

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040992**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.08.26

(51) Int. Cl. *E21B 43/267* (2006.01)
E21B 47/06 (2012.01)

(21) Номер заявки
202191640

(22) Дата подачи заявки
2018.12.12

(54) **МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВТОРНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВЯЗКОЙ ПАЧКИ И ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
МОНИТОРИНГА ДАВЛЕНИЯ**

(43) **2021.10.05**

(56) US-A1-2016115780

(86) **PCT/RU2018/000815**

US-B2-9658357

(87) **WO 2020/122747 2020.06.18**

RU-C1-2507390

WO-A1-2018004369

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ Б.В.
(NL)

(72) Изобретатель:
**Коркин Роман Владимирович,
Пархонюк Сергей Дмитриевич,
Федоров Андрей Владимирович,
Кабанник Артем Валерьевич (RU)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Способ обработки подземного пласта, через который проходит ствол скважины, причем скважина имеет множество ранее стимулированных интервалов, при этом данный способ содержит: а) закачивание в скважину вязкой пачки с регистрацией кривой давления датчиком давления на устье скважины; b) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL); c) обеспечение гидроудара на устье скважины, который возбуждает трубные волны; d) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL) путем обработки гидроудара методом высокочастотного мониторинга давления; e) определение скорости трубной волны из комбинации данных из (b)-(d); f) выполнение гидроразрыва пласта и g) генерация гидроудара на устье скважины в конце операции (f) гидроразрыва пласта с уточненной глубиной точки входа жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью.

B1

040992

040992
B1

Область техники

Углеводороды (нефть, природный газ и т.д.) добывают из подземной геологической формации (т.е. "продуктивного пласта") путем бурения скважины, которая проходит через нефтегазоносный пласт. В результате создается частичный путь движения углеводорода к поверхности. Для "добычи" углеводородов, т.е. для их перемещения из пласта в ствол скважины (и в конечном итоге - на поверхность), углеводородам необходимо обеспечить по существу беспрепятственный путь продвижения из пласта в ствол скважины.

Трещины в пластах земной коры имеют большое значение для добычи подземных текучих ресурсов, таких как углеводороды. В пластах с низкой проницаемостью и низкой пористостью потенциальная добыча из ствола скважины, пробуренной в пласте, непосредственно связана с количеством раскрытых трещин. Для вторичного извлечения углеводородов после исчерпания добычи при изначальном давлении флюидов в пласте часто применяют закачку жидкостей для увеличения добычи углеводородов, и знания о трещинах в пласте являются поистине бесценными для прогнозирования общего извлечения.

Гидравлический разрыв (далее, гидроразрыв) пласта представляет собой способ стимуляции скважины путем создания трещин внутри нефтегазоносного пласта, в котором трещины создают посредством закачивания жидкости и расклинивающего агента внутрь скважины при высоком давлении. Основной целью гидроразрыва пласта является повышение продуктивности скважины, и операции по гидроразрыву и кислотной обработке для увеличения проницаемости пласта могут проектироваться на основании данных о продуктивном пласте, расклинивающем агенте, закачиваемом объеме кислоты, целевом коэффициенте продуктивности скважины и т.п. Однако трудности при определении эффективности обработки пласта методом гидроразрыва могут обеспечить некоторую степень неопределенности в отношении общего количества углеводородов, извлекаемого из данного продуктивного пласта.

Краткое описание сущности

В данном кратком описании сущности содержится выбор концепций, которые подробно описаны ниже. Данное описание не предназначено ни для определения ключевых или существенных признаков заявленного объекта изобретения, ни для использования в качестве вспомогательного средства, ограничивающего объем заявленного объекта изобретения.

В одном аспекте описанные в настоящем документе варианты осуществления относятся к способу обработки подземного пласта, через который проходит ствол скважины, причем скважина имеет множество ранее стимулированных интервалов, при этом данный способ содержит: а) закачивание в скважину вязкой пачки (порция обрабатываемой жидкости с определенными физическими свойствами) с регистрацией кривой давления датчиком давления на устье скважины; б) определение глубины (L) точки ввода жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL); с) обеспечение гидравлического удара на устье скважины, который возбуждает трубные волны; d) определение глубины (L) точки ввода жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL) путем обработки гидравлического удара методом высокочастотного мониторинга давления; e) определение скорости трубной волны из комбинации данных из (b)-(d); f) обеспечение гидроразрыва пласта; и g) обеспечение гидравлического удара на устье скважины в конце операции (f) гидроразрыва пласта с уточненной глубиной точки ввода жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью.

Другие аспекты заявленного объекта изобретения будут представлены в описании и прилагаемой формуле изобретения.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 показано изменение давления в зависимости от времени в соответствии с вариантами осуществления настоящего описания.

На фиг. 2 представлена кепстрограмма в соответствии с вариантами осуществления настоящего описания.

На фиг. 3 представлена блок-схема последовательности операций для обработки в соответствии с вариантами осуществления настоящего описания.

На фиг. 4 показано изменение давления в зависимости от времени для закачивания вязкой пачки в соответствии с вариантами осуществления настоящего описания.

На фиг. 5 и 6 приведены графические представления, иллюстрирующие процессы мониторинга повторного гидроразрыва пласта в соответствии с вариантами осуществления настоящего описания.

Подробное описание

Варианты осуществления, описанные в настоящем документе, в общем относятся к способам мониторинга эффективности повторного гидроразрыва пласта ранее стимулированных подземных пластов для улучшения эксплуатационных показателей скважины и извлечения углеводородов. Более конкретно, описанные в настоящем документе варианты осуществления относятся к способам мониторинга, контроля, оценки и повышения эффективности повторного гидроразрыва пласта в скважине с множеством ранее стимулированных стадий. В некоторых вариантах осуществления способы могут также включать выполнение одного или более действий по восстановлению для внесения

изменений в проект обработки в режиме реального времени. Авторы настоящего описания обнаружили, что применение технологии вязкой пачки в комбинации с высокочастотными измерениями давления (HFPM - High Frequency Pressure Measurement) с обеспечением гидроудара позволяет получать информацию в реальном времени об эффективности повторного гидроразрыва подземного пласта с более высокой точностью и надежностью по более низкой цене и за более короткий период времени, чем в случае применения одной из этих технологий. Более высокая точность данных об эффективности повторного гидроразрыва пласта, которую достигают в соответствии с описанием в настоящем документе, позволяет осуществить повторную стимуляцию большего количества стадий (чем в случае применения, например, технологии вязкой пачки) с минимальным риском недостаточной стимуляции одних стадий и чрезмерной стимуляции других.

В соответствии с определением в настоящем документе недостаточную стимуляцию можно рассматривать как гидравлический или кислотный разрыв пласта. Кроме того, в соответствии с определением в настоящем документе термин "стадия" или "интервал" определяет элемент заканчивания ствола скважины, который позволяет осуществить операцию гидроразрыва пласта (обработку) в этом месте. Кроме того, многостадийную обработку (многостадийный гидроразрыв) определяют как последовательные (постадийные) операции гидроразрыва пласта. Эти определения можно найти в Schlumberger Oilfield Glossary.

Способы в соответствии с настоящим описанием можно использовать для мониторинга эффективности повторных гидроразрывов пласта в скважине, имеющей множество ранее стимулированных стадий. Такие способы можно применять для мониторинга эффективности вторичной или третичной обработки для стимуляции для предоставления информации в реальном времени относительно эффективности повторного гидроразрыва пласта при стимуляции каждой стадии. С помощью такой информации оператор может принять решение, например, о том, является ли данная стадия добычи уже эффективно стимулированной или же следует осуществить изоляцию других стадий с последующим повторным гидроразрывом пласта данной стадии.

