

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036110**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.29

(51) Int. Cl. *E21B 49/00* (2006.01)
E21B 49/08 (2006.01)

(21) Номер заявки
201792190

(22) Дата подачи заявки
2016.06.02

(54) **ИСПЫТАНИЕ ПЛАСТА НА НАЛИЧИЕ ЗАПОЛНЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДАМИ
ТРЕЩИН ПЕРЕД ГИДРОРАЗРЫВОМ СЛАНЦА**

(31) **1509579.7; 1509576.3; 1513655.9**

(56) EP-A2-2700785
CA-A1-2013726
WO-A2-2009086279
WO-A1-2016069114

(32) **2015.06.03; 2015.06.03; 2015.08.03**

(33) **GB**

(43) **2018.05.31**

(86) **PCT/GB2016/051624**

(87) **WO 2016/193732 2016.12.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ГЕОМЕК ИНЖИНИРИНГ ЛТД (GB)

(72) Изобретатель:
Сантарелли Фредерик Джозеф (NO)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Способ определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением в скважине, в которой предполагается проведение возбуждения гидравлическим разрывом. После перфорации интервала в скважину нагнетают текучую среду и собирают данные кривой отклика давления. Текучую среду нагнетают со скоростью, которая ниже, чем скорость нагнетания при предполагаемой операции по ГРП, а частота сбора данных выше, чем частота сбора данных предполагаемой операции по ГРП. По кривой отклика давления определяют характерные элементы, значение и комбинация которых указывают на наличие или отсутствие заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением в интервале.

B1**036110****036110****B1**

Изобретение относится к добыче углеводородов посредством гидравлического разрыва в сланцевых пластах и, более конкретно, к способу определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин, т.е. "зон максимального нефтегазонасыщения", на интервалах вдоль длины разработки законченной скважины.

В настоящее время наблюдается постоянный интерес к так называемым нетрадиционным ресурсам для удовлетворения наших энергетических потребностей. В результате были разработаны технологии для интенсификации добычи углеводородов из низкопроницаемых подземных пластов, таких как сланцы, мергели, алевролиты и т.д. Согласно традиционной методике пробуривается скважина, обеспечивая боковой горизонтальный ствол через разведанный сланцевый пласт ниже кровли пласта. Затем скважина перфорируется и возбуждается на интервалах вдоль длины разработки. Возбуждение осуществляется посредством нагнетания смеси воды, химических веществ и расклинивающего наполнителя с высокой скоростью и давлением в пласт с интервалом перфорации. Цель такой операции по гидроразрыву пласта (ГРП) состоит в том, чтобы вызвать раскрытие естественных трещин в породе. Назначение расклинивающего наполнителя (песок, керамика, покрытый смолой или не покрытый смолой и т.д.) заключается в том, чтобы удерживать трещины раскрытыми после завершения возбуждения. В типичной скважине может быть до 50 перфорированных и возбужденных интервалов с расстоянием до 100 м друг от друга (в среднем 30 этапов).

В процессе возбуждения, если на интервале имеются естественные трещины, заполненные углеводородами, из них может осуществляться добыча. Однако добыча из каждого интервала может сильно различаться. Отчасти это связано с тем, что, хотя траектории трещин можно идентифицировать на стенке ствола скважины путем каротажа, такие данные каротажа не указывают на поперечное распространение трещин, а именно поперечные распространения определяют мощность добычи углеводородов. В настоящее время оценивается, что из около 50% возбуждаемых интервалов не добывается никаких углеводородов, что обусловлено главным образом отсутствием на интервале естественных заполненных углеводородами трещин с достаточным поперечным распространением.

По оценкам, затраты на химические вещества и расклинивающий наполнитель для выполнения операции по ГРП для возбуждения каждого интервала составляют около 25000 долларов США. Следовательно, возбуждение одной скважины на 40 интервалах требует от оператора около миллиона долларов производственных затрат. Это дает значительную сумму расчетных затрат на бурение (три миллиона долларов) и возбуждение (три миллиона долларов) для каждой скважины. Если из половины интервалов не будут добываться углеводороды, то полмиллиона долларов будут потрачены впустую на расходы, которые не окупятся. Это может составлять от 20 до 30% стоимости заканчивания скважины.

Задачей настоящего изобретения является обеспечение способа определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением на интервале в законченной скважине, благодаря чему при отсутствии заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением работу можно перенести на другой интервал, экономия времени и затраты на выполнение операции по ГРП, которая не приведет к добыче углеводородов.

Согласно первому аспекту настоящего изобретения предложен способ определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин достаточного поперечного распространения в скважине, подлежащей возбуждению гидравлическим разрывом, причем способ включает этапы:

- (a) при вскрытии пласта на первом интервале до выполнения предполагаемой операции по гидроразрыву пласта (ГРП), нагнетание первой текучей среды с первой скоростью в скважину;
- (b) сбор данных кривой отклика давления с первой частотой сбора данных;
- (c) определение по кривой отклика давления наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением на первом интервале; характеризующийся тем, что:
- (d) первая скорость ниже, чем скорость нагнетания предполагаемой операции по ГРП; и
- (e) первая частота сбора данных выше, чем частота сбора данных предполагаемой операции по ГРП.

