

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040106**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.04.20

(21) Номер заявки
201891985

(22) Дата подачи заявки
2017.03.15

(51) Int. Cl. *E21B 28/00* (2006.01)
E21B 43/00 (2006.01)
E21B 43/26 (2006.01)
E21B 7/24 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ ПЕРФОРИРОВАНИЯ СКВАЖИННОЙ ФОРМАЦИИ**

(31) **20160465**

(32) **2016.03.18**

(33) **NO**

(43) **2019.04.30**

(86) **PCT/NO2017/050064**

(87) **WO 2017/160158 2017.09.21**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
КБЮВЕЙВ АС (NO)

(72) Изобретатель:
Энг Ханс Петтер (NO)

(74) Представитель:
**Липатова И.И., Новоселова С.В.,
Хмара М.В., Пантелеев А.С., Ильмер
Е.Г., Осипов К.В. (RU)**

(56) US-A1-2014305877
US-A1-2015308233
US-A-4345650
US-A1-2013161007

(57) Раскрыто устройство (1) для перфорирования скважинной формации (22), причем указанное устройство (1) содержит генератор (2a, 2b, 2c) электронно-индуцированных акустических ударных волн и элемент (4a, 4b, 4c, 4d) фокусировки акустических ударных волн, причем указанное устройство (1) выполнено с возможностью фокусирования сгенерированных акустических ударных волн (S) на области (F) фокусировки пробуренного канала (44) с целью нарушения целостности скважинной формации (22) в пределах указанной области, причем указанное устройство (1) выполнено с возможностью генерирования множества последовательных сфокусированных акустических ударных волн с целью постепенной экскавации перфорационного канала (40) или для улучшения уже существующего перфорационного канала (40), проходящего от указанного пробуренного канала (44) в указанную формацию (22). Также раскрыт узел (10) инструмента, содержащий одно или несколько устройств (1) согласно настоящему изобретению, а также способ для эксплуатации узла (10) инструмента.

B1

040106

040106

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к устройству для перфорирования скважинной формации. Конкретнее указанное изобретение относится к устройству для перфорирования скважинной формации, причем указанное устройство содержит генератор электрически индуцированных акустических ударных волн и элемент фокусировки акустических ударных волн. Указанное изобретение также относится к узлу инструмента, содержащему одно или несколько таких устройств, а также к способу эксплуатации указанного узла инструмента.

Сведения о предшествующем уровне техники

Жидкостную связь между подземной формацией и стволом скважины часто устанавливают или усиливают за счет перфорационных каналов в формации. Перфорационные каналы делают в месте расположения формации. Они обычно перпендикулярно проходят в формацию. Перфорационные каналы, как правило, формируют фигурными зарядами взрывчатых химических веществ, которые вводят некоторый материал в формацию, образуя указанный канал.

В случае традиционного перфорирования взрывной характер процесса приводит к дроблению частиц песка формации. Вокруг каждого перфорационного канала может образоваться слой "поврежденной ударом области", проницаемость которого ниже проницаемости нетронутого скелета формации. Кроме того, указанный процесс может привести к образованию канала, наполненного обломками пород, смешанных с обломками перфорирующего заряда. Известно, что поврежденная ударом область и сыпучие обломки в перфорационных каналах снижают продуктивность эксплуатируемых скважин или приемистость нагнетательных скважин, тем самым негативно сказываясь на движении потока жидкостей между формацией и скважиной.

Патентный документ US 9057232 раскрывает способы и аппараты для усиления нефтеотдачи в нефтяных скважинах за счет использования ударных волн с целью стимуляции нефтеносной формации. Такая стимуляция, помимо всего прочего, осуществляется за счет образования произвольных трещин в формации вблизи ранее образованными перфорационными каналами. В патентном документе US 9057232 такая технология описана используемой в подготовке операций по гидравлическому разрыву, а также непосредственно во время операций по гидравлическому разрыву.

Сущность изобретения

Целью настоящего изобретения является устранение или сокращение по меньшей мере одного из недостатков уровня техники или, по меньшей мере, предложение эффективной альтернативы уровню техники.

Указанная цель достигается за счет признаков, раскрытых ниже в описании и в формуле, представленной после описания.

Настоящее изобретение определено в независимых пунктах формулы. Зависимые пункты формулы определяют предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения.