Согласно вариантам осуществления настоящего раскрытия в способе мониторинга эффективности повторного гидроразрыва пласта объединяют технологию вязкой пачки (VP/ВП), т.е. закачивание маркерной вязкой жидкости (с высокой вязкостью, разлагаемой с течением временем), и высокочастотные измерения давления (HFPM) с обеспечением гидроударов в конце стадии обработки и их дальнейшей обработкой.

На практике технология вязкой пачки позволяет идентифицировать положение трещины, полученной в ходе стимуляции пласта посредством гидроразрыва пласта. Такой способ основан на локальном изменении вязкости и/или плотности закачиваемой в скважину жидкости и включает закачивание жидкости гидроразрыва в ствол скважины при давлении, которое выше давления разрыва пласта, для создания по меньшей мере одной трещины. После этого в скважину закачивают маркерный пульс, затем жидкость гидроразрыва закачивают обратно в скважину. При входе маркерного пульса по меньшей мере в одну из трещин гидроразрыва пласта наблюдается определяемый по давлению отклик, а положение трещины определяют по объему жидкости гидроразрыва, закачанной после маркерного пульса. Маркерный пульс представляет собой порцию жидкости, вязкость и/или плотность которой отличается от жидкостей гидроразрыва, закачиваемых до и после маркерного пульса. Примеры технологии вязкой пачки более подробно рассмотрены в публикации WO 2018004370.

Как указано выше, технологию вязкой пачки можно комбинировать с высокочастотными измерениями давления (HFPM) с обеспечением гидроударов. В одном или более вариантах осуществления при высокочастотных измерениях давления (HFPM) могут использовать кепстральный анализ (cepstral analysis - eng). Например, в публикации WO 2018004369 более подробно рассмотрен способ мониторинга скважинных операций, основанный на кепстральном анализе данных по внутрискважинному давлению, регистрируемых на устье скважины. Этим способом определяют положение внутрискважинного объекта, отражающего гидравлический сигнал. В соответствии с таким способом скважину заполняют текучей средой, которая позволяет пропускать гидравлический сигнал. Предусмотрен источник гидравлического сигнала, который связан со скважиной посредством текучей среды и выполнен с возможностью обеспечения гидравлического сигнала. Датчик давления выполнен с возможностью регистрации гидравлического сигнала и находится в связи со скважиной посредством текучей среды и по меньшей мере с одним источником гидравлического сигнала. С помощью датчика давления регистрируют гидравлический сигнал и создают кепстрограмму давления с выделением на кепстрограмме давления интенсивного сигнала. После этого обнаруживают объект, который отражает гидравлический сигнал.

В соответствии с одним или более вариантами осуществления способ обработки подземного пласта, через который проходит ствол скважины, такой как способ мониторинга повторного гидроразрыва пласта, содержит использование последовательной закачки вязкой пачки (и определения глубины), высокочастотного мониторинга давления гидроударов (в конце вязкой пачки, также для определения глубины) и отклонителя (fluid diverter) для блокирования стадий с наибольшим приемом жидкости с дополнительным высокочастотным мониторингом давления в конце закачки указанного отклонителя.

Объединение этих способов позволяет, например, надежно определить, хорошо ли работает отклонитель или нужно закачать дополнительное количество отклонителя. Кроме того, количество закачиваемой вязкой пачки можно уменьшить благодаря дополнительным данным, полученным в ходе высокочастотного мониторинга давления. В результате обработку можно выполнять быстрее и с меньшими расходами. Более высокая точность данных об эффективности отклонения обрабатываемой жидкости, достигаемая благодаря применению этих двух технологий, также позволяет осуществить повторную стимуляцию большего количества стадий (чем в случае применения технологии вязкой пачки) с пониженным (или даже минимальным) риском недостаточной стимуляции одних стадий и чрезмерной стимуляции других.

В соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия операцию повторного гидроразрыва пласта выполняют в скважине, которую ранее подвергали стимуляции (ГРП - гидроразрыв пласта) и которая имеет множество ранее стимулированных интервалов, но в которой добыча углеводородов упала, таким образом, новая стимуляция (или повторная стимуляция, или повторный гидроразрыв пласта) рассматривается как целесообразная. В одном или более вариантах осуществления операция повторного гидроразрыва пласта проводят в определенной последовательности стадий в соответствии с описанием ниже. В таких вариантах осуществления первой стадией обработки для стимуляции скважины является определение того, какие из ранее стимулированных стадий скважины могут принимать жидкости, после чего следуют чередующиеся стадии обработки для стимуляции (например, обработка пласта методом гидроразрыва) с образованием новой(ых) трещины(трещин) и изоляцией такой(их) трещины(трещин) с помощью скважинных отклонителей. Последовательность стадий повторяют, пока стимуляции не будут подвергнуты все запланированные для этого стадии (либо ранее, если будет пересмотрен график работы). Для оценки эффективности обработки для стимуляции и определения будущих обработок для стимуляции может производиться сбор и обработка данных.

В соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия можно применять любой тип жидкости, используемой в качестве жидкости для стимуляции. Предполагается, что в некоторых вариантах осуществления свойства жидкости остаются неизменными на протяжении всего процесса обработки. Кроме того, предусмотрено, что в некоторых вариантах осуществления свойства могут изменяться от одной стимуляции до другой; в таких вариантах осуществления разницу можно учитывать с использованием поправочных коэффициентов на скорость трубных волн на основе знания свойств жидкости. В одном или более вариантах осуществления свойства жидкости могут быть неизвестны или плохо определены. В таких вариантах осуществления можно закачивать более вязкую пачку.

В соответствии с одним или более вариантами осуществления настоящего описания операция повторного гидроразрыва пласта в скважине с множеством стадий может содержать следующую последовательность операций.

1. Закачивание жидкости в соответствии с планом стимуляции (ГРП) для создания первой трещины гидроразрыва. Трещина может появиться в любой из 1...N имеющихся в скважине стадий.

2. Изолирование созданной трещины путем применения химического (растворимого) отклонителя, т.е. жидкость со специально разработанными частицами, которая может заблокировать раскрытую трещину.

3. Закачивание жидкости в соответствии с планом стимуляции (ГРП) для создания второй трещины гидроразрыва. Вторая трещина может появиться в любой из 1...N имеющихся в скважине стадий. Если трещина образуется в новой стадии добычи, стимуляцию считают успешной. Если новая трещина не образовалась, а жидкость закачалась в первую трещину, то новая стадия не является стимулированной, а стимуляцию считают неудавшейся. Своевременно обнаруженную неудавшуюся попытку стимуляции можно использовать для обновления плана стимуляции, например, для повторения стадии изоляции уже стимулированных стадий, затем изменения концентрации добавок в пачке отклонителя с последующей регулировкой объема пачки, затем внесения изменений в план гидроразрыва пласта, таких как регулирование объема жидкости, закачиваемой для увеличения трещины, или регулирование концентрации пропанга/волокон.

4. Изолирование обеих существующих трещин.

5. Проведение новой обработки для стимуляции (ГРП).

