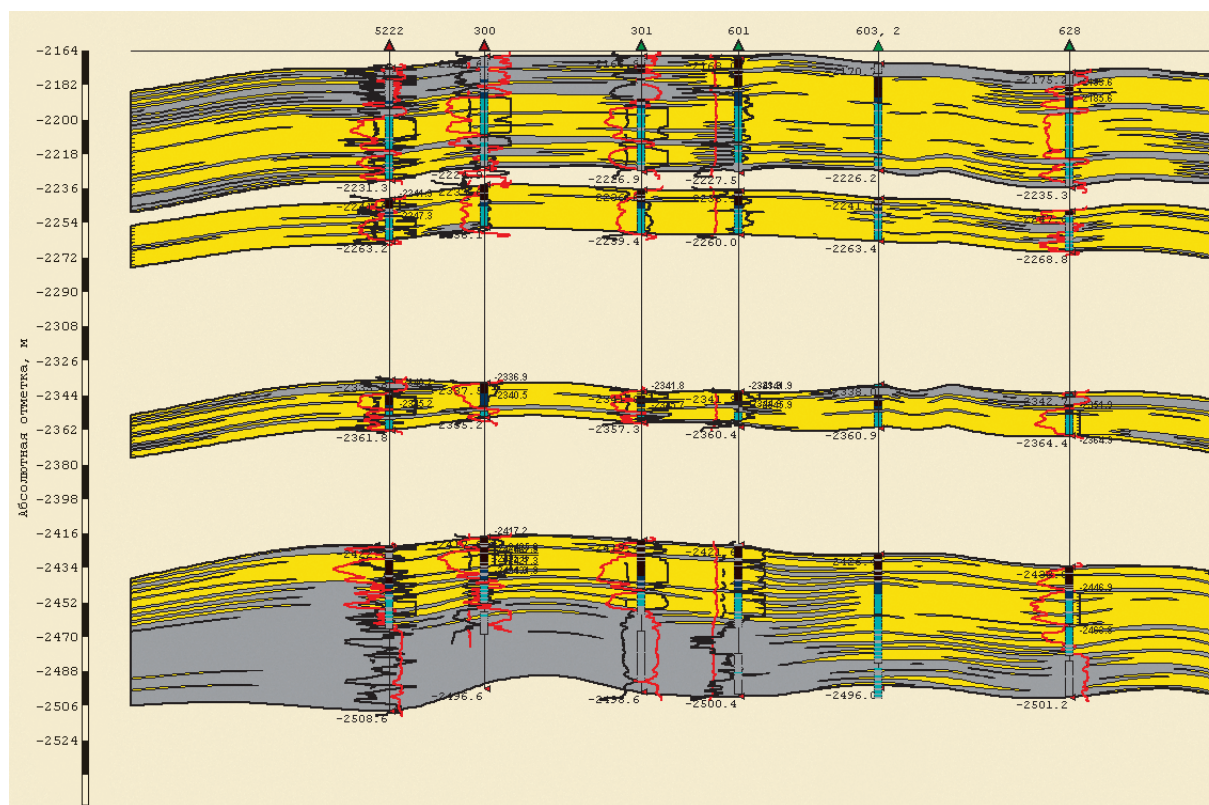


Рис. 2. Геологический профиль по эксплуатационным объектам, построенный в ПК ДельтаОйл.

Однако, если в процессе моделирования выявлены искажения промысловой базы данных, вызванные неудовлетворительным техническим состоянием скважин (заколлонными перетоками, негерметичностью эксплуатационной колонны), а также недостоверностью отражения истории эксплуатации в отчётных документах, то все карты, построенные на основе адаптации показателей разработки, становятся мало информативными.

## Литература

Булыгин Д.В., Медведев Н.Я., Кипоть В.Л. Моделирование геологических строений и разработки залежей нефти Сургутского свода. Казань: изд-во «ДАС». 2001. 191.

Булыгин Д.В., Ганиев Р.Р. К вопросу подготовки студентов по курсу моделирования геологии и разработки нефтяных месторождений. *Георесурсы*. №2 (25). 2008. 13-18.

Проект Национального стандарта «Поиск, разведка и разработка месторождений углеводородного сырья. Термины и определения». *Вестник ЦКР Роснедра*. № 3. 2008. 36-66.

РД 153-39.0-047-00. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. М: Министерство топлива и энергетики РФ. 2000. 129.

## D.V. Buligin, R.R. Ganiev. **Problems of geologo-filtrational modeling in oil and gas extraction branch.**

In article the reasons limiting wide application of results of full-scale geologo-filtrational modeling in oil and gas extraction branch are analyzed. The concept of operative (estimated) model is entered and its definition and a place with reference to actual problems of modeling is made.

*Keywords:* geological-filtrational modeling, operative (estimated) model.

*Дмитрий Владимирович Булыгин*

Д.г.-м.н., академик РАЕН, заместитель ген. директора по научной работе ООО «Дельта Ойл Проект».

420111, Казань, Лобачевского, 10В.

Тел.: (843)236-39-93.