Посредством сбора данных отклика давления с высокой частотой сбора данных при низкой скорости нагнетания можно определить характерные элементы на кривой отклика давления, которые указывают на наличие или отсутствие заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением. Такие естественные трещины будут проходить из ствола скважины в пласт на расстояние, достаточное, чтобы обеспечить трещины значительного объема для добычи углеводородов.

Предпочтительно, способ включает в себя этап отмены предполагаемой операции по ГРП и закупоривание первого интервала, если заполненные углеводородами естественные трещины с достаточным поперечным распространением не найдены. Таким образом, сохраняются затраты и время на выполнение операции по ГРП, не дающей добычи углеводородов.

В альтернативном варианте, способ включает в себя этап выполнения предполагаемой операции по ГРП, если найдены имеющиеся заполненные углеводородами естественные трещины с достаточным поперечным распространением. Таким образом, можно быть уверенным, что с помощью операции по ГРП будет осуществляться добыча углеводородов.

Предпочтительно, данные кривой отклика давления собираются измерителем, расположенным в

устье скважины. Первая скорость предпочтительно измеряется измерителем в устье скважины. Таким образом, поскольку давление и скорость обычно измеряются в устье скважины, для осуществления способа достаточно, чтобы сбор данных в устьевых измерителях выполнялся с более высокой частотой, и, следовательно, не требуется дополнительного проведения внутрискважинных работ, которые нужны для выполнения предполагаемой операции по ГРП.

Предпочтительно, кривая отклика давления содержит один или более характерных элементов, наличие и комбинация характерных элементов используются для определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением на первом интервале.

Предпочтительно, первая текучая среда нагнетается с первой скоростью через высокоточный насос высокого давления и низкой скорости. Это требует применения специализированного насоса, поскольку насосы, используемые в настоящее время для проведения операций по ГРП, не могут работать с требуемой высокоточной низкой скоростью при высоком давлении. Тем не менее, требуются только один или два насоса, по сравнению с 30-50, которые обычно нужны для операции по ГРП.

Предпочтительно, первая скорость составляет менее 10 баррелей/мин (баррелей в минуту). Первая скорость может составлять менее 2 баррелей/мин. Более предпочтительно, первая скорость составляет менее 1 барреля/мин. В этом случае пласт не испытывает ударного воздействия при нагнетании, а кривая отклика давления демонстрирует более точное определение отклика из пласта. Скорости нагнетания во время операций по ГРП обычно находятся в диапазоне от 50 до 200 баррелей/мин, так как они предназначены для оказания ударного воздействия на пласт, чтобы раскрыть трещины.

Предпочтительно, первая частота сбора данных составляет 1 Гц. Таким образом, точка данных на кривой отклика давления может быть получена каждую секунду. Более предпочтительно, частота сбора данных составляет от 1 до 10 Гц. Частота сбора данных может составлять от 10 до 100 Гц. Поскольку большинство измерителей в настоящее время являются цифровыми, такие частоты сбора данных доступны, но не используются по причине избыточного количества данных, которые будут собираться в течение периодов времени, обычно используемых в промышленности.

Предпочтительно, первая скорость поддерживается постоянной в течение заданного периода времени. Период времени предпочтительно устанавливается так, чтобы получить кривую достаточной протяженности, чтобы показать характерные элементы, ограничивая при этом объем текучей среды, нагнетаемой в скважину, предпочтительно, чтобы он составлял от 10 до 100 баррелей.

Предпочтительно, способ включает этап определения качества барьеров по обе стороны от вскрытого пласта на первом интервале. Предпочтительно, этот этап определяется посредством анализа кривой отклика давления. Таким образом, можно определить качество барьеров, т.е. обычно цемента, который перфорирован для вскрытия пласта, чтобы проверить, достаточно ли они хорошего качества для поддержания предполагаемой операции по ГРП.

Предпочтительно, способ повторяется на следующих интервалах вдоль длины разработки скважины.

Соответственно, чертежи и описание должны рассматриваться как иллюстративные, а не как ограничивающие. Кроме того, терминология и фразеология, используемая в данном документе, предназначена исключительно для описательных целей и не должна толковаться как ограничивающие объем формулировки, такие как "включающий", "содержащий", "имеющий", "состоящий" или "использующий" и их вариации, должна пониматься широко и охватывать объект изобретения, описанный ниже, эквиваленты и дополнительные не описанные объекты изобретения, а также не предназначена для исключения других добавок, компонентов, целых чисел или этапов. Аналогично, термин "содержащий" считается синонимом терминов "включающий" или "состоящий" для применимых юридических целей. Любое обсуждение документов, действий, материалов, устройств, изделий и т.п. включено в описание исключительно с целью обеспечить контекстное содержание для настоящего изобретения. Не предполагается или не представлено, что любые или все эти вопросы являются частью известного уровня техники на основе общих знаний в области техники, относящейся к настоящему изобретению. Все числовые значения в описании следует понимать как изменяемые термином "около". Подразумевается, что все элементы или любые другие компоненты, описанные в данном документе в единственном числе, включают в себя их множественное число и наоборот.