Как отмечалось выше, последовательность стадий повторяют, пока стимуляции не будут подвергнуты все запланированные для этого стадии (либо ранее, если график работы будет пересмотрен в связи с получением новых данных). Предсказание состоит в том, будет ли стимуляция какой-либо стадии успешной или жидкость закачивается в уже существующие трещины. С развитием возможностей моделирования, программного обеспечения и аппаратных средств возможность оптимизации проектов до стадии обработки и в режиме реального времени стала более осуществимой. В настоящее время существует несколько способов определения точки входа жидкости во время повторного гидроразрыва пласта, таких как распределенное измерение температуры (DTS), распределенное измерение вибрации (DVS), радиоактивные и химические индикаторы, микросейсмические технологии. Однако у таких подходов есть многочисленные ограничения и поэтому полученная информация имеет высокую неопределенность измерений, которая может ограничить надежность прогнозов.

Способ DTS включает закачку большого объема холодной жидкости и долговременные измерения распределения температур по стволу скважины. Способ DVS является очень чувствительным к небольшому объему газов, поскольку пузырьки газа могут вызывать ложные вибрации. Микросейсмический способ хорошо работает в механически твердых пластах и зависит от мониторинга местоположения скважины относительно обработанной скважины. Кроме того, микросейсмическая технология не является прискважинным способом и чувствительна к событиям, которые происходят в нескольких сотнях футов от ствола скважины. Таким образом, вертикальная глубина в стволе скважины точно не известна. Наличие химических или радиоактивных индикаторов свидетельствует о зонах с достаточно высокой проницаемостью в пласте, которые могут иметь или не иметь отношения к трещине. И наоборот, отсутствие (или концентрация ниже фоновой) химических или радиоактивных индикаторов в прискважинной зоне может означать, что частицы были закачаны глубоко в пласт. Наконец, эти способы являются непопулярными по причинам, связанным с охраной труда, окружающей среды и техникой безопасности.

Другим способом, который широко используется благодаря своей простоте и низкой стоимости, является мониторинг давления на поверхности. В этом случае точку входа жидкости не измеряют; вместо этого мониторинг эффективности отклонения осуществляют способом изменения мгновенного давления остановки закачки (МДОЗ): отклонение считают успешным, если МДОЗ после стимуляции превышает МДОЗ после предыдущей стимуляции. К сожалению, этот способ не гарантирует точности результатов. Кроме того, вычисление МДОЗ может занимать некоторое время, и его все равно можно определить с некоторой степенью неопределенности. Таким образом, разница между текущим и предыдущим значениями МДОЗ должна превышать минимальную пороговую величину, которая является субъективной. Кроме того, отрицательная разница между значениями МДОЗ не означает плохого отклонения, также необходимо оценивать потери давления на трение: если они увеличились по сравнению с предыдущей стимуляцией, то отклонение также является успешным, несмотря на разницу значений МДОЗ (давление трения может быть выше для формаций с более низким значением МДОЗ из-за потерь на трение в поврежденной прискважинной зоне).

Еще одним способом определения точки входа жидкости является технология вязкой пачки. Когда в скважину закачивают вязкую пачку, при входе пачки в трещину может наблюдаться повышение давления. Глубину точки входа жидкости можно предсказать с помощью данных по заканчиванию скважины, скорости закачки и моменту времени, когда жидкость достигает трещины. Однако во многих случаях эту глубину можно предсказать с точностью, сопоставимой с расстоянием между стимулируемыми стадиями, и поэтому невозможно получить точные результаты. Кроме того, закачивание вязкой пачки в конце каждой стадии может быть экономически неэффективным и может требовать больше дополнительного времени. По этим причинам технология вязкой пачки не очень широко применяется сама по себе.

Без привязки к любой теории авторы настоящего раскрытия обнаружили, что недостаток применения технологии вязкой пачки можно преодолеть путем сочетания такой технологии с высокочастотными измерениями давления в устье скважины. Такая комбинация позволяет осуществлять мониторинг эффективности обработки с использованием повторного гидроразрыва пласта. В одном или нескольких вариантах осуществления в способах можно использовать технологию вязкой пачки, т.е. закачку вязкой жидкости (1000 и более сП при 100 с^{-1} в течение по меньшей мере 20 мин с быстрым снижением вязкости до 100 сП или менее), и высокочастотные измерения давления с обеспечением гидроударов в конце операции с последующей обработкой данных.

Как описано в настоящем документе, высокочастотные измерения давления основаны на анализе сигналов гидроударов (или трубных волн), распространяющихся в стволе скважины. Трубные волны представляют собой граничные волны, которые возникают в обсаженных скважинах, когда волна Рэлея сталкивается со стволом скважины и вызывает возмущение жидкости в стволе скважины. Трубная волна проходит вниз по стволу скважины по границе раздела между жидкостью в стволе скважины и стенкой скважины. Поскольку трубная волна связана с пластом, сквозь который она проходит, она может вызывать возмущения в пласте через раскрытые трещины, пересекающие ствол скважины, с обеспечением эффекта сжатия, который обеспечивает вторичные трубные волны, которые отражаются вверх и вниз от места расположения трещины. Перехваченные вторичные трубные волны могут содержать сигнатуры, позволяющие идентифицировать раскрытые трещины, а также амплитуду, качественно связанную с длиной и шириной, например, объем заполненного жидкостью пространства трещины, в дополнение к другим характеристикам, таким как давление смыкания трещины, давление инициирования трещины и т.п. Трубные волны также можно использовать для обнаружения других объектов, таких как препятствия, участки труб различных диаметров, перфорации и раскрытые трещины.

На практике вторичные трубные волны можно восстановить из свертки первичных трубных волн путем определения времени и величины пикового значения огибающей восстановленного из свертки сигнала. Это время и величина изменяются предсказуемым образом, и это изменение можно проанализировать в зависимости от глубины. Для извлечения данных по трубным волнам для определения положений множества трещин от ствола скважины также можно использовать передовые

алгоритмы для обработки трубных волн (например, описанный выше кепстральный анализ), а также механизмы контроля источников давления, включая шум насоса, активные источники импульсов и т.п.

В соответствии с настоящим описанием высокочастотные измерения давления могут обеспечить вычислительный период для гидроударов (или трубных волн), которые обеспечивают в конце каждой стадии (или даже между стадиями, когда скорость закачки изменяется очень быстро). Эти периоды относятся ко времени, которое трубные волны проходят от устья скважины до трещины и отражаются от трещины обратно. Периоды (или значения времени отражения) можно преобразовать в значения глубины, если скорость трубных волн известна, что не является обычным случаем. Для прогнозирования этой скорости можно использовать какую-либо другую информацию для калибровки. Одним из способов является использование точки входа жидкости, предсказанной с помощью технологии вязкой пачки. В этом случае комбинация значений времени и глубины позволяет достаточно точно оценить скорость (по меньшей мере в данной стадии, в которой проводится стимуляция). Обоснованное предположение о том, что скорость между ближайшими стадиями меняется не слишком сильно, а также использование других описанных ниже способов, могут предоставить информацию о том, произошла стимуляция всех стадий или нет. Эту информацию можно получить в конце каждой стадии, и оператор может использовать ее для корректировки плана стимуляции для последующих стадий.

В соответствии с одним или более вариантами осуществления способ обработки подземного пласта, через который проходит ствол скважины, может содержать: а) закачивание в скважину вязкой пачки с регистрацией кривой давления датчиком давления на устье скважины; б) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL); в) обеспечение гидравлического удара на устье скважины, который возбуждает трубные волны; г) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL) путем обработки гидравлического удара методом высокочастотного мониторинга давления; д) определение скорости трубной волны из комбинации данных из (б)-(г); е) обеспечение гидроразрыва пласта и г) обеспечение гидравлического удара на устье скважины в конце операции (г) гидроразрыва пласта с уточненной глубиной точки входа жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью. В таких вариантах осуществления скважина имеет множество ранее стимулированных интервалов. В одном или более вариантах осуществления в скважине можно проводить множество обработок для стимуляции.

