

Когда неизвлекаемые запасы становятся извлекаемыми

Что влияет на дебит при добыче из нетрадиционных коллекторов?

Рэндэл Ф. ЛаФоллетт, Baker Hughes (Технологический центр в г.Томболл, штат Техас, США)

При освоении нетрадиционных запасов и определении подходов к ним необходимо знать, какие данные следует собирать, сопоставлять и анализировать, чтобы благодаря имеющемуся опыту оптимизировать добычу. Доказано, что совокупность характеристик коллектора, архитектуры скважины, системы заканчивания, интенсификации притока и режимов добычи могут оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на дебит при использовании горизонтальных скважин с многостадийным ГРП.

Нетрадиционные подходы

На сегодняшний день добыча из нетрадиционных коллекторов (так называемых сланцев) преимущественно ведется посредством бурения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта (ГРП). В основных сланцевых бассейнах действуют десятки тысяч таких скважин. Одновременно производится непрерывное изучение новых сланцевых комплексов,

ведь их разработкой занимаются не только независимые операторы, но и крупнейшие добывающие нефтегазовые компании, включая государственные.

При исследовании сланцевых комплексов, помимо типов пород, поровых систем и типов углеводородов, следует учитывать и то, что их можно разделить на две группы с точки зрения наличия данных, необходимых для принятия стратегических и инженерно-технологических решений.



Проницаемость, мощность, давление пласта и вязкость пластового флюида являются компонентами основного уравнения продуктивности

Первая группа – это комплексы с большим объемом данных, анализ которых может быть полезен для геологоразведочных работ и оптимизации добычи. Но есть и вторая группа – месторождения, данные по которым ограничены или вообще отсутствуют. В этом случае для разработки конструкций заканчивания скважин и программ интенсификации притока нужны промышленные исследования и испытания.

Уравнение продуктивности

Какие данные следует собирать,

сопоставлять и анализировать? Определяющие продуктивность коллектора – типы пород и поровые системы. Проницаемость, мощность, давление пласта и вязкость пластового флюида являются компонентами основного уравнения продуктивности. Все эти характеристики важны. Низкая подвижность флюида в аргиллитах (проницаемость/вязкость) обуславливает потребность в очень большой площади расклинивания во время ГРП.

При обработке хрупких пород в качестве жидкости для ГРП обычно используется обладающая низкой вязкостью загеленная вода, а для пород с высоким содержанием глины, как правило, применяется гибридная жидкость или жидкость, содержащая поперечно сшитый гель.

Для низкопроницаемых газосодержащих песчаников нужна более ограниченная площадь расклинивания и более высокая проводимость, в то время как для наилучшей продуктивности традиционных газовых коллекторов

История вопроса

Разработка нетрадиционных запасов нефти и газа в США имеет давнюю историю. Добыча газа из низкопроницаемых песчаников началась еще в 1970 гг. Коллекторы с проницаемостью 0,1 миллиарда и ниже, определяемые как песчаники и требующие проведения ГРП с большими объемами жидкости и применения расклинивающего агента для достижения промышленных уровней добычи, были основным источником доходов для независимых операторов в США в течение ряда последних лет.

Ранее считалось, что сланцы препятствуют развитию трещин по вертикали, а концепции относительно аргиллитов как нефтегазоматеринской породы и сланцевых коллекторов еще не существовало. Лишь в Аппалачском бассейне велась ограниченная разработка естественно трещиноватых сланцевых систем.

Хотя первая скважина для добычи приповерхностного сланцевого газа была пробурена вблизи г.Фредония (штат Нью-Йорк) еще в 1821 году, серьезная разработка сланцевого газа началась уже позднее. В 1981 году компания Mitchell Energy пробурила скважину C.W. Slay № 1.

Тогда в вертикальных скважинах специалисты на экспериментальной основе использовали различные типы и объемы жидкости ГРП и расклинивающего агента, а также разные скорости закачки

для достижения рентабельной добычи. Цель заключалась в том, чтобы найти новый источник газа для компенсации падения добычи из истощенного пласта Bend Conglomerate и предотвратить закрытие трубопроводной системы и газоперерабатывающих заводов компании Mitchell Energy.