Поле ударной волны представляет собой пространственное и временное распределение акустической энергии в трех размерном пространстве и времени. Оно характеризуется основными параметрами, такими как максимальное давление и характер изменения давления во времени на разных участках пространства внутри указанного поля. Направленный вперед момент ударных волн в направлении его распространения и его концентрация во времени являются двумя главными факторами, определяющими эффект ударной волны. Другим важным фактором является свойство фокусировки поля давления в пространстве, т.е. его концентрация в пространстве, за счет сохранения и фокусирования энергии в ограниченной области в отличие от более радиального или сферического распространения поля давления. Динамический эффект по большей части проявляется на границах с изменением акустического сопротивления, например, в случае когда ударная волна, распространяющаяся в жидкости, воздействует на подземную формацию. Также с учетом того, что ударная волна распространяется в жидкости, при том что в то же время она ограничена материалом, имеющим другое акустическое сопротивление, чем жидкость, таким как подземная формация, окружающая перфорационный канал, ударная волна будет сохранять значительное количество своей энергии на большом расстоянии; энергия будет высвобождена только на границе с изменением акустического сопротивления в направлении распространения ударной волны; такой границей может быть конец перфорационного канала; далее это обозначается как "эффект гидроудара".

В настоящей заявке термин "сфокусированный" будет использоваться как для описания акустических ударных волн, направленных в определенном направлении, с поперечным сечением в виде окружности, перпендикулярным направлению распространения, таких как коллимированные волны с определенной областью фокусировки, так и для ударных волн, сконцентрированных/сходящихся в фокальной точке или области фокусировки, при проекции на целевой объект, к примеру внутреннюю стенку пробуренного канала.

Направленные ударные волны будут включать управляемые, несферичные, пространственные, направленные вперед проекции ударных волн. Это обычно относится к случаям, когда генератор акустических ударных волн расположен и активируется изнутри параболического отражателя, когда активируется плоский генератор акустических ударных волн, представляющий собой отдельно стоящий элемент, или

когда активируется плоский генератор акустических ударных волн в сочетании с акустическим рупором.

Сконцентрированные ударные волны включают ударные волны, сгенерированные генераторами ударных волн, расположенными внутри или на концентрирующих отражателях, таких как отражатели эллиптической или сферической формы, или за концентрирующей акустической линзой(ами).

Различные элементы фокусировки для фокусирования сгенерированных акустических ударных волн будут описаны далее. Элементы фокусировки включают отражатели параболической, эллиптической, плоской или другой похожей конфигурации формы, а также различные типы концентрирующих и/или коллимирующих акустических линз.

Следует отметить, что для получения необходимого фокуса акустической ударной волны могут использоваться комбинации различных элементов фокусировки, как направленных, так и концентрированных.

Целью настоящего изобретения является использование энергии, выработанной серией электронно-индуцированных сфокусированных акустических ударных волн для создания новых перфораций или улучшения (например, за счет расширения или удлинения) существующих перфораций в подземной формации за счет постепенного разрушения/нарушения целостности формации за счет расщепления частиц, разрыхления отдельных частиц или кластера частиц, разрушая связи, которые присутствуют между частицами в естественном состоянии, причем разрушение происходит при каждом воздействии ударной волны на формацию. Это достигается за счет гарантирования и контроля над тем, чтобы акустическая ударная волна в пределах области фокусировки имела достаточно высокую плотность энергии для нарушения целостности формации, так что было бы возможным образование перфорационного канала серией последовательных сфокусированных акустических ударных волн.

В то время как максимальное давление в области фокусировки обычно находится в диапазоне от нескольких десятков до нескольких тысяч бар, когда оно вырабатывается технологией генератора акустической ударной волны, максимальное давление, вырабатываемое фигурным зарядом взрывчатых веществ, обычно находится в диапазоне нескольких сотен тысяч бар. Поэтому использование сфокусированных акустических ударных волн вызовет гораздо меньшее повреждение формации по сравнению с использованием фигурных зарядов взрывчатых веществ, при этом вырабатываемая энергия будет достаточной для последовательной и плавной экскавации новых перфорационных каналов или улучшения существующих перфорационных каналов. Экскавация при относительно низком уровне энергии подразумевает, что пропускная способность, свойственная нетронутой формации, не будет нарушена. Кроме того, поддержание условия недостаточной компенсации в стволе скважины во время всех или части операций по перфорированию и/или создание перфорационных каналов с наклоном вверх может гарантировать очистку перфорационных каналов от обломков, что имеет положительное следствие - за счет этого обломки не будут мешать распространению последующих ударных волн в перфорационном канале, в результате чего экскавация перфорационного канала будет более эффективной.

