

Модель текущего состояния залежи – основа интеллектуального месторождения

Current Status Reservoir Model – Basis of Smart Field



В.В. Баушин



Д.В. Булыгин



А.Н. Николаев

В.В. Баушин
baushinv@mail.ru
Д.В. Булыгин, д. г.-м.н
buligindv1952@mail.ru
Тел. 8-965-581-97-66
А.Н. Николаев, к.ф.-м.н.
/ООО «Актуальные
технологии», г. Казань/

V.V. Baushin
D.V. Bulygin, DSc
A.N. Nickolaev, PhD
/ООО "Actual Technologies",
Kazan/

Представлен эффективный метод гидродинамического моделирования, предназначенный для расчетов энергетического состояния пласта и анализа применения методов воздействия на нефтяные пласты для крупных и гигантских месторождений. Описан процесс построения модели текущего состояния и приведены некоторые практические примеры решения нефтепромысловых задач.

Ключевые слова: модель текущего состояния, модуль ArtGeo, модуль ArtGeoBase, геологическое и гидродинамическое моделирование, стационарная и нестационарная фильтрация, геолого-статистические разрезы (ГСР), карты изобар, модель пониженной размерности, полимерное заводнение, оценка эффективности методов воздействия на пласт, проницаемость по геофизическим и гидродинамическим данным.

The author presents the effective method of hydro-dynamic simulation used for the calculation of the reservoir energy status and for the analysis of oil reservoir stimulation methods for large and gigantic fields. The paper contains the description of current status reservoir modeling and provides some practical examples while resolving the oil field challenges.

Key words: model of reservoir current status, ArtGeo module, ArtGeoBase module, geological and hydro-dynamic simulation, stationary and non-stationary filtration, geo-statistical cross-sections (GSC), maps of isobars, reduced size model, polymer flooding, evaluation of reservoir treatment effective methods, permeability by geo-physical and hydro-dynamic data.

Существует мнение, что грамотное и обоснованное применение технологий моделирования должно обеспечить решение основных задач разработки месторождений на поздней стадии. Однако проектные решения, базирующиеся на построенных «по всем правилам» моделях, не всегда отвечают имеющемуся опыту разработки [1, 2]. С точки зрения фильтрации, высокая детальность модели по разрезу (Z), так называемая «шинковка», не требуется. Модель, построенная путем простой системы нарезки слоев между кровлей и подошвой пласта с заданным шагом по Z с последующим их насыщением фильтрационно-емкостными свойствами получается «раздробленной», что приводит к нарушению потоков и искажению общей картины движения жидкости.

Представленные на рынке симуляторы и программное обеспечение, несмотря на длительную историю развития, сохранили ориентацию на небольшие модели и отдельные элементы системы разработки, как и несколько десятилетий назад. Для решения актуальных задач по месторождениям с сотнями и тысячами скважин и длительной историей разработки соответствующие методы моделирования в известных пакетах отсутствуют.

Какой же должна быть геологическая и соответствующая ей гидродинамическая модель для расчета месторождения, включающего большое количество скважин и

длительную историю разработки? Нельзя не отметить, что в процессе адаптации модели к истории разработки в нее неминуемо вносятся большие погрешности, связанные с неточностью исходных данных по дебитам и давлениям. Очевидно, что правильнее отказаться от восстановления всей истории разработки, при этом увязав геологическое строение пласта с текущей обводненностью, дебитами, давлениями и скоростями фильтрации. А значит, требуется применение принципиально новой методики моделирования, иных алгоритмов и программных средств. Такая методика гидродинамических расчетов была разработана и использована при создании модели текущего состояния залежи. Модель текущего состояния имеет существенные отличия от полномасштабной модели (табл. 1).

Для оценки энергетического состояния пласта и применения методов повышения нефтеотдачи пластов крупных и гигантских месторождений модель текущего состояния залежи наиболее перспективна. При ее создании удалось избежать промахов предыдущих разработчиков и добиться высоких результатов при ее использовании (табл. 2).