В качестве метода интенсификации притока в скважинах использовали пенный ГРП малого объема с применением белого песка. Со временем объемы рабочих агентов ГРП значительно выросли, и предпочтение стали отдавать массивным ГРП с жидкостью, содержащей поперечно сшитый гель. В 1990 гг., когда наблюдалось снижение цен на газ, в качестве жидкости ГРП была опробована загеленная вода (вода с понизителем поверхностного трения), которая продемонстрировала качество, не уступающее тому, которое получают с помощью сшитого геля. При этом удалось достичь 30%-ной экономии.

Современная эра бурения горизонтальных скважин с применением многостадийных ГРП в сланцевых коллекторах началась с первой горизонтальной скважины, пробуренной в бассейне Barnett в 1991 году. Технология получила распространение не сразу. Первая горизонтальная скважина имела низкий дебит и ее назвали научным экспериментом. Однако последующие скважины имели больший успех, потому что специалисты стали делать акцент на научный подход в вопросах разработки коллектора.

необходима наименьшая длина трещин/площадь расклинивания и их наивысшая проводимость.

Изменчивые породы

Изменчивость поровых систем пород наблюдается в пределах одного сланцевого комплекса, а также между различными сланцевыми комплексами. Так, например, в сланцах Barnett (США, Техас) мощность и глубина залегания коллектора одновременно увеличиваются с юго-запада на северо-восток.

Таким образом, увеличение мощности и давления пласта создают предпосылки для увеличения

потенциала продуктивности. Однако самая мощная часть коллектора на северо-востоке и севере обладает наименьшей термической зрелостью, что является фактором, снижающим продуктивность газа, но повышающим ценность скважины в плане добычи конденсата помимо газа.

Напротив, сланцевый комплекс Bakken (США, Северная Дакота) имеет совершенно иной тип коллекторов. В бассейне Western Williston горизонт Middle Bakken сложен кристаллическими доломитами мощностью 12-14 футов. В бассейнах Central Williston и Eastern Williston

горизонт Middle Bakken состоит из нескольких различных фаций, в основном из тонкозернистых песчаников с высоким карбонатным минеральным содержанием. В одних коллекторах Bakken имеются открытые природные трещины, в то время как в других (например, на месторождении Elm Coulee) они почти отсутствуют.

Статистика ради дебита

Совокупность характеристик коллектора, архитектуры скважины, системы заканчивания, интенсификации притока и режимов добычи оказывают как отрицательное, так и положительное

Типы сланцевых пород

Термин «сланцы» используется в очень широком смысле. Сланцевые коллекторы могут быть сложены преимущественно кремнисто-обломочными аргиллитами, как, например, сланцы бассейна Barnett. Они могут содержать карбонатные аргиллиты и мергели, которые представлены в бассейне Eagle Ford, или кристаллические доломиты, тонкозернистые песчаники и алевролиты, как в интервале Middle Bakken.

Сложенные аргиллитами коллекторы, как правило, сами являются нефтегазоматеринской породой. Это значит, что материнская порода углеводородов и коллектор представлены одним и тем же геологическим отложением, и каналы миграции нефти и газа отсутствуют.

Минералогический состав аргиллитов очень разнообразен. Они названы так вовсе не из-за него,

а из-за размера зерен. Аргиллиты в основном состоят из глины и частиц размером с зерна алевролита. Карбонатные аргиллиты также сами могут являться нефтегазоматеринской породой.

При этом сланцы месторождения Bakken правильней называть низкопроницаемыми коллекторами легкой нефти, материнской породой которых являются сланцы. Материнская порода представлена верхними, а иногда и нижними сланцами Bakken, но продуктивным горизонтом, в котором размещаются горизонтальные стволы и производятся операции по интенсификации притока, является относительно маломощный интервал Middle Bakken. Значение ТОС (общее количество органического углерода) в нем низкое или вообще отсутствует. Интервал сложен кристаллическим карбонатом или кремнисто-обломочными породами в зависимости от участка и среды осадконакопления.

