

# ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МУН В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИМУЛЯТОРАХ



Д.Р. АБДРАШИТОВА, А.И. ШАНГАРАЕВА, Р.И. САТАРОВ  
ГК «Миррико»



## Актуальность третичных методов добычи нефти

Крупные нефтяные месторождения, на которые приходится 75% текущей добычи нефти в России, характеризуются значительной истощенностью активных извлекаемых запасов и высокой обводненностью добываемой продукции. Средний текущий коэффициент извлечения нефти (КИН) в России около 30%<sup>[1]</sup>. Третичные методы добычи, или, иначе, методы увеличения нефтеотдачи (МУН), позволяют недропользователям извлекать дополнительно 5–20% геологических запасов нефти. Одними из самых перспективных являются физико-химические МУН: закачка ПАВ, полимеров, растворителей, щелочно-ПАВ-полимерных композиций (ASP), закачка кислот. В зависимости от свойств коллектора,

коэффициент нефтеотдачи может достигнуть 50–70% и выше.

Крупные игроки российского нефтедобывающего рынка проявляют большой интерес к этим технологиям и планируют опробовать их в рамках опытно-промышленных работ (ОПР) на своих месторождениях.

На данный момент в России проекты по технологиям полимерного и ASP-заводнения можно пересчитать по пальцам. Один из них осуществляется в ГК «Миррико». Данные технологии снижают поверхностное натяжение на границе раздела нефть–вода и загущают закачиваемую воду для выравнивания фронта вытеснения, что способствует более эффективному вытеснению нефти из пласта. Эффект по увеличению КИН достигается путем закачки в пласт химических веществ (полимеров или ПАВ) при использовании специального оборудования

для приготовления раствора и его закачки.

## Этапы реализации ПАВ- и полимерного заводнения

Реализацию технологий полимерного и ПАВ-полимерного заводнения в рамках опытно-промышленных работ (ОПР) специалисты ГК «Миррико» осуществляют в несколько этапов (рис. 1):

- Проводят лабораторные исследования по подбору полимерного или ПАВ-продукта;
- Проводят анализ эффективности технологии при помощи гидродинамического моделирования в специальном программном комплексе;
- Совместно с партнерами проектируют специальное оборудование для приготовления и закачки ПАВ-полимерного раствора в пласт;

⊙ Осуществляют логистику химических реагентов и оборудования на месторождении заказчика;

⊙ Проводят работы по закачке и мониторингу процесса.

Перед проведением ОПР целесообразно иметь оценочные данные об эффекте проводимого мероприятия, знать, насколько изменится коэффициент извлечения нефтеотдачи (КИН) и другие характеристики. Поэтому на сегодняшний день расчеты и анализ с помощью программного обеспечения являются неотъемлемым этапом при разработке нефтегазовых месторождений. В частности, гидродинамическое моделирование широко применяется для оценки и прогнозирования эффективности мероприятий по увеличению нефтеотдачи пластов.

### Программные комплексы для гидродинамического моделирования

Специалисты ГК «Миррико» провели анализ существующих программных комплексов и выявили их сильные и слабые стороны.

Как правило, добывающие и сервисные компании проводят полномасштабное гидродинамическое моделирование с использованием одного из программных комплексов: Eclipse, VIP, CMG, tNavigator или других. При этом среди компаний есть те, которые занимаются изучением всевозможных способов увеличения нефтеотдачи (МУН) с применением нагнетания газа, использованием термических (закачка пара, внутрислоевого горения и пр.), химических (закачка гелей, полимеров, поверхностно-активных веществ), микробиологических, физических, потокоотклоняющих и других методов.

Для перечисленных исследований, как правило, также необходимо проводить моделирование с целью получения предварительной оценки. Однако не все указанные симуляторы позволяют получать полноценную оценку при таких специализированных расчетах — их опции для моделирования некоторых МУН ограничены, входные данные упрощены относительно продуктов, специально разрабо-

РИС.1 ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ОПР



танных для детальных расчетов проводимых мероприятий. Таким образом, могут не учитываться особенности физико-химических процессов в пласте, и, как следствие, результаты расчетов будут иметь абстрактный характер.

Перечисленные гидродинамические симуляторы главным образом используются для точного установления извлекаемых запасов, прогноза графиков добычи, выбора наилучшего расположения скважин, оценки различных эффектов.

Стоит отметить, что Eclipse может выполнять специализированные расчеты для указанных мероприятий, но наиболее часто он используется именно для полномасштабного моделирования. Однако даже эти возможности Eclipse не дают полной картины, в качестве входных данных требуются обобщенные параметры, характеризующие, возможно, лишь вид мероприятия (например, закачка щелочного ПАВ задается одним ключевым словом, в то время как Reveal, о котором речь пойдет ниже, требует задания лабораторных данных для конкретных видов щелочей и нескольких параметров, участвующих в химических реакциях для данного явления).