Построение модели текущего состояния

Чтобы понять принцип работы модели текущего состояния залежи, рассмотрим более подробно процесс ее построения, который можно разбить на нескольких этапов.

Таблица 1
Сравнение основных характеристик гидродинамических моделей

Показатель	Вид модели	
	Полномасштабная	Текущего состояния
1. Возможность работы с базой данных в многопользовательском режиме	Файловая система	Да
2. Учет упругих сил жидкости и породы	Да	Да
3. Учет капиллярных и гравитационных сил	Да	Да
4. Схема фильтрации	3-фазная	Одножидкостная
5. Расчет распределения текущих запасов нефти	Да	Нет
6. Возможность краткосрочных прогнозов при изменении системы разработки	Да	Да (нестационарная, давления) Нет (стационарная)
7. Возможность долгосрочных прогнозов при изменении системы разработки	Да	Нет
8. Возможность применения для анализа энергетического режима	Нет	Да
9. Время расчетов одного пласта (1000 скважин)	Часы	До 1 мин
10. Необходимость геологической модели	Да	Да
11. Необходимость воспроизведения истории разработки	Да	Нет

На первом этапе осуществляется организация работы с базой данных в многопользовательском режиме, куда входит загрузка исходных данных, а также организация рабочих мест и распределенного доступа к базе данных. База данных для расчета модели текущего состояния залежи формируется на основе загрузки первичного геолого-промыслового материала, информации по добыче и закачке, данных ГДИС, включая кривые восстановления давления (КВД) и уровня (КВУ), а также готовые геологические 3D-модели. В качестве системы хранения данных применяется модуль ArtGeoBase [3], который использует всю мощь реляционных систем управления базами данных СУБД PostgreSQL.

Далее производится подготовка геологической основы, которая может быть реализована в двух вариантах:

плоской 2D с осреднением параметров по разрезу пласта с учетом тектонических нарушений и 3D-модели пониженной размерности. Подготовка 2D-модели заключается в загрузке структурно-тектонической модели, согласовании ее с выше- и нижележащими пластами и утвержденными контурами нефтегазоносности и осреднении параметров по разрезу, включая эффективную толщину, пористость и нефтенасыщенность с учетом фациальной зональности и тектонических нарушений. Для подготовки 3D-модели пониженной размерности дополнительно используются границы ритмов (циклов) осадконакопления, которые определяются по геолого-статистическим разрезам (ГСР) по выделенным локальным областям в ArtGeo [4, 5]. При переходе на укрупненную сетку величины суммарного объема пор и

эффективной толщины находятся в пределах допустимых значений (2 %).

Задачи, решаемые на основе модели текущего состояния

Анализ модели текущего состояния позволяет решить ряд таких актуальных задач, как оценка энергетического состояния залежи, определение взаимовлияющих скважин, распределение фильтрационных потоков, обоснование границ опытных участков при применении методов воздействия, а также оптимизация режимов работы глубинно-насосного оборудования. Рассмотрим подробнее каждую из них.

Решение фильтрационной задачи представлено двумя процессами: глобальной адаптацией путем согласования фактических и расчетных данных по дебитам и давлениям и поскважинной адаптацией скважин с использованием замеров КВУ. Решаются задачи стационарной и нестационарной фильтрации.

Задача стационарной фильтрации. Решаются уравнения эллиптического типа, не зависящие от времени t . Рассматривается стационарный процесс, для чего из расчетов исключается по одной скважине. В областях исключенных скважин определяется новое пластовое давление, которое записывается в базу данных и служит для построения карт изобар.