В соответствии с одним или более вариантами осуществления перед закачиванием вязкой пачки в скважину можно проводить обработку типа "дата-фрак" (т.е. гидроразрыв пласта малого объема для получения данных о пласте) (<https://petrowiki.org/Glossary>). В таких вариантах осуществления вязкая пачка может входить в состав жидкости, вязкость которой по меньшей мере в 100 раз превышает вязкость скважинного флюида. В одном или более вариантах осуществления, в которых проводят множество обработок для стимуляции, вязкую пачку закачивают перед каждой обработкой с гидроразрывом пласта. В таких вариантах осуществления гидроудар можно обеспечить путем отключения насосов на поверхности. В одном или более вариантах осуществления способ высокочастотного контроля давления включает обработку сигнала давления, например, включая предварительную фильтрацию сигнала и дополнительную обработку с помощью кепстрального анализа. Кроме того, предусмотрено, что после стадии (г) в ствол скважины можно дополнительно закачать отклонитель. В таких вариантах осуществления отклонитель может входить в состав суспензии частиц, способной изолировать по меньшей мере один из ранее стимулированных интервалов. В одном или нескольких вариантах осуществления отклонитель можно выбирать из группы химических (растворимых) и механических отклонителей.

В одном или нескольких вариантах осуществления способ обработки подземного пласта может дополнительно содержать выполнение операции заканчивания. В таких вариантах осуществления операцию заканчивания выбирают из группы заканчиваний с установкой мостовой пробки в зоне перфорации или заканчиваний с применением скользящих муфт.

Кроме того, предусмотрено, что способ обработки подземного пласта, через который проходит ствол скважины, может содержать: 1) закачивание первой вязкой пачки в скважину, расположенную в подземном пласте, причем скважина имеет множество ранее стимулированных стадий, 2) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенности глубины (ΔL) для тех ранее стимулированных стадий, которые могут принимать жидкость, 3) обеспечение гидравлического удара на устье скважины для возбуждения трубных волн, 4) обработку гидравлического удара методом высокочастотного мониторинга давления для определения глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенности глубины (ΔL), 5) определение скорости трубной волны путем комбинирования 2)-4), 6) проведение первой обработки для стимуляции (такой как гидроразрыв пласта) в по меньшей мере одной ранее стимулированной стадии, которая принимает жидкость, для образования первой новой трещины в по меньшей мере одной ранее стимулированной стадии, 7) обеспечение гидроудара на устье скважины в конце обработки 6) с гидроразрывом пласта с уточненной глубиной точки входа жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью, 8) изолирование первой новой трещины путем закачки порции отклонителя, 9) вычисление, по меньшей мере, времени отражения

гидроударов и неопределенности времени отражения с использованием высокочастотного мониторинга давления с гидроударами, которые обеспечивают, по меньшей мере, в конце одной стадии обработки, 10) прогнозирование скорости трубной волны для по меньшей мере одной ранее стимулированной (подвергнутой гидроразрыву) стадии с использованием по меньшей мере глубины (L) точки входа жидкости и времени отражения гидроударов, и 11) оценку эффективности первой обработки для стимуляции для определения будущих обработок для стимуляции, при наличии таковых. В одном или более вариантах осуществления определение глубины (L) точки входа жидкости и неопределенности глубины (ΔL) по меньшей мере одной ранее стимулированной стадии осуществляют с помощью технологии вязкой пачки, высокочастотного мониторинга давления или их комбинации. В таких вариантах осуществления определение глубины (L) может иметь разрешение по меньшей мере 100 футов (30,48 м). В одном или более вариантах осуществления максимальная измеренная глубина по меньшей мере одной трещины гидроразрыва может составлять до 40000 футов (12192 м). Кроме того, предусмотрено, что на первой стадии обработки для стимуляции можно использовать множество вязких пачек и высокочастотные гидравлические удары.

Кроме того, предусмотрено, что после изоляции первой новой трещины (при закачке отклонителя) в скважину можно закачивать вторую вязкую пачку. Следующей стадией является проверка того, произошел ли сдвиг ранее стимулированных стадий, которые могут принимать жидкость, по сравнению с первоначальным значением. Если есть признак того, что первая обработка для стимуляции была эффективной и без какого-либо дополнительного количества отклонителя, можно проводить вторую обработку для стимуляции на второй стадии.

В таком варианте осуществления проводят вторую обработку для стимуляции на, по меньшей мере, второй ранее стимулированной стадии, которая может принимать жидкость, для формирования второй трещины, после чего осуществляют изоляцию второй новой трещины путем закачки отклонителя, вычисляют, по меньшей мере, время отражения гидроударов (точнее, время, необходимое трубным волнам для прохождения с устья скважины до трещины и обратно) и неопределенность времени отражения с помощью высокочастотного мониторинга давления с гидроударами, которые обеспечивают, по меньшей мере, в конце одной стадии обработки, прогнозируют скорость трубной волны для, по меньшей мере, второй ранее стимулированной стадии с помощью, по меньшей мере, глубины точки входа жидкости и времени отражения гидроударов и оценивают эффективность второй обработки для стимуляции для определения будущих обработок для стимуляции, при наличии таковых.

Кроме того, предусмотрено, что если первая обработка для стимуляции оказывается неэффективной, можно закачать дополнительное количество отклонителя. В таких вариантах осуществления количество отклонителя можно регулировать (увеличивать или уменьшать) на основе эффективности повторного гидроразрыва пласта. Как описано в настоящем документе, отклонитель можно выбирать из группы химических (растворимых) и механических отклонителей. В таких вариантах осуществления можно проводить вторую обработку для изоляции по меньшей мере на одной ранее стимулированной стадии.

Как отмечалось выше, последовательность этих стадий обработки повторяют, пока стимуляции не будут подвергнуты все запланированные для этого стадии (либо ранее, если график работы будет пересмотрен). После проведения стимуляции следующей стадией обработки является операция заканчивания. В таких вариантах осуществления операцию заканчивания можно выбрать из группы заканчиваний с установкой мостовой пробки в зоне перфорации или заканчиваний с применением скользящих муфт.

Кроме того, предусмотрено, что способ обработки подземного пласта представляет собой способ стимуляции подземного пласта, через который проходит ствол скважины. В таких иллюстративных вариантах осуществления способ включает закачивание первой вязкой пачки в скважину, расположенную в подземном пласте, причем скважина имеет множество ранее стимулированных стадий, проведение первой обработки для стимуляции с образованием первой новой трещины в по меньшей мере одной ранее стимулированной стадии, которая может принимать жидкость, обеспечение гидравлического удара в конце гидроразрыва пласта с уточненной глубиной точки входа жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью, а также корректировку будущей(их) обработки(обработок) для стимуляции в соответствии с обработанными вводными данными, собранными на различных стадиях обработки.

Как отмечалось выше, определение глубины может иметь разрешение по меньшей мере 100 футов (30,48 м). В одном или более вариантах осуществления максимальная измеренная глубина по меньшей мере одной трещины гидроразрыва может составлять до 40000 футов (12192 м).

В соответствии с одним или более вариантами осуществления на первой стадии обработки для стимуляции можно использовать множество вязких пачек и высокочастотные гидравлические удары.

