

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Сытникова С.А.

Научный руководитель профессор М.В. Коровкин

Национальный исследовательский томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Разработка месторождений нефти и газа связана с вторжением в недра на этапе разбуривания, освоения и опробования скважин, последующей интенсификации посредством поддержания пластового давления, гидроразрывом пласта, и влечет за собой изменения напряженного состояния продуктивного пласта, вмещающих пород. Свойства горных пород изменяются в последовательности литологических комплексов, и каждый тип пород по-разному реагирует на изменение напряжений. Разведочным и добывающим компаниям необходимо понимать взаимосвязь между геологическими, петрофизическими свойствами пород, пластовыми давлениями, температурой и прочими условиями, а ключом к такому пониманию является геомеханическое моделирование, которое существенно повышает эффективность эксплуатации месторождений за счет уменьшения затрат, снижения рисков при бурении и освоении скважин.

Геомеханическое моделирование представляет собой последовательный процесс определения механических свойств горной породы и ее реакций на воздействия в процессе разработки месторождения. Для определения технологических параметров разработки месторождения необходимо понимать текущее состояние пласта в районе закачки: градиенты поглощений и гидроразрыва, пластовое давление, а также проницаемость и пористость.

Первое представление о напряженном состоянии на этапе поисково-разведочных работ, где основной задачей является безаварийное бурение скважин, формируется инструментами 1D – геомеханического моделирования, являющегося численным представлением механических свойств, давлений и напряжений (МСДН) горной породы вдоль траектории скважины. Модель описывает поведение горного массива с точки зрения деформаций и разрушений и позволяет оценить плотность бурового раствора для минимизации обрушений и поглощений, выбрать оптимальные углы вскрытия осложненных интервалов, оптимизировать конструкцию обсадной колонны, определить упругие свойства и напряжения для проектирования гидроразрыва пласта, определить максимально допустимую депрессию для снижения выноса твердой фазы при освоении и эксплуатации скважин (рис. 1) [2].

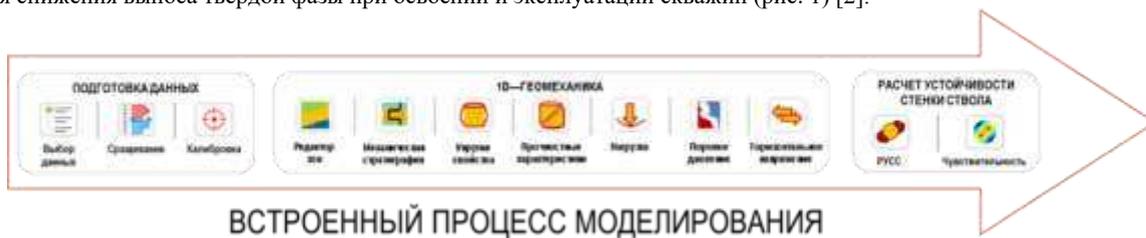


Рис. 1. Процесс одномерного геомеханического моделирования

При ее построении используются данные геофизических исследований скважин. Определение минимального набора необходимых комплексов ГИС, исследований керна материала, числа опорных скважин и объема необходимых дополнительных исследований для каждого типа скважин является базовым для начала формирования качественной геомеханической модели (рис. 2).



Рис. 2. Комплекс ГИС для построения геомеханической модели

Процесс геомеханического сопровождения разработки залежей углеводородов заключается в совмещенном геолого-геомеханическом и гидродинамическом моделировании. При моделировании начальной стадии разработки месторождения, где изменения пластового давления носят преимущественно локальный характер в окрестности эксплуатируемых скважин, применяется 3D геомеханическая модель, позволяющую учесть изменение геологического

СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ, УПРАВЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

разреза по латерали и влияние тектоники. Основные цели, которые она решает – это оптимизация эксплуатационного бурения на этапе бурения первых эксплуатационных скважин, обеспечение устойчивости ствола скважины, а также предотвращение разрушения призабойной зоны и минимизация выноса твердой фазы [1]. Построение полномасштабной трехмерной модели механических свойств среды на основании результатов одномерного геомеханического анализа позволяет учитывать неоднородность свойств в пространстве, влияние структурных особенностей месторождений (разломы, горизонты), естественной трещиноватости, а также тектонических нагрузок при расчете полного тензора напряжений залежи. Основой для построения 3D – геомеханической модели служат структурная геологическая модель, результаты обработки поверхностной и скважинной сейсморазведки, скважинные геомеханические модели.