Задача нестационарной фильтрации. Решается двумерная задача

Таблица 2
Сравнение концепций для создания интеллектуального рабочего места инженера-разработчика

Рабочая концепция	Достоинства / недостатки
Статистический метод	+ не требует численного моделирования; - требует большого объема статистических данных; - высокая степень неопределенности
Полномасштабные симуляторы (Eclipse, Tempest и др.)	+ популярность: наличие актуальных фильтрационных моделей; - использование грубых (50x50 м) расчетных сеток; - локально измельченные 3D-сетки содержат миллионы ячеек, что затрудняет многовариантные расчеты
Модель текущего состояния	+ использование геологических моделей заказчика; + отсутствие необходимости адаптации к истории разработки; + использование в расчетах результатов прямых замеров; + низкая размерность моделей; + быстрота расчетов, простота понятийной базы

движения жидкости в пласте на один момент времени. Используются уравнения параболического типа, в которых участвует t . Эволюционная задача расчета текущей нефтенасыщенности отсутствует.

Для восстановления пластового давления проводится отключение скважин по одной аналогично снятию КВД и КПД. В остановленных скважинах снимается график восстановления давления ($P_{пл}$). В скважинах, где имеются геолого-гидродинамические исследования (ГДИС), производится сопоставление расчетных и фактических данных по КВД. Задача решается на сеточной области с шагом от 50 до 10 м.

Расчет карт изобар и их анализ

Основной этап работы с моделью текущего состояния – расчет и анализ энергетического режима – представлен такими операциями, как расчет величины непроизводительной закачки и «чужой воды», расчет переток через внешний контур нефтеносности, построение карт компенсации отбора закачкой и прочие.

Модель позволяет проводить сравнительный анализ экспериментальной и теоретической КВД. При адаптации модели текущего состояния по КВД сначала определяются значения проницаемости опорных скважин на основе КВД, полученных, например, с помощью дистанционных манометров. Далее предполагается корректировка поля гидропроводности с целью согласования результатов расчета забойного и пластового давлений с замеренными данными. При этом определяется величина ухода части воды, нагнетаемой через негерметичное заколонное пространство. Сравнение рассчитанного по модели забойного давления с показаниями манометра позволяет оценить точность полученных данных.

На **рис. 1** представлен пример построения карты изобар с нанесенными линиями тока и скоростями фильтрации, демонстрирующий взаимодействие нагнетательных и добывающих скважин, направление движения нагнетаемой жидкости вдоль линий

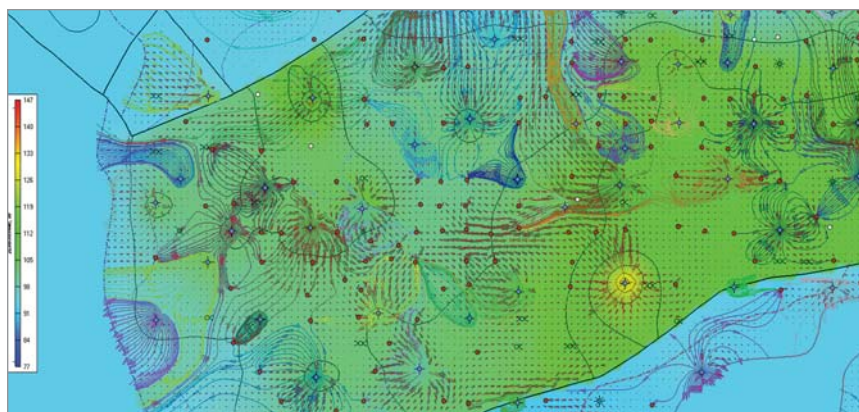


Рис. 1. Фрагмент карты изобар с нанесенными линиями тока и скоростей фильтрации

тектонических разломов, непроизводительную закачку по скважинам, расположенным вдоль контура нефтеносности, а также области, не охваченные существующей системой заводнения.

При построении модели текущего состояния учитывались амплитуда и проницаемость разломов.