Кроме того, предусмотрено, что после изоляции первой новой трещины путем закачки отклонителя в скважину можно закачивать вторую вязкую пачку. Следующей стадией является проверка того, произошел ли сдвиг ранее стимулированных стадий, которые могут принимать жидкость, по сравнению с первоначальным значением. Если есть признак того, что первая обработка для стимуляции была

эффективной и без какого-либо дополнительного количества отклонителя, можно проводить вторую обработку для стимуляции на второй стадии.

В таком варианте осуществления проводят вторую обработку для стимуляции в, по меньшей мере, второй ранее стимулированной стадии, которая может принимать жидкость, с образованием второй новой трещины, обеспечивают гидравлический удар в конце гидроразрыва пласта с уточненной глубиной точки входа жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью и корректируют будущую(ие) обработку(и) для стимуляции в соответствии с обработанными вводными данными, собранными на различных стадиях обработки.

Кроме того, предусмотрено, что если первая обработка для стимуляции оказывается неэффективной, можно закачать дополнительное количество отклонителя. Как описано в настоящем документе, отклонитель можно выбирать из группы химических (растворимых) и механических отклонителей. В таких вариантах осуществления можно проводить вторую обработку для изоляции по меньшей мере на одной ранее стимулированной стадии.

Как отмечалось выше, последовательность этих стадий обработки повторяют, пока стимуляции не будут отменены все запланированные для этого стадии (либо ранее, если график работы будет пересмотрен). После проведения стимуляции следующей стадией обработки является операция заканчивания. В таких вариантах осуществления операцию заканчивания можно выбрать из группы заканчиваний с установкой мостовой пробки в зоне перфорации или заканчиваний с применением скользящих муфт.

Высокочастотные измерения давления (HFPM)

Применение технологии высокочастотных (по меньшей мере 20 или 30 Гц) измерений давления позволяет получить намного больше информации, чем стандартное измерение давления. Быстрые изменения расхода от максимума до нуля в конце закачки могут вызвать прохождение гидроударов (или трубных волн) от устья скважины вниз до трещины и обратно. Время отражения этих волн (как правило, от 3 до 10 с) может указывать глубину раскрытой трещины и в общем может использоваться для определения точки входа жидкости. Эти колебания могут содержать другие параметры, помимо компонентов колебаний, такие как затухание, потери давления на трение, утечка жидкости в пласт, шум или отражение от других элементов в стволе скважины. Таким образом, определение времени отражения может быть затруднительным. Однако для определения таких параметров разработаны различные способы. Например, для измерения времени отражения можно использовать кепстральный анализ, как показано ниже на фиг. 2.

Как показано на фиг. 1 и 2, на фиг. 1 представлена типичная высокочастотная кривая давления во время гидравлического удара. Ее кепстрограмма представлена на фиг. 2. В частности, на фиг. 1 показаны колебания давления в конце закачки, а на фиг. 2 показана кепстрограмма, т.е. "амплитуды" волн с различным временем отражения в зависимости от времени. На фиг. 2 200 представляет самую сильную амплитуду, т.е. отражения главной волны давления от трещины, тогда как 210 представлено в виде линии, показывает время отражения. Ширина 210 определяет неопределенность.

В большинстве случаев скорость трубной волны неизвестна, а само по себе время отражения является бесполезным. Однако для определения скорости можно применять специальный алгоритм. В одном или более вариантах осуществления это можно описать на основе примера заканчивания с установкой мостовой пробки в зоне перфорации, но это можно распространить и на другие случаи. Предполагается, что есть N доступных стадий, где потенциально можно образовать трещины.

$L_1 \dots L_N$ - глубины этих стадий, а $\sigma L_1 \dots \sigma L_N$ - неопределенность глубины. В случае, когда стадия имеет ширину ΔL_i , неопределенность σL_i можно рассчитать как неопределенность для равномерного распределения и по формуле 1:

$$\sigma L_i = \frac{1}{2\sqrt{3}} \Delta L_i \quad (1)$$

Первая трещина может находиться на первой стадии (глубина и неопределенность глубины которой известны), поскольку никаких других перфораций нет. Это позволяет выполнить расчет скорости на первой стадии и соответствующее установление неопределенности. Эти данные можно использовать в качестве начального приближения для расчета скорости на второй стадии, с помощью которой в сочетании со временем отражения событий (таких как гидравлические удары) после обработки второй стадии можно предсказать возможную глубину трещины второй стадии. Далее эту предсказанную глубину сравнивают с глубиной перфорации второй стадии (если механическая изоляция является успешной) и глубиной перфорации первой стадии (если механическая изоляция заканчивается неудачей/утечкой). Разница между предсказанной глубиной и глубиной доступной стадии не может превышать двух-трех значений сигма, где σ - среднеквадратическое отклонение (или неопределенность) разницы, которое также можно вычислить. Это позволяет спрогнозировать, была ли вторая стимуляция успешной, и это дает вероятность успешной стимуляции, если осуществляются оба сценария.

Кроме того, для каждого из этих сценариев скорость можно определить с более высокой точностью, если доступна информация от более чем одной стадии, например данные об операциях закачки на первой и второй стадиях. Аналогичный принцип можно использовать и для последующих событий

(стимуляций). С помощью некоторых передовых статистических методов (в том числе байесовских методов) можно спрогнозировать положение трещины для каждой обработки за счет более точного рассмотрения каждого доступного сценария по мере регистрации все большего числа результатов измерений, настройки значения скорости и ее медленного изменения вдоль латерали.

На любой стадии можно наблюдать более одного сценария, но все они имеют свою собственную вероятность p , которая основана на методе максимального правдоподобия, описание в формуле 2:

$$p(i_1, i_2, \dots, i_n) \sim \exp\left(-\frac{(D_1 - L_{i_1})^2}{2(\sigma D_1^2 + \sigma L_{i_1}^2)}\right) * \exp\left(-\frac{(D_2 - L_{i_2})^2}{2(\sigma D_2^2 + \sigma L_{i_2}^2)}\right) \dots \exp\left(-\frac{(D_n - L_{i_n})^2}{2(\sigma D_n^2 + \sigma L_{i_n}^2)}\right) \quad (2)$$

Наконец, число возможных сценариев может быть очень большим, если данные для каждого события являются очень неточными (высокие значения σ_i и σL_i - время отражения и неопределенности глубины) и(или) наблюдается всего несколько событий. И наоборот, это число может быть небольшим (всего несколько или даже один), если значения времени отражения определены точно, а ширина стадии мала по сравнению с расстоянием между ними, и общее число стимуляций достаточно велико.

Технология вязкой пачки и высокочастотные измерения давления

В соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия технологию вязкой пачки и высокочастотные измерения можно использовать совместно. Такая комбинация позволяет осуществлять мониторинг повторного гидроразрыва пласта быстрее, с высоким уровнем достоверности, за короткое время и с привлечением минимума ресурсов. В таких вариантах осуществления мониторинг осуществляют следующим образом.

1. Закачивают вязкую пачку и определяют точку входа жидкости с неопределенностью. Привязывают данную точку входа жидкости к одной из нескольких стадий с их собственной вероятностью. Число возможных сценариев, где будет создана трещина, меньше или равно общему числу стадий.

2. Проводят первую обработку для стимуляции. Использование гидроударов в конце стадии обработки позволяет определить время отражения и неопределенность. С помощью значений глубины возможных стадий и полученного времени отражения можно предсказать скорость для каждой из стадий, как определено выше в п.1.