Хотя в описании используются термины "вверх" и "вниз" наряду с "самый верхний" и "самый нижний", следует понимать, что эти понятия используются относительно ствола скважины и что ствол скважины, хотя и показан на некоторых фигурах вертикальным, может быть наклонным. Это известно в области горизонтальных скважин, в частности для сланцевых пластов.

Ниже приведено описание вариантов осуществления настоящего изобретения, только в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые фигуры, где

фиг. 1 - блок-схема последовательности операций способа согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

фиг. 2 - схематическое изображение скважины, возбужденной гидравлическим разрывом согласно известному уровню техники;

фиг. 3 - схематическое изображение скважины, в которой должен выполняться способ по настоящему изобретению;

фиг. 4 - кривая отклика давления зависимости давления от накопленного объема нагнетаемой текучей среды согласно способу по настоящему изобретению;

фиг. 5 - кривая отклика давления, полученная на интервале скважины, которая показывает отсутствие зоны максимального нефтегазонасыщения, а также отсутствие на этом интервале заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением;

фиг. 6 - кривая отклика давления, полученная на интервале скважины, которая показывает присутствие зоны максимального нефтегазонасыщения, а также наличие на этом интервале заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением; и

фиг. 7(a) и (b) - кривые отклика давления, иллюстрирующие хороший (a) и плохой барьер (b) на интервале.

На фиг. 1 проиллюстрирована блок-схема последовательности операций, обеспечивающей способ, в целом обозначенная ссылочной позицией 10, для определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением 12 в скважине 14, проиллюстрированной на фиг. 2, в которой должно быть проведено возбуждение гидравлическим разрывом 16, согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2 проиллюстрирована скважина 14, возбужденная гидравлическим разрывом 16, согласно известному уровню техники. Скважина 14 была пробурена известным способом с поверхности 18 через геологические пласты 20. Скважина 14 показана вместе с исходным вертикальным стволом 22 скважины, который пробурен через защитный слой 24 пресной воды и кровлю 26 пласта для достижения найденного сланцевого пласта 28. Ствол 22 скважины затем пробурен горизонтально, чтобы достигнуть максимально доступного объема слоя сланцевого пласта 28. После заканчивания скважины 14 насосно-компрессорная труба 30 вставляется в ствол скважины 36 в сланцевом пласте 28, причем труба 30 цементируется в пласте, создавая барьер в виде цементной оболочки между внешней поверхностью 32 насосно-компрессорной трубы и внутренней поверхностью 34 ствола 36 скважины. На поверхности 18 находится устье 38 скважины, которое обеспечивает канал для входа и выхода ствола 22 скважины.

После заканчивания скважины 14 выбирается первый интервал 40. Первый интервал 40 обычно находится на дальнем конце 42 длины разработки 44. Первый интервал 40 перфорируется для обеспечения сообщения сланцевого пласта 28 с внутренней частью 46 трубы 30. Такое вскрытие пласта 28 позволяет выполнить операцию по ГРП 48.

В приведенном описании рассматривается заканчивание, при котором насосно-компрессорная труба цементируется в пласте, обеспечивая цементную оболочку, которая перфорируется для вскрытия пласта. Специалисту в данной области техники будет понятно, что существуют другие способы заканчивания, обеспечивающие альтернативные способы вскрытия пласта для сообщения с каналом эксплуатационной колонны. Для изоляции каждого интервала и каждой продуктивной зоны от соседних зон также могут быть установлены затрубные пакеры. Пласт может вскрываться с помощью полнопроходных задвижек или подвижных скользящих муфт для вскрытия участков с щелевыми отверстиями эксплуатационного хвостовика (т.е. перфорированного хвостовика), чтобы обеспечить прохождение текучих сред между пластом на интервале и внутренним каналом эксплуатационной колонны.

При традиционном ГРП 48 вода или загущенная вода в виде геля нагнетается с относительной высокой начальной скоростью, например 10 баррелей/мин. Скорость нагнетания увеличивается с шагом примерно 20 баррелей/мин для достижения максимальной скорости нагнетания от 100 до 200 баррелей/мин. Такой поэтапный подход используется для ударного воздействия на пласт и раскрытия естественных трещин. При такой высокой скорости нагнетания в воду добавляют расклинивающий наполнитель для заполнения трещин, оставляя их раскрытыми для добычи. Расклинивающий наполнитель представляет собой песчаные или искусственные керамические частицы, которые имеют размер, обеспечивающий поддержку, а также способствуют потоку углеводородов, т.е. сланцевой нефти и/или газа. Нагнетание продолжается до тех пор, пока подача расклинивающего наполнителя не закончится или не произойдет выпадение расклинивающего наполнителя из жидкости разрыва вследствие исчерпания давления насоса.

После выполнения операции по ГРП 48 первый интервал 40 закупоривается 54, чтобы блокировать доступ к пласту 28. Затем перфорируется второй интервал 52. Второй интервал 52 находится на расстоянии от первого интервала 40, обычное разделительное расстояние может составлять 100 м и располагается ниже по потоку от первого интервала 40.