Согласно первому аспекту настоящее изобретение относится к устройству для перфорирования скважинной формации, указанное устройство содержит

генератор электронно-индуцированных акустических ударных волн; и

элемент фокусировки акустических ударных волн,

причем указанное устройство выполнено с возможностью фокусирования сгенерированных акустических ударных волн на некоторой области пробуренного канала с целью нарушения целостности скважинной формации в указанной области,

причем указанное устройство также выполнено с возможностью генерирования серии сфокусированных акустических ударных волн с целью постепенной экскавации перфорационного канала, проходящего от указанного пробуренного канала в указанную формацию.

Для детального описания того, как могут генерироваться электронно-индуцированные акустические ударные волны, следует обращаться к патентному документу СА 2889226.

Устройство согласно настоящему изобретению выполнено с возможностью генерирования серии сфокусированных акустических ударных волн, которые будут проходить по жидкости в скважине, в направлении формации и высвободить энергию в месте контакта с формацией, тем самым нарушая целостность указанной формации. За счет повторения этого процесса снова и снова постепенно будет осуществляться экскавация перфорационного канала от указанного пробуренного канала в находящуюся в непосредственной близости формацию.

В настоящей заявке упоминаемые генераторы акустических ударных волн следует понимать, как относящиеся к генераторам электронно-индуцированных акустических ударных волн. Примерами таких генераторов акустических ударных волн являются электрогидравлические, пьезоэлектрические или электромагнитные генераторы, все из которых выполнены с возможностью генерирования акустических ударных волн за счет генерирования коротких электрических импульсов. Генераторы электронно-индуцированных акустических ударных волн имеют преимущество перед фигурными зарядами химические взрывчатых веществ в том, что они обладают повторяемостью, они легче контролируются, а также им свойственна меньшая выработка энергии для более плавного взаимодействия с формацией, как упоминалось выше.

Плотность энергии, необходимая для нарушения целостности формации, будет значительно варьироваться между разными типами формаций и поэтому от генератора акустических ударных волн будет требоваться разная выработка энергии. В случае нормальной операции перфорирования, как в случае настоящего изобретения, могут быть сгенерированы и сфокусированы на формации сотни и даже тысячи последовательных акустических ударных волн с целью постепенной экскавации запланированного перфорационного канала.

В одном варианте осуществления указанный элемент фокусировки акустических ударных волн может быть выполнен с возможностью фокусирования акустических ударных волн в виде несферичной, пространственной, направленной вперед проекции. Этого можно добиться за счет размещения генератора ударных волн в или на коллимирующий отражатель, такой как параболический или плоский отражатель, или цилиндрическая трубка с одним открытым концом, или этого можно добиться за счет использования коллимирующей акустической линзы или акустического рупора.

В дополнение к этому или в качестве альтернативы элемент(ы) фокусировки акустических ударных волн могут(могут) быть выполнен(ы) с возможностью концентрирования сгенерированных акустических ударных волн на некоторой фокальной точке или области фокусировки. Этого можно добиться за счет использования концентрирующего акустического отражателя или линзы.

Примерами концентрирующих акустических отражателей являются отражатели, имеющие эллиптическую или сферическую форму. В альтернативном варианте акустические ударные волны могут быть сконцентрированы с помощью акустической концентрирующей линзы.

В одном из вариантов осуществления указанное устройство может по меньшей мере частично быть покрыто гибкой мембраной. Мембрана может оказаться особенно полезна в том случае, когда генератор акустических ударных волн представляет собой генератор электрогидравлического типа, так как мембрана может способствовать ограждению генератора ударных волн, обычно за счет покрытия отверстия в отражателе, в котором размещают генератор ударных волн, для того чтобы поддерживать жидкую среду для электрогидравлического генератора под контролем. Это имеет положительное следствие, заключающееся в том, что это делает возможным контроль и воспроизводимость энергетических характеристик генератора акустических ударных волн. Гибкость мембраны может гарантировать плавный переход акустической энергии через мембрану без существенной абсорбции в ней энергии.