3. Закачивают отклонитель. В конце закачки отклонителя используют гидравлические удары для получения нового времени отражения, которое вместе со скоростью для каждого из возможных сценариев позволяет предсказать новую глубину. Затем эту глубину можно сравнить со всеми возможными значениями глубины стадий, где может пройти вторая трещина.

4. Создают новый набор сценариев с их вероятностями, которые пропорциональны произведению вероятностей из пп.1 и 3 выше. После нормирования сценарии с вероятностями менее заданного порогового значения (например, 0,5% или 0,005 от наиболее вероятного сценария) можно убрать из рассмотрения.

5. Если число сценариев больше одного, новый отклонитель можно закачивать или не закачивать в зависимости от их относительных вероятностей, времени и ограничений ресурсов.

6. Проводят вторую стимуляцию. С помощью гидравлического удара в конце стадии обработки можно определить время отражения и неопределенность. С помощью данных всех существующих сценариев сопоставляют предсказанную глубину второй трещины, как показано в формуле 3:

$$\frac{v_2 \tau_2}{2} \quad (3)$$

со всеми возможными стадиями для оценки ее местоположения (в данном случае используют скорость и время отражения, коэффициент $\frac{1}{2}$ возникает из пути движения волны: устье - забой скважины и обратно). Если местоположение трещины отличается от местоположения предыдущей трещины, стимуляцию можно считать успешной, а скорость можно обновить с использованием всех имеющихся данных, которые должны быть аналогичными, а, например, реальную скорость на каждой стадии можно вычислить в соответствии с формулой 4:

$$v_n = \frac{2 \sum_{i=1}^N w_i D_i \tau_i}{\sum_{i=1}^N w_i \tau_i^2}, \quad (4)$$

где τ_i - время отражения i -го события,

D_i - расчетные глубины трещины, соответствующей данному событию,

веса w_i представляют собой веса событий (чем больше время отражения события и неопределенность глубины, тем меньше его вес).

Новую вероятность для всех сценариев вычисляют как нормализованное произведение вероятностей, определенных в 1, 3, 5, 6. Однако ситуация, при которой на этой стадии остается один сценарий, даже если стимуляцию оценивали как удачную, не является обычным случаем. Фактически возможно несколько сценариев, если в каждом из них первая стадия отличается от второй стадии. Если в некоторых сценариях стимуляция закончилась неудачей, следует оценить вероятность неудачи в соответствии с формулой 5:

$$1 - \sum_{i=1}^N p_i * (1 \text{ в случае успешного отклонения}) \quad (5)$$

Если вероятность неудачного исхода достаточно высока, можно выполнить дополнительные действия, такие как создание нового события (запуск и остановка закачки, открытие или закрытие клапана и т.д.). Например, в таком случае его гидравлический удар можно проанализировать и использовать во всех сценариях переоценки. Если вероятность неудачи по-прежнему высока, можно выполнить дополнительные действия, такие как закачивание новой вязкой пачки, оценка глубины, переоценка сценариев и т.д. Если неудача все еще вероятна, можно осуществить закачку дополнительного отклонителя.

7. Закачивают новый отклонитель. Переоценивают все сценарии.

8. Проводят третью обработку для стимуляции. Использование гидравлического удара в конце стадии обработки позволяет определить время отражения и неопределенность. С помощью данных производят переоценку всех сценариев для принятия решения об эффективности стимуляции всех трех операций стимуляций.

9. Продолжают обработку для стимуляции.

Эта схема последовательности принятия решений показана на фиг. 3. Такая блок-схема позволяет выполнить операцию повторного гидроразрыва пласта в скважине, имеющей множество стадий для стимуляции, гораздо быстрее, чем с помощью используемых в настоящее время способов, с привлечением меньшего количества ресурсов и с обеспечением более надежной информации об эффективности стимуляции для обработки каждой стадии.

Примеры

Следующие примеры представлены в качестве дополнительной иллюстрации способа мониторинга повторного гидроразрыва пласта в соответствии с настоящим описанием и не должны интерпретироваться как ограничивающие объем описания, если в приложенной формуле изобретения явным образом не указано иное.

Для сравнения использовали классическую технологию вязкой пачки. Классическая технология вязкой пачки (без высокочастотного мониторинга давления) включает следующую последовательность стадий:

1. Смешивают пачку с использованием линейного геля и агента сшивания.
2. Закачивают приблизительно 3-4 м³ вязкой пачки (вязкость которой по меньшей мере в 100 раз превышает вязкость скважинного флюида) при низком расходе. Первую вязкую пачку закачивают в скважину после испытания закачки. Такую пачку используют для определения стадии, которая лучше всего принимает жидкость. Определение осуществляют путем мониторинга и анализа давления. Уклон поверхностного давления должен увеличиваться в тот момент, когда вязкая пачка входит в трещину.
3. Проводят первую стадию стимуляции.
4. Закачивают в ствол скважины отклонитель (изолирующий агент).
5. Закачивают вторую вязкую пачку для проверки того, произошло ли смещение точки, в которой принимается жидкость, по сравнению с первоначальным значением (положение изоляции отклонителя). В зависимости от результата (если отклонитель не выполняет свое назначение), можно закачать дополнительное количество химического (растворимого) отклонителя или выполнить другие действия по согласованию с клиентом.
6. После обеспечения отклонения проводят вторую стимуляцию (гидроразрыв) и обработку продолжают таким же образом от одной стадии стимуляции до другой.

Метод определения точки входа жидкости может предполагать поиск оптимальной точки пересечения двух (почти) линейных участков кривой "давление-время" с ее статистической обработкой. Из этой точки пересечения в сочетании с данными о заканчивании скважины и скоростью закачки выводят значение глубины точки входа жидкости. Стадию, способную принимать жидкость, предсказывают путем сопоставления с глубинами различных стадий.

Типичная кривая давления с анализом для определения точки входа жидкости представлена на фиг. 4. На фиг. 4 показана идентификационная или маркерная пачка в соответствии с описанием в публикации WO 2018004370. Как видно из фиг. 4, изменение уклона от небольшого угла до большого определяет время входа вязкой пачки в раскрытую трещину (с момента начала закачки). Результат составляет 17,7±0,3 мин. Для типичной скорости движения пачки ~ 2 м/с это обуславливает погрешность оценки глубины около 36 м, которая сопоставима с типичным расстоянием между стадиями. Таким образом, позиционирование вязкой пачки с такой точностью не гарантирует надежного ответа для всех стадий обработки.

В скважине провели двухстадийный повторный гидроразрыв пласта. Сама скважина содержит 4 стадии (перфорации, разделенные пакерами). Первую стимуляцию проводили по типу "дата-фрак" для получения данных об общих свойствах пласта (анализ кривой снижения давления) и определения того, какая стадия может лучше всего принимать жидкость (с помощью высокочастотного мониторинга давления). Операцию гидроразрыва пласта типа "дата-фрак" (или подготовительные работы к гидроразрыву пласта) определяют как закачку умеренного количества чистой жидкости гидроразрыва при давлении, которое выше давления гидроразрыва продуктивного пласта, для сбора информации о механических свойствах породы, эта оценка необходима для более точного прогнозирования

последующей полномасштабной операции гидроразрыва пласта (далее называется стимуляцией). Поскольку информация о скоростях трубных волн (кроме физических ограничений для скважинного флюида от 1300 до 1700 м/с) отсутствовала, это измерение не было определяющим, и далее использовали вязкую пачку. После этого были доступны три набора данных: данные "дата-фрак" (обработанные с помощью HFPM), глубина вязкой пачки, определенная по резкому повышению давления (стандартная технология вязкой пачки), и данные гидравлического удара в конце закачки вязкой пачки (обработанные с помощью технологии HFPM). Результаты представлены в табл. 1.

