

Анализ многомерных данных на основе комплексной модели нефтегазового месторождения

Д.А.Завьялов, А.А.Захарова
zda@tpu.ru | zaa@tpu.ru
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

В работе предложена комплексная модель месторождения углеводородов, которая позволяет повысить эффективность как самого процесса проектирования разработки, так и точность и достоверность проектного решения. Сформулированы условия реализации комплексной модели месторождения и эффективной обработки многомерных данных на ее основе.

Ключевые слова: многомерные данные, месторождение, моделирование, визуализация, модель месторождения, комплексная модель.

Multidimensional data analysis based on the integrated oilfield model

D.Zavyalov, A.Zakharova
zda@tpu.ru | zaa@tpu.ru
Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS

The paper suggests an integrated hydrocarbon field model, which makes it possible to improve the efficiency of both the development process itself and the accuracy and reliability of its result. The conditions for the implementation of integrated field model and the effective processing of multidimensional data based on it are formulated.

Keywords: multidimensional data, field, modelling, visualization, oilfield model, integrated model.

1. Введение

Технология моделирования разработки нефтегазовых месторождений предполагает построение на основе многомерных исходных данных ряда трехмерных цифровых моделей для оценки объемов запасов углеводородов и планирования уровней их добычи на полное развитие месторождения.

Главная проблема в проектировании разработки месторождений – это высокая степень неопределенности. Модель месторождения представляет собой интерполяцию характеристик реального пласта, полученных в отдельно взятых скважинах, на расстояния в несколько километров, поэтому крайне важно для повышения достоверности моделей использовать все доступные данные. К таким данным относятся фактические показатели эксплуатации скважин, используя которые можно вычислить характеристики пласта для уточнения областей, не затронутых специальными исследованиями.

Основными и самыми значимыми этапами сложившейся и регламентированной [6, 7] технологии проектирования разработки месторождений являются:

- геологическое моделирование,
- гидродинамическое моделирование,
- прогноз разработки,
- экономическое моделирование,
- управление и принятие решений.

Каждому этапу предшествует анализ многомерных массивов исходных данных.

Целью создания геологической модели месторождения является оценка строения залежей, их свойств и объемов запасов углеводородов, в то время как гидродинамическая модель представляет собой уточненную и дополненную новыми данными геологическую. При наличии истории разработки месторождения гидродинамическая модель может отличаться от геологической из-за настройки с учетом фактических режимов работы эксплуатационных скважин – адаптации модели. Кроме того, отличие может быть вызвано некорректной процедурой апскейлинга (загрубления) – уменьшения размерности модели, что в современных условиях развития технических средств

становится все менее актуальным. При этом максимально допустимые расхождения моделей строго регламентированы [6, 7] и выявляются по результатам обязательной экспертизы.

При существующей технологии проектирования [8, 9] отсутствует возможность выполнения обратного перехода между этапами геологического и гидродинамического моделирования – нельзя скорректировать утвержденную геологическую модель на основе имеющихся фактических данных о режимах работы скважин. Такая особенность приводит к ряду проблем в процессе проектирования разработки: к росту несогласованности моделей, дополнительным финансовым и трудозатратам для выполнения нового подсчета запасов (для актуализации геологической модели).

Причиной сложившейся ситуации является то, что контроль за проектами разных типов осуществляется различными государственными структурами, кроме того геологическое статическое моделирование менее ресурсозатратно и более предпочтительно для выполнения грубого подсчета запасов объемным методом.

Решением проблемы может быть объединение этапов геологического и гидродинамического моделирования и переход к комплексной модели месторождения.

2. Условия реализации комплексной модели месторождения

На протяжении всего жизненного цикла месторождения углеводородов, который можно представить в виде спирали (рис. 1), происходит накопление информации и уточнение знаний об объекте разработки.

Сам процесс проектирования разработки месторождений связан с обработкой больших объемов многомерных данных, зачастую противоречивых или некорректных.

На ранних стадиях жизненного цикла для оценки запасов и строения залежей применяется геологическое моделирование, объемы исследований невелики, модели характеризуются низкой достоверностью, имеет место крайне высокая степень геологической неопределенности. В то время как на стадиях с более высокой степенью

изученности, при наличии истории разработки месторождения, появляется возможность применения комплексного подхода к моделированию и уточнения строения залежей и объемов запасов путем решения обратных задач на основе данных об эксплуатации скважин.

Предлагаемая концепция предполагает объединение всех моделей (геологическая, гидродинамическая, экономическая, технологическая) в единую комплексную модель месторождения на основе комплексного подхода, а также использование иерархии моделей разной степени детализации в зависимости от задачи.

Несмотря на высокую степень развития средств моделирования остается противоречие между геологической и гидродинамической моделями месторождений. В настоящее время можно утверждать об устаревании такого разделения. Следует говорить о модели месторождения вообще, которая на ранних стадиях жизненного цикла строится на основе результатов исследований единичных разведочных скважин, а на более поздних стадиях должна уточняться по результатам фактических режимов работы эксплуатационных скважин. Однако реализации такого подхода препятствуют административные барьеры.