Также следует отметить, что устройство согласно настоящему изобретению может включать множество генераторов акустических ударных волн, работающих параллельно или последовательно. В одном варианте осуществления множество пьезоэлектрических или электромагнитных генераторов акустических ударных волн может быть размещено на отражателе по существу сферичной формы, при этом в другом варианте осуществления множество пьезоэлектрических или электромагнитных генераторов акустических ударных волн может быть размещено в несколько уровней.

Во втором аспекте настоящее изобретение относится к узлу инструмента, содержащему устройство согласно первому аспекту изобретения, причем указанный узел инструмента выполнен с возможностью соединения со транспортирующим средством ствола скважины. Транспортирующее средство может быть кабелем, или одножильным проводом, или колонной, несущей жидкость, включая шлангокабель, электрический шлангокабель и различные типы рабочих и буровых колонн. Транспортирующее средство может быть выполнено с возможностью переноса энергии и сигнальной коммуникации от поверхности и в направлении узла инструмента. Предпочтительно, чтобы сигнальная коммуникация могла быть двунаправленной. Перенос энергии может быть в форме электрической энергии для приведения в действие устройства согласно настоящему изобретению и/или может быть в виде электрической и/или гидравлической энергии для приведения в действие других частей узла инструмента, упоминаемых ниже. Она также может быть в виде энергии лазерного излучения, передаваемой с поверхности. Также следует отметить, что узел инструмента может нести свой собственный генератор энергии в качестве дополнительного или альтернативного к источнику с поверхности. Скважинные генераторы энергии могут быть в виде батарей и/или скважинных моторов, таких как скважинные моторы бурового раствора. Сама транспортировка может быть активизирована с поверхности, задавая движение транспортирующему средству, и/или с помощью проводного тянущего устройства.

В одном варианте осуществления узел инструмента может содержать элемент перфорирования обсадной трубы. Следует отметить, что термин "обсадная труба", используемый здесь, также подразумевает хвостовик (англ. "liner"). Элемент перфорирования обсадной трубы может быть высокомоощным лазером, получающим энергию с поверхности или со скважины. В качестве альтернативы элемент перфорирования обсадной трубы может быть механическим инструментом или устройством с водяной струей. Он может оказаться полезным в случае, когда необходимо сделать перфорационный канал через неперфорированную обсадную трубу. Устройство согласно настоящему изобретению может считаться устройством относительно низкой мощности для постепенной экскавации перфорационного канала в формации по причинам, описанным выше. Обеспечение узла инструмента элементом перфорирования обсадной трубы для создания перфорационного отверстия через саму обсадную трубу может оказаться полезным, так как сфокусированные акустические волны могут быть для этого неподходящими. Примеры инструментов лазерной резки/перфорирования представлены в патентных документах US 2013228372 и

US 2006231257, к которым можно обратиться для детального описания инструментов лазерной резки/перфорирования. В другом варианте осуществления элемент перфорирования обсадной трубы может представлять собой перфорирующий пистолет, использующий взрывчатые вещества для создания отверстий в обсадной трубе. При этом в другом варианте осуществления элемент перфорирования обсадной трубы может быть установкой для плазменной резки. Установка для плазменной резки может оказаться особенно выигрышным вариантом, так как она может задействовать/совместно использовать компоненты, расположенные внутри установки акустических ударных волн, которая предусмотрена для обеспечения энергией/контролирования/эксплуатации устройства согласно первому аспекту настоящего изобретения.

