

## Методика анализа эффективности скважин и мероприятий при оптимизации заводнения на основе результатов фильтрационного моделирования

Вознюк А.С. (Schlumberger Logelco Inc.)

Заводнение — наиболее интенсивный и экономически эффективный способ воздействия, позволяющий оптимизировать количество и расположение добывающих скважин, увеличить их дебит, снизить затраты при добыче нефти. С другой стороны, недостаточно продуманный подход к организации заводнения может привести к возникновению «кинжальных» прорывов воды к продуктивным интервалам добывающих скважин и, соответственно, росту обводненности продукции при наличии в пласте остаточных запасов, не охваченных вытеснением. Таким образом, для поддержания пластового давления (ППД) и обеспечения максимального вытеснения запасов необходимо основательное планирование системы заводнения, поэтому задача повышения (или как минимум анализа) эффективности распределения закачки является весьма актуальной для большинства нефтяных месторождений, особенно на поздней стадии разработки.

В данной статье рассматривается методика анализа заводнения и планирования адресной программы геолого-технических мероприятий (ГТМ) по перераспределению закачки на основе линий тока. Методика предусматривает следующие этапы:

- 1 адаптация гидродинамической модели на историю разработки;
- 2 создание базового прогноза гидродинамической модели;
- 3 анализ системы заводнения;
- 4 планирование ГТМ и расчет оптимизированных прогнозных вариантов;
- 5 оценка эффекта ГТМ.

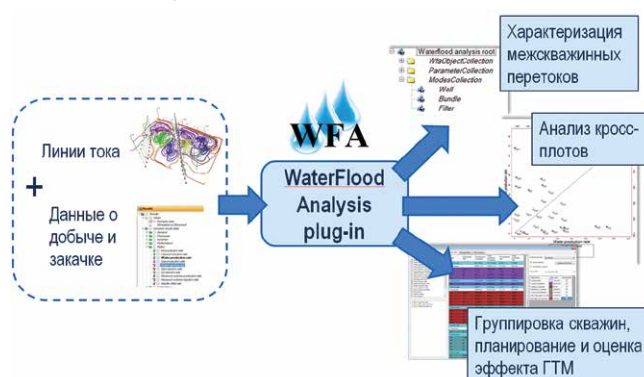
Методика создавалась на основе «связки» программных продуктов Petrel\* — ECLIPSE\* Black Oil компании Schlumberger Information Solutions, предоставляющей пользователю широкий арсенал инструментов с возможностью автоматизации рабочих процессов и подстройки инструментария под различные специфические задачи. Последнее достигается путем создания дополнительных модулей — так называемых «OCEAN\*-плагинов»,

расширяющих функциональность Petrel при работе со специфическими проблемами, в частности анализ заводнения.

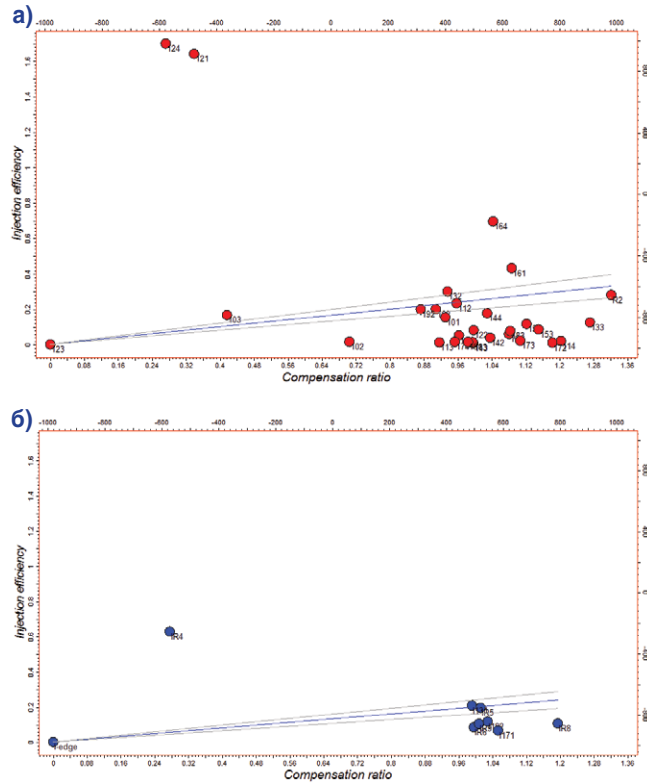
Первым обязательным этапом в описываемой методике является адаптация модели на историю разработки — так как без адекватного воспроизведения поведения скважин степень достоверности модели будет недостаточная для проведения прогнозных расчетов. В случае с задачей анализа заводнения, адаптация модели к истории разработки должна заключаться не только в настройке дебитов и накопленной добычи фаз по скважинам, но и в реалистичном воспроизведении потоков между ними. Поэтому обязательным требованием к качеству исходной модели является как минимум хорошая поскважинная адаптация, а в оптимальном варианте — адаптация модели на данные о потоках между скважинами (для чего необходимо наличие трассерных исследований).