В случае геомеханического моделирования более зрелых месторождений спектра задач, решаемых 3D-моделью, недостаточно – необходим переход к 4D геомеханическому моделированию, особенностью которого является – учет перераспределения напряжений в моделируемом объеме горных пород с каждым временным шагом и двусторонней связи гидродинамики и геомеханики. Этот метод воспроизводит процесс деформации целевых интервалов в процессе разработки, что позволяет оценить степень влияния факторов, имеющие характер накопления: увеличивающуюся во времени воронку депрессий, разворот горизонтальных напряжений, повышение влияния вертикальной нагрузки на прискваженные породы, уплотнение породы, изменение коллекторских свойств, смещение вышележащих пород, оказывающих влияние на устойчивость скважины, непроизвольное нарушение изоляции пласта и попадания нагнетаемого флюида за пределы коллектора, а также многое другое. Основой для 4D – геомеханического моделирования являются 3D – геомеханическая и гидродинамическая модели. Гидродинамика описывает движение жидкости в пласте, а геомеханика – деформацию и движение горной породы, интегрируя эти подходы в единую модель можно с высокой точностью прогнозировать изменения свойств коллектора вследствие технологического воздействия.

Целый ряд программных обеспечений позволяет выстраивать геомеханическую модель. Программная платформа Petrel обеспечивает интегрированную и эффективную среду для создания и подготовки 3D геомеханических моделей, а также для 4D геомеханического моделирования месторождения, находящегося в разработке. ООО «РН-БашНИПИнефть» совершенствует корпоративный программный комплекс «РН-СИГМА», предназначенный для геомеханического моделирования при бурении. Программный комплекс GEODRILL предназначен для многоскважинного геомеханического моделирования, оптимизации и сопровождения бурения скважин в режиме реального времени, в то время как Цифровая Экспертная Система PetroDESc позволяет визуализировать скважинные данные, 3D объекты и построенную геомеханическую модель (рис. 3).

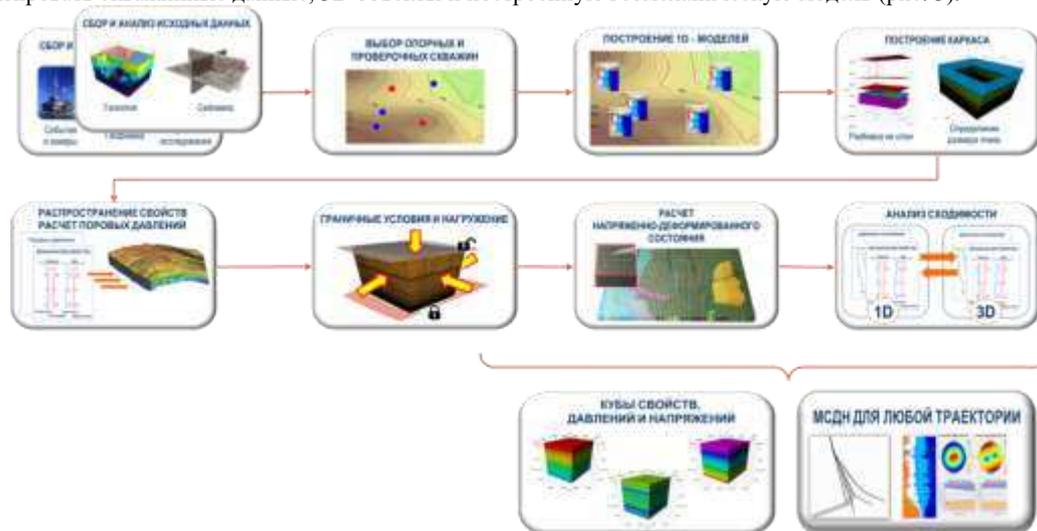


Рис. 3. Формирование 3D геомеханической модели

Геомеханическое моделирование при проектировании разработки месторождений существенно повышает эффективность их эксплуатации за счет уменьшения затрат и снижения рисков при бурении и освоении скважин, оптимизации дизайна гидроразрыва пласта и определения допустимого давления при закачке флюида в пласт в целях поддержания пластового давления. При этом наиболее точный результат дают 3D и 4D-моделирование, которые учитывают изменения свойств пласта в латеральном направлении, влияние тектоника, гидродинамики, не только по объему горного массива, но и во времени эксплуатации месторождения, соответственно [3]. На основании полученного прогноза определяют целесообразность разработки и выбирают оптимальные стратегии и технологии добычи. Проводится оптимизация схемы бурения, конструкций скважин, систем заканчивания и режимов добычи с целью максимизации накопленного дебита.

Литература

1. Ляпин И. Н., Королев Д. О., Коровин И. Ю., Корнев А. Ю., Коваль М. Е., Попов А. А. Опыт применения геомеханического моделирования на этапе проектирования скважин // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 10.– С. 17–20.