Отмечается, что использование вязкой пачки позволяет предсказать стадии с вероятностями 28 и 72% для стадий 3 и 4. Если закачивание вязкой пачки является единственной используемой технологией, оператор не может полагаться на эти данные. В данном случае также применяли технологию HFPM, и она позволила предсказать 30 и 70% для тех же стадий в стволе скважины. Таким образом, их комбинация (комбинация вероятностей из разных видов измерений) является более надежной. Основная стадия обработки представляет еще одну порцию информации (гидравлический удар в конце закачки, который обрабатывают с помощью технологии HFPM); результаты трех операций приведены в табл. 2. Следует отметить, что данные по гидравлическим ударам даже в комбинации со всеми предыдущими данными не являются исчерпывающими для идентификации доминирующей стадии, способной принимать жидкость: вероятнее всего, принимать жидкость способна стадия 4 (с более низкой вероятностью для 3-й стадии). Это может означать, что обе стадии принимают жидкость одновременно с разными значениями расхода.

При закачке химического (растворимого) отклонителя (изолирующего агента) анализируют полученные данные по гидравлическим ударам, которые показывают, что предыдущие стадии (3 и 4) изолированы (табл. 3). Этой информации уже достаточно для проведения второй стимуляции, и в результате закачивание вязкой пачки на этой стадии не проводится. Однако качество гидравлического удара после закачивания отклонителя является низким. Это связано с тем, что при закачке отклонителя лучше всего принимающие жидкость стадии оказываются изолированными (заблокированными), и отражения трубных волн могут возникать от незначительных источников (т.е. почти закрытые трещины, которые не могут принимать жидкость).

Таблица 1. Результаты мониторинга повторного гидроразрыва пласта с помощью HFPM и технологии вязкой пачки. Выполняют две закачки жидкости (дата-фрак и вязкая пачка)

ОПЕРАЦИЯ	Стадии, подвергнутые стимуляции (ГРП)			
	1	2	3	4
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	11%	59%	30%
Вязкая пачка 1 (обработка HFPM)	0%	0%	30%	70%
Вязкая пачка 1 (ВП)	0%	0%	28%	72%

Таблица 2. Результаты мониторинга повторного гидроразрыва пласта с помощью HFPM и технологии вязкой пачки. Добавлена основная операция (гидроразрыв)

ОПЕРАЦИЯ	Стадии, подвергнутые стимуляции (ГРП)			
	1	2	3	4
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	11%	59%	30%
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	0%	30%	70%
Вязкая пачка 1 (обработка HFPM)	0%	0%	28%	72%
Основная операция ГРП 1 (обработка HFPM)	0%	0%	42%	58%

Таблица 3. Результаты мониторинга повторного гидроразрыва пласта после закачивания химического (растворимого) отклонителя

ОПЕРАЦИЯ	Стадии, подвергнутые стимуляции (ГРП)			
	1	2	3	4
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	11%	59%	30%
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	0%	30%	70%
Вязкая пачка 1 (ВП)	0%	0%	28%	72%

Основная операция ГРП 1 (обработка HFPM)	0%	0%	42%	58%
Закачка отклонителя (обработка HFPM)	71%	24%	4%	0%

Затем можно провести закачку второй основной стадии обработки. Результаты представлены ниже в табл. 4. В такой стадии закачивают вязкую пачку. В табл. 5 представлены результаты этой закачки. Однако закачку вязкой пачки можно не проводить из-за применения технологий вязкой пачки и HFPM при стимуляции предыдущей стадии. Результаты, представленные в табл. 5, идентичны результатам, полученным без закачивания второй вязкой пачки. Это позволяет сэкономить время и ресурсы и быстрее начать добычу нефти на конкретной скважине. В этом случае проанализировали две основных стадии обработки. Если проводили более двух последовательных обработок для стимуляции, можно принять во внимание результаты оценки ресурсов и времени.

Эти результаты можно представить, как показано на фиг. 5 и 6. На фиг. 5 и 6 представлены глубина и точка входа жидкости для всех событий. Размер облака определяет неопределенность глубины, более одного облака на событие показывает вероятность стимуляции различных стадий. Как видно из примера на фиг. 5, облака расположены на расчетных глубинах, их размеры указывают неопределенности глубин (на этой фигуре показаны окончательные результаты). Хорошо видно, как изменяется глубина стимуляции на протяжении всей обработки: гидроразрыв пласта типа "дата-фрак", закачивание первой вязкой пачки и основная стадия обработки (операция 1) показывают стимуляцию на стадиях 3 и 4. Анализ отклонителя показал, что, вероятнее всего, стадии 3 и 4 заблокированы, и наблюдается отражение от стадии 1; дополнительные измерения полностью это подтверждают.

Таблица 4. Результаты мониторинга повторного гидроразрыва пласта без второй вязкой пачки

ОПЕРАЦИЯ	Стадии, подвергнутые стимуляции (ГРП)			
	1	2	3	4
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	11%	59%	30%
Вязкая пачка 1 (обработка HFPM)	0%	0%	30%	70%
Вязкая пачка 1 (ВП)	0%	0%	28%	72%
Основная операция ГРП 1 (обработка HFPM)	0%	0%	42%	58%
Закачка отклонителя (обработка HFPM)	71%	24%	4%	0%
Основная операция ГРП 2 (обработка HFPM)	100%	0%	0%	0%

Таблица 5. Результаты мониторинга повторного гидроразрыва пласта со второй вязкой пачкой

ОПЕРАЦИЯ	Стадии, подвергнутые стимуляции (ГРП)			
	1	2	3	4
Дата-фрак1 (обработка HFPM)	0%	11%	59%	30%
Вязкая пачка 1 (обработка HFPM)	0%	0%	30%	70%
Вязкая пачка 1 (ВП)	0%	0%	28%	72%
Основная операция ГРП 1 (обработка HFPM)	0%	0%	42%	58%
Закачка отклонителя (обработка HFPM)	71%	24%	4%	0%
Вязкая пачка 2 (обработка HFPM)	100%	0%	0%	0%
Вязкая пачка 2 (ВП)	100%	0%	0%	0%
Основная операция ГРП 2 (обработка HFPM)	100%	0%	0%	0%

Варианты осуществления настоящего раскрытия обеспечивают способы мониторинга повторного гидроразрыва пласта, которые позволяют определить эффективность повторного гидроразрыва подземного пласта. В частности, было обнаружено, что такие способы позволяют определять глубину принимающей жидкости стадии по реагированию на изменение давления вязкой пачки в комбинации с высокочастотным мониторингом давления. Способ обеспечивает такие функциональные возможности, как калибровка скорости волны давления, нахождение точки входа жидкости, измерение глубин стимулированных стадий и предотвращение чрезмерной стимуляции уже стимулированных стадий. Способ в соответствии с описанием в настоящем документе можно применять для трещин любых

размеров, а также для любого расстояния между трещинами. Кроме того, способ мониторинга эффективности повторного гидроразрыва пласта в соответствии с описанием в настоящем документе может обеспечить калибровку скорости волны давления в процессе обработки.