Наиболее типичный (с точки зрения имеющегося набора данных) вид рабочего процесса предполагает проведение первоначальной настройки глобальных показателей (дебитов и закачки по пласту в целом). После завершения глобальной настройки должна быть проведена поскважинная донастройка — путем анализа

Рисунок 1. Модуль анализа заводнения — Petrel Waterflood Analysis



**Рисунок 2.** Кросс-плот «Эффективность закачки — Компенсация отборов» для добывающих (а) и нагнетательных (б) скважин



кросс-плотов «Факт-модель» по добыче фаз, выбора плохо настроенных скважин и создания карт модификаторов свойств в зависимости от величины невязки по каждому показателю разработки. Все этапы настройки на историю можно проводить в ручном либо в автоматическом режиме (на основе Petrel Workflow и модуля Petrel Uncertainty and Optimization).

Второй этап — создание краткосрочного базового прогноза (0,5–5 лет). Для анализа нагнетательных и добывающих скважин гидродинамическая модель должна быть запущена на прогноз с учетом существующего нагнетательного и добывающего фонда. В данном случае понятие «базовый» предусматривает перевод добывающих скважин на контроль по давлению, нагнетательных — на контроль по приемистости, либо на групповой контроль закачки (последний случай эквивалентен управлению закачкой путем управления расходом на компрессорно-насосной станции).

После расчета базового прогноза на модели начинается третий этап — анализ заводнения. Данный этап предполагает несколько шагов:

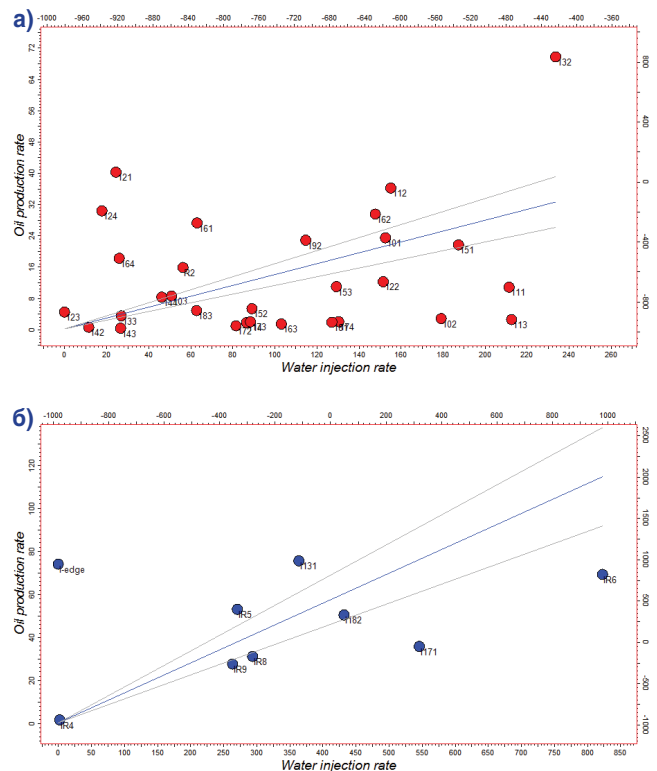
- генерацию линий тока на основе базового прогноза;
- расчет распределения потоков;
- оценку эффективности работы скважин путем анализа кросс-плотов;
- формирование списков скважин-кандидатов для проведения ГТМ.

Методика линий тока традиционно является одной из наиболее распространенных при анализе взаимодействия скважин и оптимизации системы заводнения (1,2), вследствие тех дополнительных данных, которые с ее помощью можно оценить. Генерация линий тока возможна либо путем перехода к специализированному симулятору линий тока (к примеру, ECLIPSE FrontSim), либо при использовании генератора линий тока на основе результатов ранее посчитанных фильтрационных моделей (такая возможность есть в процессе Petrel Streamline Generation). В данной методике был использован второй подход — пост-обработка результатов базового прогнозного расчета в модуле Petrel Streamline Generation — так как он позволяет существенно экономить время работы при сравнительно небольших потерях в точности.

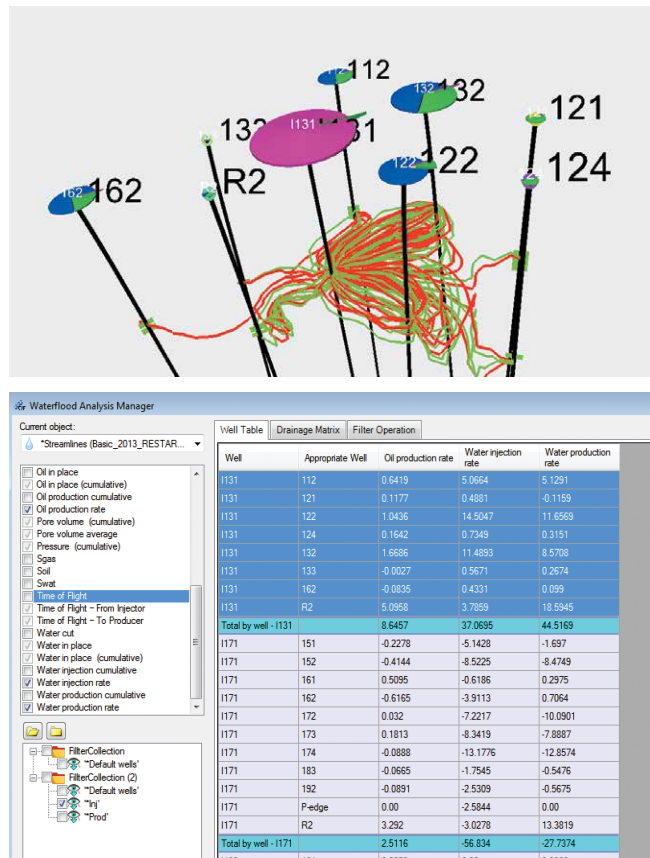
Последующие шаги — расчет распределения потоков, анализ скважин и планирование ГТМ — были выполнены в модуле Petrel Waterflood analysis (рис. 1).