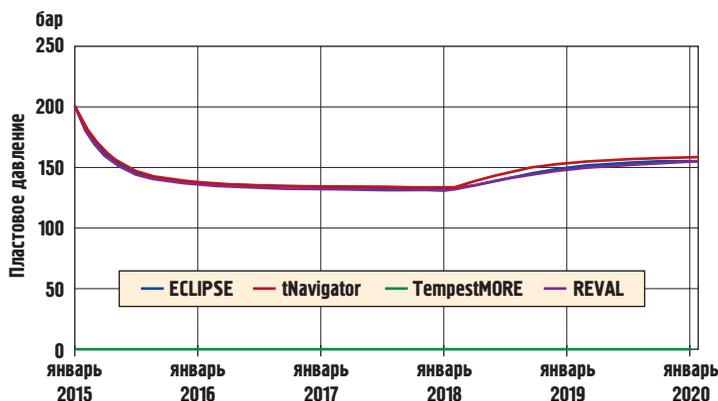
### Преимущества программного комплекса Reveal

Для указанных типов МУН хорошо зарекомендовал себя гид-

родинамический симулятор Reveal, разработанный шотландской компанией Petroleum Experts и входящий в состав программного комплекса Petroleum Experts IPM suite. Данный продукт специально разрабатывался как дополнительный инструмент инженера-разработчика для моделирования всевозможных МУН, хотя на небольших месторождениях он также может быть использован в качестве полномасштабного симулятора. Ключевая роль данного программного продукта в том, что он позволяет инженеру преодолеть существующий разрыв между численным моделированием и специализированным исследованием пласта.

Reveal обеспечивает интегрированный подход при различных исследованиях инженеров-гидродинамиков, производственных технологов и специалистов по разработке месторождений; позволяет управлять разработкой как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Кроме того, учет данным программным комплексом многих динамических, тепловых и геомеханических процессов, происходящих в пласте, способствует большему пониманию инженером состояния месторождения [2]. Также имеется возможность обмена информацией и объединения рабочих процессов, проводимых мероприятиями. Таким образом, Reveal можно рассматривать как инструмент для интегрированного изучения

РИС.2 ЗАВИСИМОСТЬ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ (БАР) ОТ ВРЕМЕНИ



пласта и производственных исследований.

При изучении возможностей Reveal, а также численных схем, заложенных в продукт, был выявлен ряд преимуществ. Во-первых, в Reveal имеется удобный пользовательский интерфейс для выбора одного из предложенных вариантов численных схем перед расчетом: неявная схема для расчета поля давления и явная для расчета поля насыщенности — IMPES, полностью неявная схема — fully implicit, неявная схема с условием Куранта — CFL implicit, старая неявно-явная схема — old IMPES, адаптивная неявная схема — adaptive implicit.

Во-вторых, функционал программы позволяет более точно задавать состав (химический, композиционный и др.) закачиваемого агента, его физико-химические свойства, учитывать/не учитывать минерализацию, адсорбцию и т.д.

В-третьих, данный симулятор по умолчанию является термическим, то есть он позволяет учитывать и моделировать изменения температуры пласта в зависимости от температуры закачиваемой жидкости, что выгодно отличает его от других гидродинамических симуляторов, являющихся изотермическими. Также имеется возможность выбрать девятиточечную схему проведения численного расчета, при которой учитываются перетоки по диагональным ячейкам, что, в отличие от симуляторов, использующих пятиточечную схему, дает возмож-

ность значительно снизить эффекты численной дисперсии в зависимости от ориентации сетки [3].

### Сравнительный анализ результатов моделирования физико-химических МУН в различных гидродинамических симуляторах

Специалистами ГК «Миррико» был проведен численный эксперимент по сравнению результатов моделирования физико-химических МУН в различных гидродинамических симуляторах и в программном комплексе Reveal совместно с научно-техническим центром — дочерним предприятием одной крупной нефтяной компании. В итоге удалось выделить ряд преимуществ используемого ГК «Миррико» программного комплекса в части моделирования физико-химических технологий повышения нефтеотдачи пластов (ПНП).

Установлено, что в результате моделирования в Reveal полученные данные сопоставимы с результатами других программных комплексов. Ниже представлен график пластового давления в зависимости от времени (рис.2) для одного из вариантов моделей: в трехмерный однородный объект с размерами ячеек 21x21x10, с одной нагнетательной и четырьмя добывающими вокруг скважинами производится закачка воды с примесью ASP с 2015 по 2018 год. Затем закачка прекращается до

2020 года. Как мы видим, результаты трех симуляторов (Eclipse, tNavigator, Reveal) совпадают, а результат Tempest MORE не удается сравнить ввиду отсутствия опции моделирования щелочи (график на нулевом уровне).

Однако стоит отметить, что некоторые графики отличаются ввиду различий заложенных численных схем и необходимости представления более подробных данных. К примеру, на рис.3 представлен график КИН в зависимости от времени для той же модели. Результат Reveal оказался ниже результатов Eclipse и tNavigator — подробное описание модели делает ее более близкой к реальному месторождению, и полученный результат может быть интерпретирован как более точный.