В дополнение к этому или в качестве альтернативы узел инструмента может быть снабжен элементом локализации перфорационных отверстий. Он может оказаться особенно полезным в случае, когда необходимо расположить и выровнять элемент фокусировки акустических ударных волн относительно уже созданного перфорационного отверстия в обсадной трубе. Перфорационные отверстия могут быть созданы во время того же спуска в скважину, во время предыдущего спуска в скважину или обсадная труба может быть заранее перфорирована на поверхности до установки в скважину. Активация заранее созданных перфорационных отверстий может быть осуществлена с помощью скользящих или поворотных рукавов. Сплошной перфорационный канал может быть сделан, используя сфокусированные акустические ударные волны, сначала производя экскавацию через слой цемента в затрубном пространстве с внешней стороны обсадной трубы, а затем в находящейся в непосредственной близости формации. Этот элемент может оказаться полезным для локализации перфорационных отверстий в уже созданных перфорационных каналах в ситуации, когда необходимо улучшить перфорационный канал, к примеру, за счет удаления отложений, и/или поправки поврежденных зон, и/или расширения/удлинения уже созданных перфорационных каналов. Элемент локализации перфорационных отверстий может быть выполнен в виде механического толщиномера или может использовать радар, электромагниты или различные звуковые или ультразвуковые технологии локализации, как будет понятно специалисту в данной области техники.

В одном варианте осуществления узел инструмента может быть выполнен с возможностью создания условий локальной недостаточной компенсации давления в скважине вблизи формации, которую перфорируют с помощью узла инструмента согласно настоящему изобретению. Этого можно добиться за счет расширения пары пакеров, разнесенных на некоторое расстояние по ос, по обе стороны узла инструмента, так чтобы изолировать область ствола скважины, в котором размещают узел инструмента. Преимуществом такого решения является то, что упрощается процедура очистки перфорационных каналов, экскавацию которых произвели, от обломков, так как обломки могут быть перемещены в скважину с потоком жидкости, сгенерированным разницей давления между формацией и изолированной областью ствола скважины. Альтернативные способы, необязательно использующие как таковой указанный узел инструмента, предназначенные для поддержания давления скважины ниже давления формации, описаны ниже.

В одном варианте осуществления узел инструмента может содержать элемент отображения формации. Он может оказаться особенно полезным для наблюдения за процессом и качеством постепенной экскавации перфорационного канала. Устройство отображения формации может предоставить информацию о длине/или качестве перфорационного канала и может использоваться как индикатор того, когда операцию по перфорированию можно считать законченной. Устройство отображения может быть радаром, ультразвуковым датчиком, лазером, функционирующим в режиме низкой мощности и т.д.

Следует также отметить, что узел инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения может также содержать несколько различных элементов инструмента, необязательно здесь упомянутых, но некоторые из которых будут упомянуты далее: направляющий узел, кабельная головка, локатор муфтовых соединений обсадной колонны, вертлюг, различные каротажные инструменты (англ. "LWD/MWD tools"), тестер формации на кабеле, такой как модульный динамический тестер формации, секция вертикальной привязки, секция нарезки обсадной трубы, скважинный трактор, пакер или пакеры, а также средства для заякорения узла инструмента в скважине, которые могут оказаться полезны для удержания инструмента в по существу фиксированной позиции во время осуществления постепенной экскавации перфорационных каналов в формации.

Следует отметить, что узел инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения может содержать множество устройств согласно первому аспекту настоящего изобретения, которые могут быть выполнены с возможностью одновременной и постепенной экскавации множества перфорационных каналов от пробуренного канала в находящуюся в непосредственной близости формацию. Множество устройств согласно первому аспекту настоящего изобретения в виде узла инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения в собранном состоянии может состоять из одинаковых устройств или устройств, представляющих собой различные варианты осуществления. В одном варианте указанное множество устройств согласно первому аспекту настоящего изобретения может быть распределено по оси и по окружности вдоль и вокруг указанного узла инструмента соответственно согласно некоторому заданному рисунку, причем этот заданный рисунок совпадает с распределением перфораци-

онных прорезей в обсадной трубе. Подразумевается, что этого будет достаточно для локализации одной из перфорационных прорезей или некоторого разметочного элемента в обсадной трубе и для выравнивания одного из элементов фокусировки акустических ударных волн с указанной перфорационной прорезью, так что все другие элементы фокусировки акустических ударных волн будут автоматически выравниваться с оставшимися перфорационными прорезями в обсадной трубе.

В одном варианте осуществления узел инструмента может быть по меньшей мере частично покрыт гибкой мембраной. Так, гибкая мембрана по меньшей мере частично покрывает множество устройств согласно первому аспекту настоящего изобретения.