Данный модуль использует данные о добыче и закачке по скважинам и, используя сгенерированные линии тока, рассчитывает распределение потоков между скважинами. В результате расчета в модуле можно получить как потоки фаз между парами скважин «нагнетательная-добывающая», так и показатели работы зон дренирования/вытеснения скважин (к примеру, дебит нефти из зоны вытеснения той или иной нагнетательной скважины или закачку в зону дренирования добывающей

**Рисунок 3.** Кросс-плот «Дебит нефти — Закачка воды» для добывающих (а) и нагнетательных (б) скважин



**Рисунок 4.** Скважина I131 — реагирующие скважины и количественная оценка эффекта от увеличения приемистости



скважины). Также существует возможность рассчитать по каждой скважине набор дополнительных характеристик, таких как обводненность, компенсация отборов и эффективность закачки. Это позволяет охарактеризовать каждую скважину с точки зрения ее влияния на окружающие, провести оценку и ранжировку скважин по эффективности.

Следующий шаг — анализ эффективности работы скважин. На этом шаге сгенерированные ранее скважинные величины сопоставляются на кросс-плотах. Например, кросс-плоты типа «Эффективность закачки — Компенсация отборов» или «Дебит нефти — Закачка воды». Примеры подобных кросс-плотов представлены на рисунках 2 и 3.

При работе с кросс-плотами была использована методика, описанная в [3], позволяющая найти баланс между полнотой использования данных и скоростью проведения анализа. Основные положения данной методики:

- 1 При анализе используются 4 кросс-плота, которые в ходе экспериментов показали себя как наиболее репрезентативные. Анализ данного набора кросс-плотов производится отдельно для добывающих — отдельно для нагнетательных скважин.
- 2 На каждом кросс-плоте выделяется до 4 групп скважин по принципу «Высокое/Низкое значение (ось Y) —

Высокое/Низкое значение (ось X)». Далее такое положение точек-скважин интерпретируется на основе простой логики и понимания основ нефтеразработки.

3 Для повышения эффективности анализа поведения скважин производится сопоставление разнородных кросс-плотов и полученных на их основе группировок.

Завершающим этапом рабочего процесса является оценка эффекта от ГТМ. Используя модуль Petrel Waterflood Analysis, в автоматическом режиме проводится поскважинное сравнение прогнозных расчетов (базового расчета и расчета с программой ГТМ). Приросты/снижения дебитов распределяются по реагирующим скважинам, что позволяет получить оценку эффекта от ГТМ в виде прироста или снижения добычи нефти и закачки для любого типа скважины — как добывающей, так и нагнетательной. За счет данной процедуры инженер-гидродинамик получает возможность охарактеризовать как отдельные мероприятия (и таким образом исключить из программы неэффективные), так и группы мероприятий. Пример оценки эффекта от различных типов мероприятий по скважинам (тестовая модель) приведен на рисунке 4.

## Заключение

Рабочий процесс в рамках описанной методики позволяет значительно улучшить понимание особенностей эксплуатации месторождения, дает дополнительные возможности идентификации узких мест в системе разработки и системе ППД, позволяет планировать мероприятия на скважинах и оценивать эффект в виде прироста/снижения добычи фаз, а также закачки по каждому из них.

Использование подобного рабочего процесса может значительно повысить эффективность планирования ГТМ и обоснованность принятия решений при оптимизации системы разработки. Интеграция данного дополнительного этапа в стандартный рабочий процесс по созданию и применению фильтрационной модели проходит оперативно и не требует от инженера значительных дополнительных трудозатрат, а от руководителя проекта/группы — значительных изменений в планируемых объемах работ или сроках проектирования.

## Список литературы

1. Marco R. Thiele, Rod P. Batycky, 2003. “Water Injection Optimization Using a Streamline-Based Workflow”. SPE 84080, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, U.S.A., 5 – 8 October 2003.
2. M.R. Thiele, R.P. Batycky and D.H. Fenwick, 2010. “Streamline Simulation for Modern Reservoir-Engineering Workflows”. Journal of Petroleum Technology, 2010.
3. Вознюк А. С., Рыков А. И., Котов В.С. (14 октября 2014). Методика многокритериального анализа и оптимизации заводения месторождений на поздней стадии разработки. SPE 171229-R.