влияние на дебит. Можно рассмотреть случаи, когда по месторождениям имеется достаточный объем данных, анализ которых позволяет определить основные факторы, способствующие достижению положительных показателей разработки.



Скважины с более длинными горизонтальными участками менее эффективны, так как имеют более низкие дебиты на единицу длины участка ГРП

На сегодняшний день в бассейне Barnett более 12 тыс. горизонтальных добывающих скважин, на сланцевом комплексе Bakken – более 4 тыс. Такое количество скважин позволило операторам в качестве эксперимента опробовать различные типы конструкций, заканчивания, интенсификации притока и режимов добычи после проведения ГРП.

Накопленная информационная база содержит широкий круг данных по строительству скважин: горизонтальные участки различной длины и азимута,

типы и оборудование заканчивания, длина и количество ступеней ГРП, технологические параметры ГРП и специализированные добавки (такие, как ингибиторы отложений).

Большое количество скважин в сочетании с вышеперечисленной информацией позволяет провести статистический анализ широкого спектра данных для определения зависимостей дебитов от качества коллектора и режимов добычи. Сам факт изменчивости качества коллектора и использования различных режимов эксплуатации скважин требует подробного анализа с помощью многовариантных статистических методов для наилучшего понимания эксплуатационных показателей, позволяющих добиться эффективных результатов по добыче.

Опыт Bakken

В двух недавних изданиях SPE (Society of Petroleum Engineers) – SPE 152530 и SPE 163852 – были помещены статьи с результатами по добыче нефти из сланцев Bakken (их правильней называть низкопроницаемыми коллекторами легкой нефти, материнской породой которых являются сланцы). В первой авторы проанализировали данные по добыче более 400 нефтяных скважин, используя геоинформационный алгоритм распознавания образов и другие статистические методики с целью определения ключевых факторов, оказывающих воздействие на продуктивность скважин. Влияние качества коллектора рассматривалось отдельно от инженерно-технологических характеристик.

Авторы сделали вывод, что скважины с более длинными горизонтальными участками (~10,000 футов) были менее эффективны, так как имели более низкие дебиты на единицу длины участка ГРП по сравнению со скважинами

с более короткими горизонтальными секциями (~5,000 футов). Кроме того, отмечено, что с увеличением количества ступеней ГРП происходило снижение дебитов. Имелись признаки снижения дебитов и в результате уменьшения средних концентраций пропанта.



Важную роль играет объем жидкости ГРП и пропанта, что характерно для коллекторов с низкоподвижными флюидами

Во второй статье рассматривался весь углеводородный комплекс Bakken в бассейне Williston Basin, а также статистические модели, построенные для четырех различных участков в пределах комплекса Bakken. Авторы пользовались теми же источниками информации, как и при написании первой статьи, но сами данные были обновлены, и количество анализируемых скважин составило более чем 3,5 тыс. Особое внимание уделялось построению многовариантных статистических моделей на различных участках Bakken.

В результате был сделан вывод, что местоположение скважины, а следовательно, и качество нетрадиционного коллектора на данном участке месторождения является одной из важнейших переменных величин для прогноза показателей добычи и эффективности работы сква-

жины. Кроме того, отмечено, что скважины с более длинными горизонтальными участками имеют меньшие дебиты на единицу длины участка ГРП. С учетом этого целесообразно ознакомиться с данными скважин с низкой добычей и разобраться в причинах, одной из которых может быть недостаточная промывка ствола после проведения ГРП.

Примечательно, что азимуты и зенитные углы в моделях не проявили себя как факторы, оказывающие значительное влияние на продуктивность скважин.

Зато важную роль играет объем жидкости ГРП и пропанта, что характерно для коллекторов с низкоподвижными флюидами. В ряде отдельных моделей значительное влияние на повышение продуктивности оказала концентрация пропанта и размер его зерен. Это указывает на необходимость учета проводимости пропанта при разработке нетрадиционных коллекторов.

В целом, анализ данных является важным шагом на пути понимания неоднородности качества нетрадиционных коллекторов и определения подходов к их освоению. Поэтому необходимо знать, какие данные следует собирать, сопоставлять и анализировать, чтобы извлечь уроки из уже имеющегося опыта и оптимизировать добычу.