В третьем аспекте настоящее изобретение относится к способу эксплуатации узла инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения и указанный способ содержит этапы, на которых

(А) спускают указанный узел инструмента в скважину на транспортирующих средствах узла инструмента и располагают указанный узел инструмента так, чтобы он находился вблизи формации в указанной скважине;

(Б) активируют указанный генератор акустических ударных волн;

(В) фокусируют сгенерированную акустическую ударную волну на области фокусировки на пробуренном канале для нарушения целостности формации в пределах указанной области; и

(Г) производят постепенную экскавацию перфорационного канала в указанной формации с помощью множества последовательных сфокусированных акустических ударных волн.

В одном варианте осуществления указанный способ до этапов (Б)-(Г) дополнительно включает этап, на котором (А1) создают перфорационные отверстия в обсадной трубе скважины с помощью элемента перфорирования обсадной трубы. Этот этап может быть полезен в случае, если обсадная труба не перфорирована заранее.

В дополнение или в качестве альтернативы указанный способ до этапов (Б)-(Г) может дополнительно включать этап, на котором (А2) локализуют одно или несколько уже существующих перфорационных отверстий в обсадной трубе с помощью элемента локализации перфорационных отверстий. Это могут быть перфорационные отверстия, недавно созданные с помощью элемента перфорирования обсадной трубы, как описано выше, или эти перфорационные отверстия могут быть созданы во время более раннего спуска в скважину. После того как одно или несколько перфорационных отверстий локализованы, узел инструмента скважины может быть размещен так, что одно или несколько устройств согласно первому аспекту настоящего изобретения будут выровнены с перфорационными отверстиями.

В одном варианте осуществления этап (Г) может дополнительно включать подэтап, на котором (Г1) производят экскавацию перфорационного канала с осевым направлением, имеющим вертикальную составляющую, направленную вверх, в направлении от пробуренного канала в формацию. Это может оказаться особенно полезным для очищения перфорационного канала, экскавацию которого осуществили, так как силы гравитации могут способствовать извлечению обломков из него в ствол скважины.

Указанный способ может дополнительно включать этап, на котором (Д) поддерживают давление в стволе скважины ниже, чем давление формации, по меньшей мере, в области вокруг указанного узла инструмента во время эксплуатации. В результате может возникнуть сила всасывания, которая будет способствовать извлечению обломков из перфорационных каналов в скважину, что является положительным моментом, так как эти обломки не будут мешать распространению последующих акустических ударных волн в перфорационном канале, делая экскавацию перфорационных каналов более эффективной. Пониженное давление в скважине может быть также достигнуто за счет манипуляций над условиями скважины, что подразумевает создание условия недостаточной компенсации в стволе скважины, при котором давление формации выше давления в стволе скважины, например снижения давления в устье скважины, для того чтобы скважина была способна сама выносить продукт на поверхность, или в случае более плотной формации или формации с недостаточным давлением - с помощью искусственных способов подъема, таких как скважинный газлифт, или электрический погружной насос, или поддонный бустер, или штанговый насос, или похожие средства. Также в ствол скважины может быть закачена более легкая жидкость, создающая более низкое давление в стволе скважины. В другом варианте осуществления может быть создано переходное условие недостаточной компенсации в изолированной области ствола скважины, которая может быть изолирована одним или несколькими пакерами, которые могут являться частями узла инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения. Создание переходного условия недостаточной компенсации может быть достигнуто несколькими способами, например, за счет использования камеры низкого давления, которую открывают для создания условия недостаточной компенсации.

В одном варианте осуществления способ согласно третьему аспекту настоящего изобретения может также включать (совместно с или как предварительный этап) спуск тестера формации на кабеле, такого как устройство модульного динамического тестера формации или похожего устройства, в ствол скважины, с целью улучшения связи между пробой(ами) тестера формации на кабеле и пробуренным каналом, а также коммуникации между пробуренным каналом и более нетронутой формацией для улучшения качества измерений/пробирования.

Следует понимать, что под "пробуренным каналом" также понимается любая глинистая корка бу-

рового раствора, которая присутствует с разной степенью толщины и плотности на внутренней поверхности ствола скважины. Специалист в данной области техники поймет, что глинистая корка бурового раствора обычно образуется как остаточный материал во время операций бурения, когда буровой раствор, такой как буровая жидкость, подается на проницаемую среду под давлением. Глинистая корка бурового раствора обычно менее плотная, поэтому ее целостность легче нарушить сфокусированными акустическими ударными волнами, чем целостность формации.