Операция по ГРП 48 выполняется таким же образом на втором интервале 52 и процесс закупоривания, последующего перфорирования и возбуждения путем выполнения операции по ГРП на последующих интервалах повторяется вдоль длины разработки 44. Хотя на фиг. 2 показано только несколько интервалов, для обеспечения максимального извлечения доступных углеводородов чаще используется от 30 до 40 интервалов.

По окончании процесса вся скважина открывается для добычи. Нагнетаемая текучая среда возвращается с последующим потоком углеводородов.

Как показано на фиг. 2, количество углеводородов 50, добываемых на каждом интервале, сильно варьируется. Специалистам в данной области известно, что до 50% интервалов не будет давать никаких

углеводородов 50.

Это означает, что 50% производственных затрат на расклинивающий наполнитель и химические вещества потрачены впустую. На типичной скважине Северной Америки это составляет около 20% от стоимости заканчивания. Действительно, так как для операции по ГРП на площадку должна доставляться вода, время, затрачиваемое на каждую операцию по ГРП, а также на обработку и смешивание расклинивающего наполнителя, проведение гидравлического разрыва на непродуктивных интервалах, составляет 30% от стоимости заканчивания.

В качестве альтернативы можно предположить, что если бы можно было найти способ для определения интервалов, имеющих заполненные углеводородами естественные трещины с достаточным поперечным распространением для обеспечения в будущем значительной добычи углеводородов, таких расходов можно было бы избежать, а затраты на заканчивание скважины можно было бы уменьшить на около 30%.

На фиг. 1 показан способ согласно настоящему изобретению, который иллюстрирует такой процесс. При вскрытии пласта 58 на интервале 40, проводится испытание 56, которое указывает, имеются ли заполненные углеводородами естественные трещины с достаточным поперечным распространением 12 на интервале 40. Если ответ "ДА" 60, то предполагаемая операция по ГРП 48 может выполняться, как было запланировано, до перехода к следующему интервалу. Если в испытании 56 дается ответ "НЕТ" 62, то предполагаемая операция по ГРП отменяется. Таким образом, экономятся время и затраты на выполнение операции по ГРП, которая не будет давать никаких углеводородов.

Испытание 56 повторяется на следующем интервале 52 и так далее по всей длине разработки скважины 14, причем каждый интервал перфорируется и закупоривается, если ответ "ДА" 56, и просто закупоривается, если ответ "НЕТ". Когда на последнем интервале проводится испытание и выполняется операция по ГРП 48, если ответ "ДА" 60, из скважины может осуществляться добыча известными способами, как и планировалось.

Требования к проведению испытания 56 на скважине 14 проиллюстрированы на фиг. 3. Эта фигура представляет собой упрощенный вариант фиг. 2 и для ясности одинаковые элементы имеют одинаковые ссылочные номера. На фиг. 3 скважина 14 показана полностью вертикальной с одним интервалом 40, но должно быть понятно, что на практике скважина 14 может быть фактически горизонтальной. Размеры также сильно изменены, чтобы выделить значимые области, представляющие интерес. Скважина 14 бурится традиционным способом, обеспечивающим обсадную трубу 66 для поддержки ствола 36 скважины по длине кровли пласта 26 до расположения сланцевого пласта 28. Для определения расположения сланцевого пласта 28 и определения свойств скважины 14 используются стандартные способы, известные специалистам в данной области техники.

Эксплуатационная колонна 74 проходит через обсадную трубу 66, а труба 30 в виде эксплуатационного хвостовика свисает с подвески 72 хвостовика у основания 76 эксплуатационной колонны 74 и проходит в ствол 36 скважины через сланцевый пласт 28. Эксплуатационный пакер 68 обеспечивает уплотнение между эксплуатационной колонной 74 и обсадной трубой 66, предотвращая прохождение текучих сред через кольцевое пространство 70 между ними. В кольцевое пространство 80 между внешней поверхностью 82 эксплуатационного хвостовика 30 и внутренней стенкой 84 открытого ствола 36 скважины закачивается цемент. Этот цемент образует в кольцевом пространстве 80 цементную оболочку 78. Когда все установлено, в эксплуатационном хвостовике 30 и цементной оболочке 78 создаются перфорационные отверстия 86, чтобы вскрыть пласт 28 и сообщить его с внутренним каналом 88 эксплуатационного хвостовика 30. Все это выполняется как стандартный способ бурения и заканчивания скважины 14 в сланцевом пласте 28.

На поверхности 18 располагается стандартное устье 38 скважины. Устье 38 скважины содержит канал (не показан) для прохождения из скважины 14 текучих сред, таких как углеводороды. Устье 38 скважины также содержит канал 90 для нагнетания текучих сред из насоса 92. Измерители 94 располагаются в устье 38 скважины и управляются из блока 96, который также собирает данные с измерителей 94. Измерители 94 включают в себя измеритель температуры, манометр и измеритель скорости. Все эти наземные компоненты являются стандартными для устья 38 скважины.

В настоящем изобретении насос 92 представляет собой высокоточный насос высокого давления и низкой скорости. Для перекачивания текучей среды с нужными низкими скоростями, т.е. ниже 1 баррелей/мин, через канал 90 в законченный ствол 36 скважины необходима точность. Должно быть понятно, что объем скважины может потребовать использования множества насосов для обеспечения достаточной скорости нагнетания. Поскольку нужна низкая скорость нагнетания, ожидается, что потребуется не более двух насосов. После завершения испытания 56, если требуется выполнить операцию по ГРП 48, вместо насоса 92 будет использоваться ряд насосов высокого давления и высокой скорости.