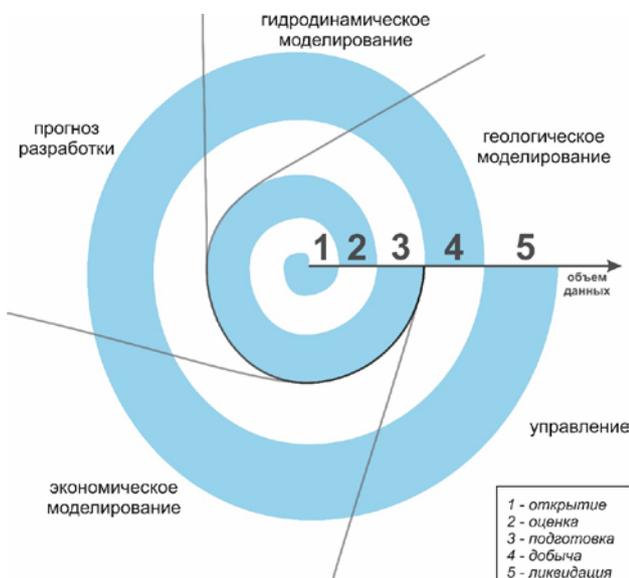


Рис. 1. Схема этапов (обозначены цифрами 1-5) жизненного цикла и этапов проектирования разработки месторождения углеводородов.

Таким образом, реализация предлагаемого подхода возможна в рамках оперативной модели месторождения, используемой недропользователем для управления промыслом и принятия решений, либо при выполнении комплекса проектов: подсчет запасов и проектный технологический документ. Так как при адаптации не допускается рассогласованность моделей более 5%, выполнение таких проектных документов, как дополнения к технологическим схемам разработки, в случае существенного рассогласования моделей требует дополнительно новых проектов подсчетов запасов.

При создании модели решается прямая задача – структурное моделирование и интерполяция свойств пласта. Адаптация в свою очередь позволяет решить обратную задачу – актуализацию и уточнение модели на основе данных об эксплуатации скважин.

Процедура адаптации гидродинамической модели месторождения предполагает корректировку следующих трехмерных кубов параметров:

- проницаемость,

- относительные фазовые проницаемости,
- давление.

Данные параметры позволяют уточнить построенную по результатам геофизических исследований скважин модель на основе фактических режимов работы эксплуатационных скважин (дебиты, объемы добычи, давления). Однако в проектировании не учитывается возможность уточнения на основе данных показателей объемов запасов и коэффициентов извлечения.

Для постановки на государственный баланс запасы принято считать объемным методом:

$$V_o = V_b * Poro * S_o * \rho_o * B_o ,$$

где V_o – объем запасов нефти, V_b – эффективный нефтенасыщенный объем породы, $Poro$ – коэффициент пористости, S_o – коэффициент нефтенасыщенности, ρ_o – плотность нефти, B_o – объемный коэффициент нефти. При этом S_o в системе двух фаз рассчитывается по формуле:

$$S_o = 1 - \left(\frac{3.183 * (\rho_w - \rho_o) * g * h}{A * \gamma * \cos(\theta)} * \sqrt{\frac{Perm}{Poro}} \right)^{-\frac{1}{B}} ,$$

где ρ_w – плотность воды, ρ_o – плотность нефти, g – ускорение свободного падения, h – высота относительно уровня свободной воды, A, B – коэффициенты степенной зависимости J-функции Леверетта $J(S_w) = A * S_w^{-B}$, расчет которых производится авторским программным обеспечением J-Function на основе результатов исследований керна, γ – поверхностное натяжение между нефтью и водой, θ – угол смачиваемости.

Часть параметров определяются по результатам порометрических исследований керна, однако из формулы видно, что уточнение распределения проницаемости позволяет получить более точную оценку нефтенасыщенности, а следовательно объема запасов.

Скорректированные по результатам адаптации относительные фазовые проницаемости и распределение остаточной нефтенасыщенности позволяют уточнить значение коэффициента извлечения углеводородов, которое, как правило, принимается экспертно или по аналогии.

Анализ истории проектирования и разработки (показатели эксплуатации скважин и состояния залежи с шагом по времени) ряда месторождений Томской области показал, что основными наиболее частыми причинами недостоверности моделей и, как следствие, невыполнения утвержденных проектом показателей являются:

- отсутствие полного комплекса необходимых данных;
- низкое качество исследований, некорректность исходных данных;
- конфликт интересов управляющих субъектов процесса проектирования разработки, к которым относятся государство, недропользователь и проектный институт;
- несогласованность моделей из-за невозможности корректировки утвержденной геологической модели при адаптации гидродинамической;
- междисциплинарность процесса, которая приводит к разобщенности вовлеченных специалистов и несогласованности их работы;
- человеческий фактор: ошибки при обработке данных и моделировании.

В результате были сформулированы условия реализации комплексной модели месторождения и эффективного проектирования на основе комплексного подхода к моделированию, которые представлены ниже.