Хотя выше было подробно описано несколько примеров осуществления, специалисты в данной области легко поймут, что возможны многие модификации примеров осуществления без существенного отклонения от настоящего раскрытия. Соответственно, предполагается, что все такие модификации должны быть включены в объем настоящего раскрытия, как определено в следующей формуле изобретения. В формуле изобретения пункты "средство плюс функция" представляют структуры, которые представлены в настоящем документе как выполняющие описываемую функцию, и не только как структурные эквиваленты, но и как эквивалентные структуры. Следовательно, хотя гвоздь и винт не могут быть структурными эквивалентами, поскольку гвоздь использует цилиндрическую поверхность для скрепления деревянных деталей, тогда как винт использует спиральную поверхность, в среде крепления деревянных деталей гвоздь и винт могут быть эквивалентными структурами.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обработки подземного пласта, через который проходит ствол скважины, причем скважина имеет множество ранее стимулированных интервалов, при этом способ содержит:

a) закачивание в скважину вязкой пачки с регистрацией кривой давления датчиком давления на устье скважины;

b) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL);

c) обеспечение гидроудара на устье скважины, который возбуждает трубные волны;

d) определение глубины (L) точки входа жидкости для обработки и неопределенностей глубины (ΔL) путем обработки гидроудара методом высокочастотного мониторинга давления;

e) определение скорости трубной волны из комбинации данных (b)-(d);

f) выполнение гидроразрыва пласта и

g) генерация гидроудара на устье скважины в конце операции (f) с уточненной глубиной точки входа жидкости для обработки и с меньшей неопределенностью.

2. Способ по п.1, в котором осуществляют множество операций стимулирования.

3. Способ по п.1, в котором проводят гидроразрыв пласта типа дата-фрак перед закачиванием вязкой пачки.

4. Способ по п.1, в котором вязкая пачка входит в состав жидкости, вязкость которой по меньшей мере в 100 раз превышает вязкость скважинного флюида.

5. Способ по п.1, в котором гидроудар обеспечивают путем остановки насосов на поверхности.

6. Способ по п.1, в котором способ высокочастотного мониторинга давления содержит обработку сигнала давления.

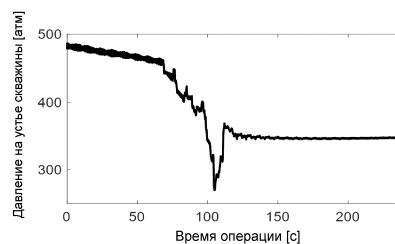
7. Способ по п.6, в котором обработка сигнала давления содержит предварительную фильтрацию сигнала.

8. Способ по п.6, в котором обработка сигнала давления дополнительно содержит обработку с помощью кепстрального анализа.

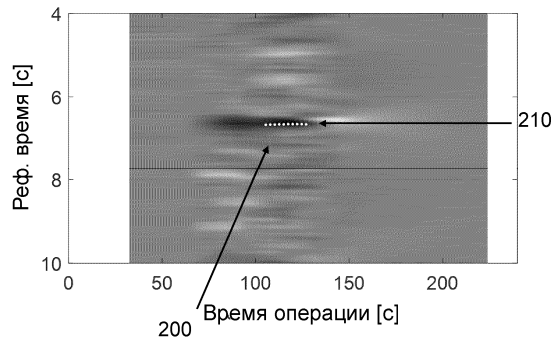
9. Способ по п.1, в котором в ствол скважины дополнительно закачивают отклонитель после (g).

10. Способ по п.1, в котором определение глубины (L) имеет разрешение по меньшей мере 30,48 м (100 футов).

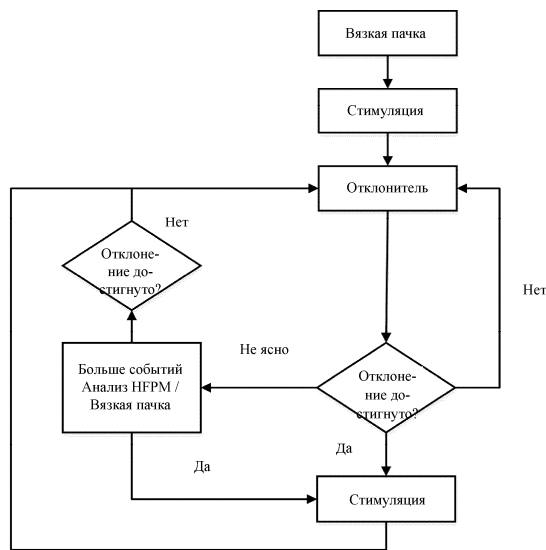
11. Способ по п.1, дополнительно содержащий операцию заканчивания, причем операцию заканчивания выбирают из группы заканчиваний с установкой мостовой пробки в зоне перфорации или заканчиваний с применением скользящих муфт.



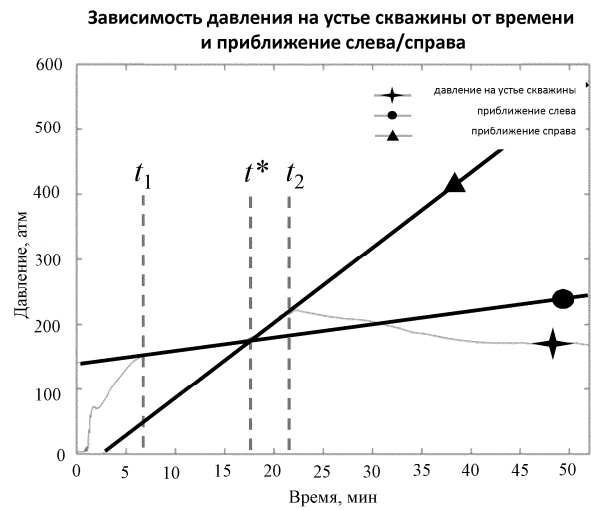
Фиг. 1



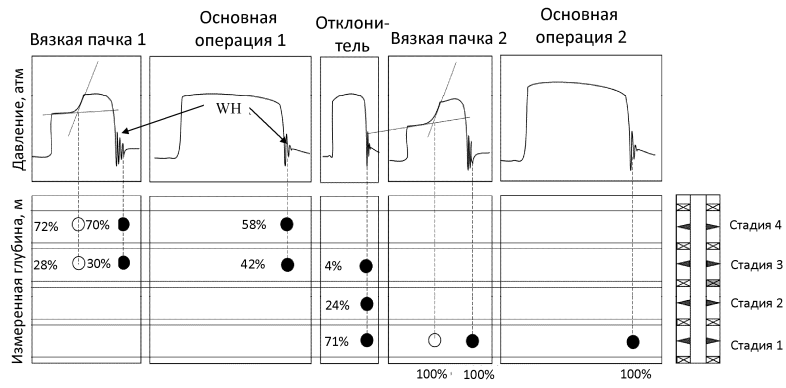
Фиг. 2



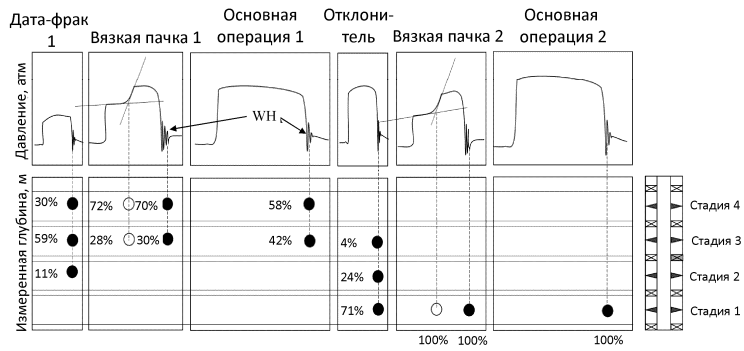
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6