Обоснование реагирующих скважин для оценки методов воздействия на пласт

Обоснование взаимовлияния нагнетательных и добывающих скважин для оценки методов воздействия на пласт производится на основе расчета скоростей фильтрации, линий тока и выделения зон влияния закачки. Модель позволяет сравнивать карты проницаемости по геофизическим и гидродинамическим данным. Результаты анализа карт проницаемостей, рассчитанных по гидродинамическим данным, могут значительно различаться, поскольку они полностью увязаны с пластовыми, забойными давлениями и дебитами скважин.

При обосновании границ опытных участков с применением методов воздействия на пласт используется схема фильтрационных потоков участка. В качестве примера приведем особенности реагирования окружающих добывающих скважин при отключении нагнетательных по участку полимерного заводнения одного из месторождений (**рис. 2**).

На гистограмме показана интенсивность реагирования добывающих

при отключении нагнетательных скважин, в которых осуществляется закачка. Отмечается влияние скважин как первых рядов, так и достаточно удаленных от очага воздействия.

Оптимизация режимов работы глубинно-насосного оборудования

Решение такой задачи, как оптимизация режимов работы глубинно-насосного оборудования, состоит из расчета потенциального дебита скважин на основе модели текущего состояния и оптимизации режимов работы оборудования с учетом дебитов, давлений и расхода электроэнергии. Предлагаемая модель позволяет провести проверку статистики загрузки данных по проницаемым интервалам. Обнаружение потенциальных дебитов дает возможность выявить недостоверную информацию по проницаемости и начальной нефтенасыщенности, определенную по геофизическим данным, а также скорректировать параметры пластов с учетом влияния возмущающих факторов: ГРП, дострелов и заливок, негерметичности эксплуатационных скважин.

Подбор скважин для проведения ГТМ

Подбор скважин для проведения геолого-технических мероприятий с использованием модели текущего состояния выполняется на основе анализа разности коэффициентов продуктивности за определенный период времени, что наглядно демонстрирует

повышение или падение уровня эффективности добычи.

Применение модели текущего состояния показало высокую результативность и при расчете направления и скорости продвижения нагнетаемой воды, аналогичном методу закачки трассирующих индикаторов (рис. 3). На основе результатов прямых замеров предлагаемая система расчетов позволяет экономить ресурсы, наглядно визуализируя движение трассеров в различные моменты времени, выделяя застойные и промытые зоны.

По эффективности установления гидродинамической связи между исследуемыми скважинами на основе изменения давления в одной из них при создании возмущения в другой модель текущего состояния аналогична методу гидропрослушивания, но при этом предоставляет более оперативные и точные данные, не требуя дополнительных затрат. Кроме того, она может быть использована для расчета текущей гидропроводности пласта.

Модель дала положительные результаты при оценке энергетического состояния пласта и определении методов повышения нефтеотдачи крупных и гигантских месторождений.

Применение модели текущего состояния показало высокую результативность и при расчете направления и скорости продвижения нагнетаемой воды, аналогичном методу закачки трассирующих индикаторов (рис. 3).

На основе результатов прямых замеров предлагаемая система расчетов позволяет экономить ресурсы, наглядно визуализируя движение трассеров в различные моменты времени, выделяя застойные и промытые зоны.

По эффективности установления гидродинамической связи между исследуемыми скважинами