Еще раз хочется подчеркнуть, что для моделирования технологий ПАВ-полимерного и щелочно-ПАВ-полимерного заводнений требуется более детальная информация по сравнению с другими симуляторами, которая приближает модель к реальным физическим процессам, протекающим в пласте. Сильная сторона Reveal — детальный подход к физико-химическим явлениям для максимально достоверного моделирования МУН. Преимущество Reveal в расчете химических МУН очевидно, если моделировать с полным набором необходимых данных.

### Опыт работ по полимерному заводнению ГК «Миррико»

В 2015 году сотрудниками ГК «Миррико» были реализованы опытно-промышленные работы по ПАВ-заводнению на одном из месторождений Западной Сибири, в рамках которых в НИЦ были подобраны оптимальные для условий заказчика рецептуры ПАВ и проведены фильтрационные исследования на керне для выбора подходящего ПАВ с наибольшими нефтевытесняющими характеристиками.

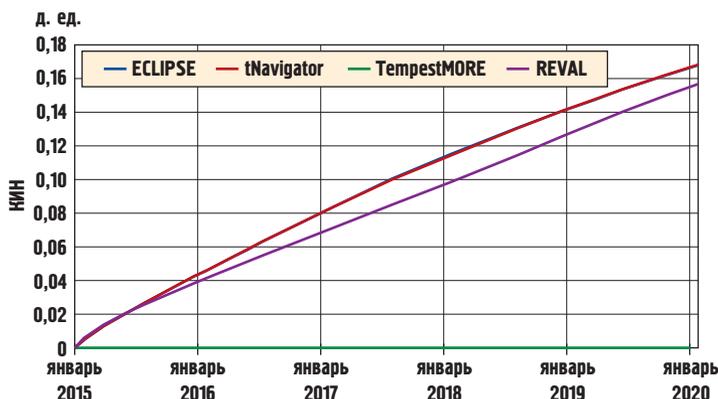
Далее специалисты выступили в качестве консультантов по проектированию подходящего под нагнетание ПАВ-оборудования. К августу была осуществлена за-

качка поверхностно-активных веществ на опытном участке. Прогнозный эффект от применения технологии предполагает увеличение КИН на участке на 13%.

На данный момент сотрудники научно-исследовательского центра (НИЦ) ГК «Миррико» обсуждают возможность оформления договорных отношений в части оказания услуг по оценке эффективности технологий МУН и выравнивания профиля приемистости (ВПП) в используемом программном комплексе на месторождениях крупной российской нефтяной компании. ГК «Миррико» уже работает над несколькими проектами по полимерному заводнению на месторождениях в Западной Сибири и Европейской части России.

Основное преимущество подхода ГК «Миррико» к реализации ОПР по ПАВ-полимерному заводнению — комплексный подход. Качественное исполнение и эффект возможны только в случае, если за все этапы работ по проекту, включая лабораторные испытания, оценку эф-

РИС.3 ЗАВИСИМОСТЬ КИН ОТ ВРЕМЕНИ



фекта, проектирование оборудования и сервис, отвечает один генеральный подрядчик, в роли которого и позиционирует себя ГК «Миррико».

Как компания, работающая более 15 лет в различных областях промышленности, «Миррико» имеет широкую сеть надежных партнеров, сотрудничает с ведущими мировыми исследователь-

скими центрами. В компании концентрируются уникальные компетенции: сотрудники проходят многочисленные обучения в проектах МУН и посещают реализуемые проекты по полимерному заводнению за рубежом, а инженеры по моделированию, геологи и исследователи НИЦ тесно взаимодействуют для создания оптимального проекта.

#### Литература:

1. Деловой журнал Neftegaz.ru (12) 2012, стр. 18-25, ОАО «ИГИРГИ», профессор, академик РАЕН, д.г.-м.н. Евгений Грунис, «Нефтяной клондайк. Проблемы состояния ресурсной базы нефтедобычи, научно-методические и инновационные подходы обоснования стратегии ее развития».
2. Р.Д. Каневская, Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, 140 с.
3. Х. Азиз, Э. Сеттари, Математическое моделирование пластовых систем. М., Недра, 1982, 407 с.

## Уважаемые коллеги, партнеры и друзья!

От имени ГК «Миррико» сердечно поздравляю Вас с наступающими праздниками — Новым годом и Рождеством!

Хочется поблагодарить Вас за совместную работу и выразить надежду на дальнейшее плодотворное сотрудничество. В 2015 году было немало трудностей, их разрешение потребовало концентрации всех усилий, и результат оказался достойным.

В наступающем году желаю Вам финансовой устойчивости, роста и в целом держать высокую планку — как в профессиональной, так и в личной жизни.

Пусть в бизнесе сопутствует удача, в доме царит уют, в теле — здоровье, в голове — порядок, а в душе — гармония!

Счастья в новом году Вам и Вашим близким!



**Игорь Александрович МАЛЫХИН,**  
генеральный директор ГК «Миррико»