Измерители 94 могут быть стандартными измерителями, хотя для настоящего изобретения манометр должен иметь возможность записывать данные с высокой частотой сбора. Эта частота должна составлять по меньшей мере 1 Гц, в результате чего точка данных может быть собрана с частотой по меньшей мере одной точки в секунду. Поскольку большинство измерителей в настоящее время являются цифровыми, может потребоваться просто увеличить частоту сбора на измерителе. Блок 96 может собирать данные локально и передавать их в рабочую базу (не показана), где может выполняться анализ данных.

За исключением потребности в высокоточном насосе высокого давления и низкой скорости испытания 56 может выполняться без каких-либо изменений, необходимых для бурения и заканчивания скважины 14, и без каких-либо внутрискважинных работ.

Таким образом, как показано на фиг. 1 и 3, после перфорации интервала 40 для вскрытия 58 пласта 28 текучая среда нагнетается в ствол 36 скважины с первой низкой скоростью потока 98. Текучая среда предпочтительно будет представлять собой воду, но также может быть загущенной водой (гелем), по доступности на площадке, и используется для начального этапа предполагаемой операции по ГРП 48. Таким образом, для испытания 56 не требуется дополнительных специальных текучих сред. Когда текучая среда нагнетается в ствол 36 скважины, давление 100 и накопленный объем 102, измеренные измерителями 94 давления и скорости, собираются в блоке 96. Эти данные обеспечивают кривую отклика давления 104.

Первая скорость 98 потока текучей среды выбирается таким образом, чтобы она была значительно меньше скорости потока, используемой для предполагаемой операции по ГРП 48. Обычно первая скорость 98 потока текучей среды будет ниже 1 или 2 баррелей/мин. Более типично, скорости потока для предполагаемой операции по ГРП 48 составляют от 20 до 200 баррелей/мин. Скорость потока текучей среды поддерживается при первой скорости 98 потока в течение периода времени. Выбранное время является достаточным для получения подходящей для анализа кривой 104 и ограничивает накопленный объем 102 в пределах от 10 до 100 баррелей. Давление 100 записывается с частотой сбора данных 1 Гц. Это обеспечивает точку данных каждую секунду. Более типично, в предполагаемой операции по ГРП 48 частоты сбора данных записывают данные с интервалом в 5 мин, хотя некоторые системы могут записывать с интервалом 5 с.

На фиг. 4 проиллюстрирована примерная кривая 104 отклика давления для испытания 56, выполненного на интервале 40 на скважине 14, в которой предполагается проведение операции по ГРП 48. Кривая 104 представляет собой график зависимости давления 100, зарегистрированного в устье 38 скважины, от накопленного объема 102 нагнетаемой первой текучей среды. Накопленный объем 102 определяется из измерения скорости, осуществленного измерителями 94. Предполагается, что гидравлические потери при используемых низких скоростях нагнетания отсутствуют.

Комбинация очень низкой скорости нагнетания и высокой частоты сбора данных обеспечивает кривую 104 отклика давления, демонстрирующую ряд наклонных участков S1-Si 106 с возможными изломами 108 и/или понижениями 110. На кривой 104 по фиг. 4 имеется начальный наклонный участок S1, 106a. Затем идет излом 108a, который определяет первое значение давления PLOT 112. За изломом 108a следует второй наклонный участок S2, 106b, градиент которого не такой крутой, как для S1, 106a. В конце второго наклонного участка S2 106b имеется понижение 110a, при этом значение давления в начале понижения 110a определяет второе значение давления PBD 114. Затем идет еще один, третий, наклонный участок S3 106c возрастающего давления, который заканчивается в изломе 108b для обеспечения дополнительного наклонного участка S4 106d. Могут иметься дополнительные наклонные участки Si, причем каждый наклонный участок имеет меньший градиент, чем предыдущий. Также видно конечное понижение 110b, которое соответствует выключению насоса 92 и завершению испытания 56.

В качестве характерных элементов кривой 104 рассматриваются наклонные участки 106, изломы 108, понижения 110 и первое и второе значения давления 112, 114. Хотя на кривой 104 присутствуют все характерные элементы, следует понимать, что присутствие или отсутствие этих элементов можно использовать для интерпретации, равно как и их положение и значения. Кроме того, для анализа также используются значения некоторых известных параметров, которые уже будут интерпретированы для скважины 14.

При анализе определяются характерные элементы и делаются сравнения. Сначала проводится сравнение сжатого объема, который рассчитывается с использованием наклонного участка S1, с известным объемом скважины. Также проводится сравнение между первым значением давления, PLOT и ожидаемым минимальным горизонтальным напряжением. Рассмотрено присутствие или отсутствие второго значения давления PBD, соответствующего резкому понижению. Определяется присутствие или отсутствие излома до первого значения давления PLOT. Также оценивается количество и градиент последующих наклонных участков S2-SL. Комбинация этих параметров и анализов дает представление о том, была ли перфорирована зона максимального нефтегазонасыщения и присутствуют ли на интервале заполненные углеводородами естественные трещины. Также можно определить, имеет ли цементная оболочка достаточно хорошее качество для поддержания предполагаемой операции по ГРП.