В дополнение к вышесказанному, под "пробуренным каналом" также понимается цемент, присутствующий в стволе скважины. Если в стволе скважины присутствует цемент, обычно с внешней стороны обсадной трубы, вблизи формации, экскавацию канала нужно будет сначала произвести через этот цемент, до того как будет достигнута сама формация.

Перечень чертежей

Далее описан пример предпочтительного варианта осуществления, изображенный на сопроводительных чертежах.

Фиг. 1 изображает изменение давления акустической ударной волны во времени;

фиг. 2 изображает распределение давления в пространстве в области фокусировки направленного поля акустической ударной волны;

фиг. 3 изображает распределение давления в пространстве в области фокусировки сконцентрированного поля акустической ударной волны;

фиг. 4 изображает в поперечном сечении первый вариант осуществления устройства согласно первому аспекту изобретения;

фиг. 5 изображает в поперечном сечении второй вариант осуществления устройства согласно первому аспекту изобретения;

фиг. 6 изображает в поперечном сечении третий вариант осуществления устройства согласно первому аспекту изобретения;

фиг. 7 изображает в поперечном сечении четвертый вариант осуществления устройства согласно первому аспекту изобретения;

фиг. 8 изображает в поперечном сечении пятый вариант осуществления устройства согласно первому аспекту изобретения; и

фиг. 9 изображает узел инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Далее номерная позиция 1 будет обозначать устройство согласно первому аспекту настоящего изобретения, а номерная позиция 10 будет обозначать узел инструмента согласно второму аспекту изобретения, причем узел 10 инструмента содержит одно или несколько устройств 1 согласно первому аспекту изобретения. Чертежи выполнены схематично и упрощенно, а различные элементы на чертежах не обязательно показаны в масштабе.

Поле ударной волны представляет собой пространственное и временное распределение акустической энергии в трехмерном пространстве. На фиг. 1 показан пример изменения давления типичной акустической ударной волны во времени. Воздействие, которое такая акустическая ударная волна окажет на скважинную формацию, зависит как от энергии, содержащейся в этих акустических ударных волнах, так и от ее ограничения в пространстве и времени. Действительная плотность энергии, необходимая для нарушения целостности формации, будет существенно варьироваться между разными типами скважинных формаций.

На фиг. 2 представлено распределение давления у области фокусировки по существу идеальной направленной/коллимированной акустической ударной волны. Давление в пределах области F фокусировки по существу однородно в направлении нормали к направлению распространения акустической волны. При использовании устройства 1 согласно первому аспекту изобретения плотность энергии в области фокусировки будет оптимизирована, чтобы быть достаточной для нарушения целостности области формации, на которую направлена акустическая ударная волна. Таким образом, за счет генерирования серии последовательных сфокусированных акустических ударных волн станет возможной постепенная экскавация перфорационного канала в формации. Устройства 1, изображенные на фиг. 4 и 8, описанные ниже, выполнены с возможностью генерирования распределения давления, похожего на то, что показано на фиг. 2.

На фиг. 3, наоборот, показано распределение давления, соответствующее сконцентрированной акустической ударной волне с областью F фокусировки и фокальной точкой P+ на ее вершине. Такое распределение давления можно получить с помощью устройств, изображенных на фиг. 5-7, описанных ниже. Область F фокусировки по-прежнему обозначает область, расположенную по нормали к направлению распространения, в которой ударная волна имеет достаточную плотность энергии для нарушения целостности формации.

На фиг. 4 изображен первый вариант осуществления устройства 1 согласно первому аспекту настоящего изобретения. Генератор акустических ударных волн, показанный здесь в виде электрогидравлического генератора 2a, помещен внутри элемента 4a фокусировки акустических ударных волн в виде отражателя, имеющего параболическую форму. Параболический отражатель 4a распространяет акусти-

ческие ударные волны S от электрогидравлического генератора 2a и фокусирует акустические ударные волны S в виде коллимированной, пространственной, направленной вперед проекции на область F фокусировки на пробуренном канале 44 ствола скважины. Фронт акустической волны включает комбинацию направленной, сфокусированной, части волн и более слабой, несфокусированной/расходящейся, части волн. Гибкая мембрана 5 закрывает отверстие параболического отражателя 4a, для того чтобы поддерживать электрогидравлический генератор 2a в контролируемой, наполненной жидкостью среде, для того чтобы гарантировать контроль и воспроизводимость энергетических характеристик электрогидравлического генератора 2a. Гибкость мембраны 5 может гарантировать плавный переход акустической энергии через мембрану 5 без существенной абсорбции в ней энергии.