2. Павлов В. А. и др. Развитие геомеханического моделирования в России // Технологии нефти и газа. – 2017. – № 6. – С. 3-9.
3. Поляков Д. А., Павлов В. А., Павлюков Н. А., Поленов С. В., Донцов Э. Н., Черных Д. Г., Голубков Д. Е., Самойлов М. И. Интегрированный подход к планированию бурения, многостадийного гидроразрыва пласта и эксплуатации скважин на основе цифровой геомеханической модели залежи с учетом влияния разработки // Нефтепромысловое дело. 2019. – № 11. – С. 44–50.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОБОПОДГОТОВКИ И АНАЛИЗА ГАЗОВ, РАСТВОРЁННЫХ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Терехов Д.И., Смирнова Н.А.

Научный руководитель профессор И.В. Гончаров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Воды, как природного, так и технического происхождения, оказывают сильное геохимическое и геофизическое влияние на различные процессы в нефтяных и газовых месторождениях. Важными компонентами природных и технических вод являются растворённые в них газы. В ряде работ [1, 2, 3] было показано, что при высокой обводненности продукции нефтедобывающих скважин наблюдается рост промышленного газового фактора за счет вклада водорастворенных газов. Не смотря на доказанное влияние процесса дегазации пластовой воды на процесс разработки месторождений, на данный момент отсутствуют регламентирующие документы, позволяющие учитывать данный фактор при подсчете запасов. Одной из основных проблем в данном направлении является отсутствие разработанной методики извлечения и анализа водорастворенных газов. Помимо прикладных задач при разработке месторождений, изучение газов, растворенных в природных водах, приобретает все большее значение в области вулканологии и сейсмологии. Растворенные в природных водах газы успешно используются в геохимических исследованиях для решения гидрогеологических и геотермических задач. Кроме того, в одной из работ [4] было высказано предположение, что вариации некоторых газовых компонентов могут быть реперами возобновляющейся сейсмической активности. Таким образом, разработка подхода по определению компонентного состава водорастворенного газа является актуальной задачей в настоящее время.

Определение компонентного состава газа, растворённого в воде, можно разделить на 3 основных этапа:

1. Пробоподготовка – извлечение водорастворимых газов.
2. Анализ полученного газа.
3. Математический расчёт результатов анализа.

Наиболее сложным представляется первый этап, так как выделение достаточного объёма представительной пробы газа часто сопряжено с рядом технических трудностей.

Существует несколько групп методов извлечения и анализа водорастворённых газов из водных растворов.

1. Выделение с помощью создания вакуума
2. Выделение посредством кипячения
3. Прямое введение жидкой пробы
4. Резкстракция растворённых газов новой газовой фазой.

В данной работе был выбран метод резкстракции газов новой газовой фазой (аргоном). Данный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с остальными: простота аппаратного оформления, значительный объем выделяющегося газа, отсутствие завоздушивания пробы.

В зависимости от ряда факторов (минерализация, температура, давление в системе газ-вода, pH раствора и т. д.), воды способны растворять в себе самые разные объёмы газа: от нескольких миллилитров при атмосферном давлении, до нескольких литров на литр воды при пластовых условиях. Таким образом, при разработке подхода по анализу водорастворенных газов необходимо оценить влияние всех перечисленных параметров.

Целями настоящей работы является разработка эффективной методики извлечения растворённых в воде газов с последующим их определением газохроматографическим методом. Важным начальным условием методики было поставлено изучение водорастворённых газов из воды при атмосферном давлении – без использования специальных глубинных или переносных пробоотборников, а также PVT ячеек. Данный подход, несомненно, имеет свои недостатки и достоинства. К недостаткам можно отнести загрязнение проб воды воздухом и необходимость наличия относительно большого объёма воды (не менее 5 л). К достоинствам метода можно отнести отсутствие использования специальных дорогостоящих пробоотборников, длительный срок хранения проб воды для анализа, а также возможность использования одной пробы воды на несколько видов анализа. Кроме того, в отличие от кипячения, в воде не происходит химических превращений и в сочетании с газохроматографическим анализом метод можно использовать для широкого круга анализируемых водных растворов.

На первом этапе проведения эксперимента была создана модель на основе водопроводной воды и растворённой в ней поверочной газовой смеси (для последующих этапов планируется использование пластовой, подтоварной и других видов растворов). Для приготовления модельной смеси через слой водопроводной воды была пропущена поверочная газовая смесь известного состава. Время насыщения воды газом составило 1,5 часа.

Сущность метода резкстракции заключается в вытеснении водорастворенных газовых компонентов другой, более легкорастворимой газовой фазой. В качестве компонента был выбран аргон благодаря относительно высокой растворимости в воде, инертности, и доступности. Кроме того, пик аргона не перекрывается с ключевыми компонентами газовой смеси на хроматограмме.

Замещение растворенных газовых компонентов аргоном проводилось с использованием установки, приведенной на рисунке 1. На первой стадии (рис. 1а) происходит введение чистой порции аргона объемом 50 мл