Простой анализ показывает, что характерными элементами, которые свидетельствуют о наличии зоны максимального нефтегазонасыщения, являются начальный излом при PLOT, обеспечивающий второй наклонный участок S2, отсутствие прорыва, т.е. понижения при PBD, и ряд наклонных участков, градиент которых равен нулю, т.е. которые являются горизонтальными. Наличие понижения и второго значения давления PBD вместе с наклонными участками уменьшающегося, но отличного от нуля градиента, указывает на отсутствие зоны максимального нефтегазонасыщения.

На фиг. 5 проиллюстрирована кривая 104 отклика давления из интервала 40 скважины 14, в котором нет зоны максимального нефтегазонасыщения заполненных углеводородами естественных трещин.

Для ясности, одинаковые элементы с элементами по фиг. 4 обозначены одинаковым ссылочным номером. В этой скважине 14 первая скорость нагнетания текучей среды составляла 1 баррель/мин, а частота сбора данных составляла 1 Гц. Отклик 104 имеет ряд наклонных участков S1-S5, 106a-e. Сравнение сжатого объема, рассчитанного с использованием наклонного участка S1, с известным объемом скважины дает корреляцию 1:1 и имеется очень резкое понижение 110a с выраженным вторым значением давления PBD 114, иллюстрирующим прорыв, а наклонные участки S1-S5, 106a-e представляют собой ряд градиентов, убывающих до тех пор, пока они не станут горизонтальными в точке, где нагнетание останавливается 116. Таким образом, анализ этих характеристик в совокупности указывает на отсутствие зоны максимального нефтегазонасыщения и отсутствие заполненных углеводородами естественных трещин. В этом случае предполагаемая операция по ГРП должна быть отменена, экономя продукцию и время. Интервал необходимо закупорить и начать перфорацию следующего интервала.

В альтернативном варианте, фиг. 6 иллюстрирует кривую 104 отклика давления из интервала 40 скважины 14, в котором присутствует зона максимального нефтегазонасыщения. Для ясности, одинаковые элементы с элементами по фиг. 4 обозначены одинаковым ссылочным номером. В этом интервале 40 первая скорость нагнетания текучей среды составляла 0,34 барреля/мин, а частота сбора данных составляла 1 Гц. Отклик 104 имеет по меньшей мере семь наклонных участков S1-S7, 106a-g. Сравнение сжатого объема, рассчитанного с использованием наклонного участка S1, с известным объемом скважины дает корреляцию 1:1,5, PBD отсутствует, а наклонные участки S1-S7 показывают серию плоских участков, т.е. градиенты вблизи нуля. Из этого можно заключить, что имеется зона максимального нефтегазонасыщения и что на интервале присутствуют естественные трещины с достаточным поперечным распространением.

Кроме того, число горизонтальных наклонных участков и их соответствующие давления могут быть обратно проанализированы, чтобы получить указание о провале семейств трещин, встречающихся на этом интервале.

Кривая 104 отклика давления также может использоваться для определения качества барьера, т.е. цементной оболочки, затрубного пакера и т.д. Лучше всего это можно проиллюстрировать с помощью фиг. 7(a) и (b). На фиг. 7(a) показана первая часть кривой 104 отклика давления. Для ясности, одинаковые элементы с элементами по ранее описанным фигурам обозначены одинаковыми ссылочными номерами. На фиг. 7(a), кривая 104 отклика давления соответствует прямой линии в наклонном участке 106a, идущим до излома 108a, указывающего на нелинейность в кривой 104 вокруг PLOT 112. Так как сравнение сжатого объема, рассчитанного с использованием наклонного участка S1, с известным объемом скважины дает корреляцию, большую или равную единице, а излом 108a находится вокруг PLOT 112, как и ожидалось, это указывает на то, что барьер имеет достаточное качество и прочность, чтобы противостоять предполагаемой операции по ГРП 48.

Напротив, со ссылкой на фиг. 7(b), где для ясности одинаковые элементы с элементами по ранее описанным фигурам снова имеют одинаковые ссылочные номера. Кривая 104 на фиг. 7(b) начинается как прямая линия с наклонным участком 106a, указывающая корреляцию, большую или равную единице, при сравнении сжатого объема и объема скважины. Однако перед достижением давления PLOT 112 происходит прорыв 114, а следующий второй наклонный участок 106b имеет корреляцию значительно больше единицы. Это указывает на резкое увеличение объема под давлением и потерю целостности барьера. В этом случае кривая 104 свидетельствует о плохом цементировании или возникновении обходного канала пакера.

На фиг. 1 способ 10 демонстрирует использование испытания 56 в стандартной скважине 14, подлежащей возбуждению гидравлическим разрывом 16. В законченной скважине 14, показанной на фиг. 3, сланцевый пласт 28 вскрывается 58 на интервале 40. Затем проводится испытание 56. Первая текучая среда нагнетается с низкой первой скоростью 120, а кривая 140 отклика давления собирается с высокой частотой 122 сбора данных посредством измерителей 94 в устье скважины 38. Кривая 140 анализируется 118 для определения присутствия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением 124 на интервале 40. Анализ 118 описан со ссылкой на фиг. 4-6.