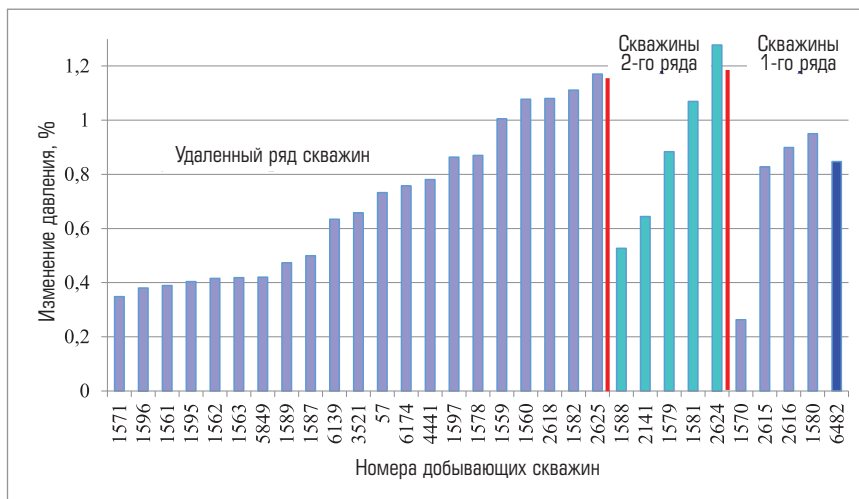


Рис. 2. Изменение давления в добывающих скважинах при отключении нагнетательной скважины

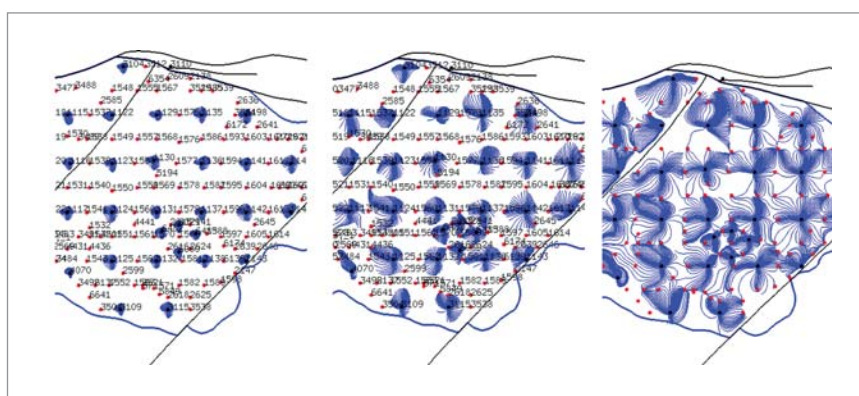


Рис. 3. Движение трассеров в различные моменты времени

на основе изменения давления в одной из них при создании возмущения в другой модель текущего состояния аналогична методу гидропрослушивания, но при этом предоставляет более оперативные и точные данные, не требуя дополнительных затрат.

Выводы и рекомендации

1. Модель текущего состояния учитывает основные особенности геологического строения нефтя-

ных залежей и может быть рекомендована для практического применения в качестве элемента концепции интеллектуального месторождения.

2. Предлагаемая модель не требует процедуры адаптации к истории разработки. К преимуществам данной системы относятся также использование в расчетах результатов прямых замеров, низкая размерность моделей, быстрота расчетов, простота понятийной базы.

Литература

1. Дзюба В.И. Гидродинамическое моделирование разработки нефтяных месторождений. Проблемы и перспективы // Вестник ЦКР Роснедра. – 2007. – №1. – С. 35–39.
2. Компьютерные модели для анализа эффективности методов воздействия на пласт / В.В. Шелепов, Д.В. Булыгин, Р.Г. Рамазанов, В.В. Баушин. – М.: КДУ «Университетская книга», 2017. – 232 с.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017610455 от 11.01.2017 ArtGeoBese, версия 1.0. Загрузка

- и ведение базы данных геологических и гидродинамических моделей / В.Г. Насибулин, Д.В. Булыгин, О.В. Комарова, В.В. Баушин, В.В. Шелепов, Р.Г. Рамазанов.
4. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015662865 от 18.09.2016 ArtGeo, версия 1.0. Программа трехмерного геологического моделирования / В.В. Шелепов, Д.В. Булыгин, В.Г. Насибулин, А.А. Савельев, Р.Г. Рамазанов.
 5. Концепция модуля геологического моделирования ArtGeo / В.В. Шелепов, Д.В. Булыгин, Р.Г. Рамазанов // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 1. – С. 48–53.