Переход к визуальным моделям данных (переход от численного моделирования к визуальному, использование когнитивной визуализации). Построение визуальных моделей данных и использование их в качестве когнитивного инструмента при решении задач, связанных с анализом многомерных данных, способно значительно сократить время, необходимое для выработки необходимых решений.

Визуальная модель, активно использующая ресурсы зрительного восприятия, трансформируя данные в объект, воспринимаемый с помощью этих когнитивных инструментов, существенно упрощает процесс осмысления. [4, 5]

Кроме того, снижение количества численного моделирования в пользу визуальных моделей данных ведет к уменьшению ресурсоемкости процесса проектирования.

Объединение этапов геологического и гидродинамического моделирования – позволяет получать более точное описание геологического строения месторождения с учетом истории разработки. В процессе адаптации модели решается обратная задача нахождения геофизических свойств пласта, позволяющих достичь фактических показателей при моделировании.

Централизованное хранение, формализация и интеграция данных обеспечивает оперативный доступ к информации, а также верификацию и контроль целостности данных на всех этапах проектирования. Единое хранилище исходных данных и моделей данных обеспечивает доступ всех вовлеченных специалистов, в том числе в распределенных проектах, что решает проблему междисциплинарности процесса. Использование баз данных и технологии OLAP для аналитической обработки многомерных данных позволяет получать быстрый доступ к массивам информации об истории проектирования и разработки группы близких по строению месторождений. [10]

Постоянная верификация исходных данных – раннее и своевременное обнаружение ошибок позволяет повысить достоверность моделей и точность прогноза. Для выполнения этой задачи предлагается использовать визуальные модели многомерных данных. [3]

Соблюдение баланса интересов субъектов управления процессом проектирования – неотъемлемое условие успешного и эффективного проектного решения. К основным субъектам управления процессом проектирования относятся государство, как владелец недр и регулятор, недропользователь, как выгодоприобретатель, и проектный институт, выполняющий работы по проектированию. Интересы этих субъектов, как правило, пересекаются лишь частично.

Минимизация избыточности решения задачи предполагает использование модели как можно более низкого уровня, обеспечивающего достаточную точность получаемого решения. [1]

Соответствие показателям эффективности и требованиям к качеству. Выполнение регламентированных требований к качеству является обязательными при проектировании разработки. Показатели эффективности характеризуют насколько эффективно выполняет работу проектный институт и насколько эффективно представленное им проектное решение с точки зрения его практической реализации.

3. Заключение

Комплексная модель позволяет решать как прямые, так и обратные задачи, связанные с обработкой и анализом многомерных данных при моделировании разработки месторождений.

Применение такого подхода позволяет нивелировать переход между геологической и гидродинамической моделями, а также повысить точность подсчета запасов.

Учет истории разработки при создании комплексной модели месторождения позволяет избавиться от главного недостатка существующей технологии – отсутствия возможности обратного перехода к этапу геологического моделирования и несогласованности моделей.

Комплексный подход позволяет расширить области решения задач на смежные отрасли (экология, модели технологических процессов и пр.). К примеру, такой подход авторами работы был применен при моделировании зон закачки отходов в пласт, и позволил спрогнозировать безопасные объемы и места осуществления закачки. [2]

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект 18-11-00215.

5. Литература

- [1] Антоненко Д.А. 2010, Москва. Системные подходы к снижению рисков при моделировании разработки нефтегазовых месторождений
- [2] Завьялов Д. А., Комплексный подход к моделированию полигона утилизации жидких нефтяных отходов // XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодёжь и современные информационные технологии» - Томск, 7-11 ноября 2016
- [3] Завьялов Д.А., Шкляр А.В., Захарова А.А. Визуальные методы оценки и модели данных в проектировании разработки месторождений углеводородов // Графикон, 2017
- [4] Захарова А.А., Шкляр А.В. Основные принципы построения визуальных моделей данных на примере интерактивных систем трехмерной визуализации // Научная визуализация. - 2014. - №2. - С. 62-73
- [5] Захарова А.А., Шкляр А.В., Ризен Ю.С. Измеряемые характеристики задач визуализации // Научная визуализация. - 2016. - №1. - С. 95-107
- [6] Методические рекомендации по подготовке технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья // Минприроды России. Утв. 18.05.2016
- [7] Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов // Минприроды России. Утв. 01.02.2016
- [8] Силич В.А., Комагоров В.П., Савельев А.О. Принципы разработки системы мониторинга и адаптивного управления разработкой «интеллектуального» месторождения на основе постоянно действующей геолого-технологической модели // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - №. 5. - С. 94-100
- [9] Ямпольский В.З., Заикин И.А. Онтология «Интеллектуальное месторождение» // Известия Томского политехнического университета. - 2013 - Т. 323 - № 5 - С. 112-117
- [10] Zavyalov D.A. The application of OLAP technology in automated risk assessment system for oil and gas fields // Journal of Physics: Conference Series (JPCS) (Scopus). — 2016

Об авторах

Завьялов Дмитрий Алексеевич, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Его e-mail zda@tpu.ru.

Захарова Алёна Александровна, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Ее e-mail zaa@tpu.ru.