В определении 124, если ответ "ДА" 60, то в интервале 40 имеются заполненные углеводородами естественные трещины с достаточным поперечным распространением 12, и тогда предполагаемая операция по ГРП 48 выполняется, как и планировалось. Если испытание 56 дает ответ "НЕТ" 62, предсказывая отсутствие зоны максимального нефтегазонасыщения и заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением 12, то предполагаемая операция по ГРП не выполняется. Таким образом, при невыполнении операции по ГРП экономится время и материалы.

Интервал 40 закупоривается 54, и, если он не является 126 последним интервалом 128, работа переносится на следующий интервал 52. Затем способ 10 повторяется для следующего интервала 52 и может повторяться для требуемого количества интервалов в скважине 14. На последнем интервале 128 углеводороды 50 добываются 64.

По мере выполнения способа 10 от верха фиг. 1 к нижней части фиг. 1 каждый этап будет занимать время и повлечет затраты. Таким образом, возможность остановить способ после блоков решения ДА/НЕТ 60, 62 экономит время и устраняет затраты на выполнение операции по ГРП 48. Как известно специалистам в данной области техники, типичная скважина с множеством интервалов может иметь 50% таких интерва-

лов, не содержащих заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением 12, и, таким образом, в половине циклов с использованием способа 10 экономится время и затраты, если результатом испытания 56 является "НЕТ" 62. Операция по ГРП 48, закупоривание 54 и перфорирование интервала для вскрытия пласта 58 и добычи 64 углеводородов 50 являются этапами, идентичными выполняемым в известном уровне техники, как описано со ссылкой на фиг. 2.

Следует отметить, что способ 10 по настоящему изобретению предназначен для нагнетания текучей среды в скважину со скоростью, которая не оказывает ударного воздействия на ствол скважины, а просто получает начальный отклик на волну давления. Давление и скорость выбираются с целью измерения пропускной способности вокруг закачиваемой зоны (да или нет) через искусственные и/или естественные трещины.

Основным преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением в скважине, подлежащей возбуждению гидравлическим разрывом, чтобы предотвратить необходимость проведения операции по ГРП, если такие трещины в интервале отсутствуют.

Дополнительным преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением в скважине, подлежащей возбуждению гидравлическим разрывом, что может снизить затраты на заканчивание скважины до 30%.

Еще одним преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением в скважине, подлежащей возбуждению гидравлическим разрывом, который не требует использования дополнительных специальных химических веществ или проведения внутрискважинных работ.

Можно выполнить модификации описанного в данном документе изобретения без отступления от его объема. Например, следует понимать, что некоторые фигуры показаны в идеализированной форме и что для интерпретации кривой отклика давления может потребоваться субъективная оценка, чтобы определить наличие заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением.

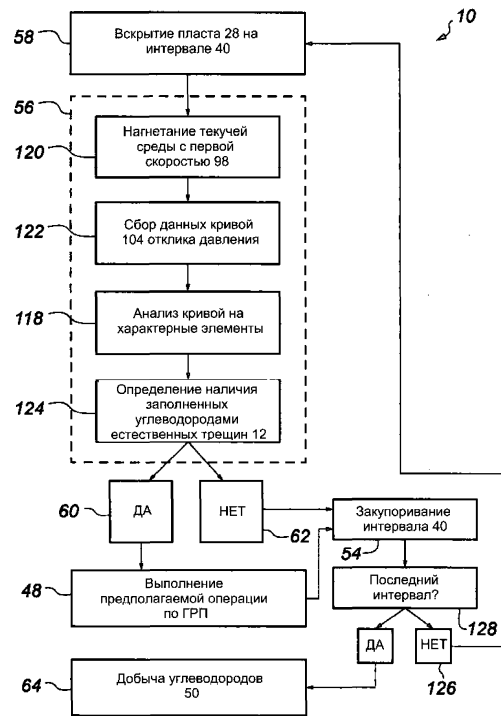
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ добычи углеводородов из скважины, подлежащей возбуждению гидравлическим разрывом, причем способ включает этапы:

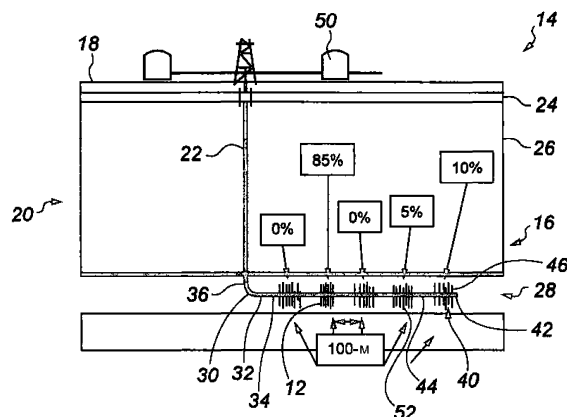
- (a) выбора в скважине первого интервала;
 - (b) перфорирования первого интервала для обеспечения сообщения сланцевого пласта с внутренней частью трубы;
 - (c) определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин достаточного поперечного распространения;
 - (d) выполнения операции по гидроразрыву пласта (ГРП), если заполненные углеводородами естественные трещины определяются как присутствующие; или отмены операции по ГРП и закупоривание первого интервала, если заполненные углеводородами естественные трещины не найдены;
 - (e) повторения этапов (a)-(d) для последующих интервалов по всей длине разработки скважины;
 - (f) открытие скважины для добычи,
- причем определение наличия заполненных углеводородами естественных трещин достаточного поперечного распространения включает
- нагнетание первой текучей среды с первой скоростью в скважину;
 - сбор данных кривой отклика давления с первой частотой сбора данных;
 - определение по кривой отклика давления наличия заполненных углеводородами естественных трещин с достаточным поперечным распространением на первом интервале,
 - при этом первая скорость ниже, чем скорость нагнетания операции по ГРП; и
 - первая частота сбора данных выше, чем частота сбора данных операции по ГРП.

2. Способ по п.1, в котором данные кривой отклика давления собирают измерителем, расположенным в устье скважины, при этом первая частота сбора данных составляет около 1 Гц, а кривая отклика давления содержит один или более характерных элементов, наличие и комбинацию которых используют для определения наличия заполненных углеводородами естественных трещин достаточного поперечного распространения на первом интервале.

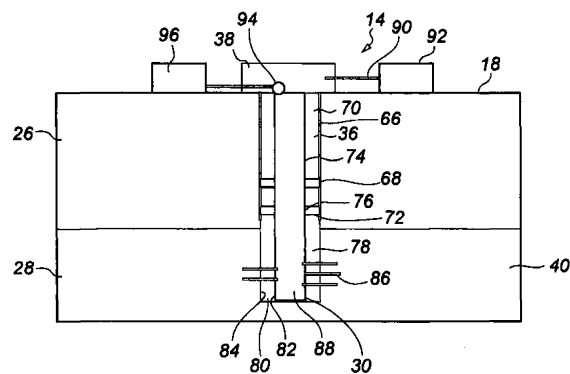
3. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором первую скорость измеряют измерителем в устье скважины и в котором первую текучую среду нагнетают с первой скоростью через высокоточный насос высокого давления и низкой скорости, при этом первая скорость составляет менее 10 баррелей/мин (баррелей в минуту).



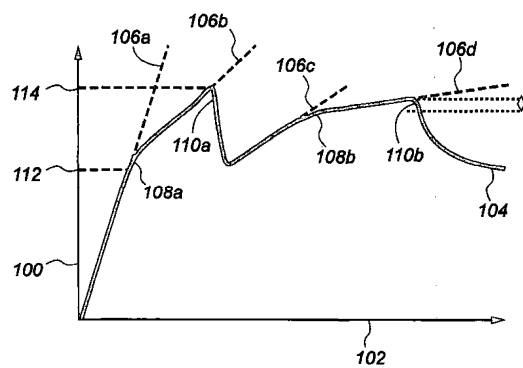
Фиг. 1



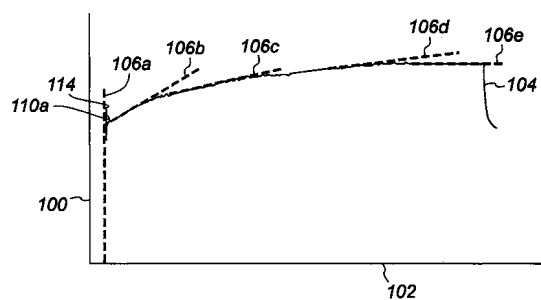
Фиг. 2



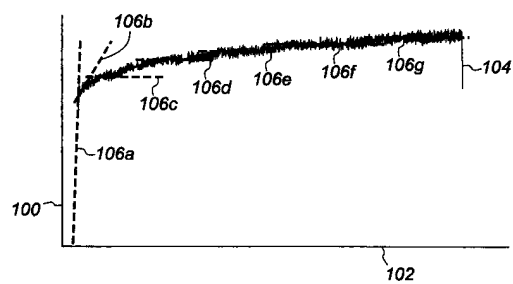
Фиг. 3



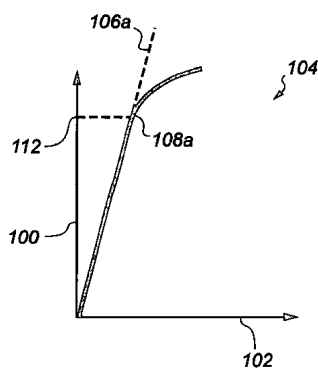
Фиг. 4



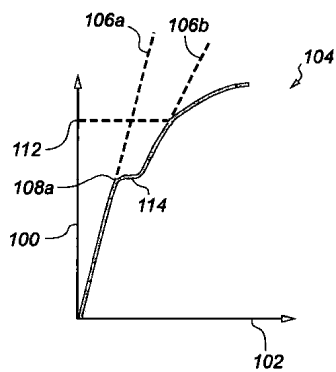
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7а



Фиг. 7b