На фиг. 5 изображен второй вариант осуществления устройства 1 согласно первому аспекту настоящего изобретения. Генератор акустических ударных волн, показанный здесь в виде электрогидравлического генератора 2a, помещен внутри элемента 4b фокусировки акустических ударных волн в виде отражателя эллиптической формы, который скорее концентрирует, чем коллимирует сгенерированные акустические ударные волны S на область F фокусировки пробуренного канала 44 в стволе скважины. Главная часть фронта волны сходится в направлении области F фокусировки, в то время как более слабая часть фронта волны расходится. Отверстие в отражателе 4b эллиптической формы покрыто гибкой мембраной 5 по тем же причинам, что описаны выше.

На фиг. 6 показан третий вариант осуществления устройства 1 согласно первому аспекту настоящего изобретения. На указанном чертеже генератор акустических ударных волн, показанный здесь в виде цилиндрического электромагнитного генератора 2b, помещен внутри элемента 4c фокусировки акустических ударных волн в виде отражателя параболической формы. Сгенерированные акустические ударные волны S фокусируются на области F на пробуренном канале 44 в сходящемся фронте волны. В альтернативном варианте осуществления электромагнитный генератор 2b может быть также выполнен в виде пьезоэлектрического генератора.

На фиг. 7 изображен четвертый вариант осуществления устройства 1 согласно первому аспекту изобретения. Генератор акустических ударных волн, показанный здесь в виде по существу круглого, плоского пьезоэлектрического генератора 2c, изображен генерирующим акустические ударные волны S, которые распространяются в направлении элемента фокусировки акустических ударных волн в виде концентрирующей акустической линзы 4d, которая концентрирует и проектирует акустические ударные волны S на область F проекции на пробуренном канале 44 ствола скважины в сходящемся фронте волны. В альтернативном варианте показанный круглый плоский генератор может быть электромагнитным. В другом варианте осуществления множество круглых и плоских пьезоэлектрических или электромагнитных генераторов может быть расположено в несколько уровней.

На фиг. 8 изображен пятый вариант осуществления устройства 1 согласно первому аспекту настоящего изобретения. Генератор акустических ударных волн, показанный здесь в виде по существу круглого плоского пьезоэлектрического генератора 2c, изображен генерирующим акустические ударные волны S, которые распространяются в направлении элемента фокусировки акустических ударных волн в виде акустического рупора 4e, в результате чего образуется коллимированный фронт волны на области F фокусировки на пробуренном канале 44. Акустический рупор 4e, который также называют ультразвуковой рупор, обычно делают из листа металла, такого как титан, и фиксируют с помощью клея, сварки, болтов и т.д., к генератору 2c. В альтернативном варианте осуществления изображенный круглый плоский генератор может быть электромагнитным. В другом варианте осуществления множество круглых и плоских пьезоэлектрических или электромагнитных генераторов может быть расположено в несколько уровней.

На фиг. 9 показан узел 10 инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения, содержащий множество устройств 1 акустических ударных волн согласно первому аспекту настоящего изобретения. Узел инструмента переносят в скважину 12 на транспортирующих средствах ствола скважины в виде кабеля 14. Скважина 12 завершается устьем 16 скважины на поверхности. Под устьем 16 скважины внешняя обсадная труба 18 проходит вглубь скважины 12, внешняя обсадная труба 18 образует радиальное ограничение части ствола 20 скважины 12 от скважинной формации 22. В затрубном пространстве между внешней обсадной трубой 18 и формацией 22 помещают слой цемента 24, для того чтобы закрепить внешнюю обсадную трубу на месте и предотвратить нежелательные протечки из формации 22 в затрубное пространство между внешней обсадной трубой 18 и формацией 22. Труба 26 с открытым дном, более короткая, чем внешняя обсадная труба 18 и имеющая меньший диаметр по сравнению с внешней обсадной трубой 18, показана проходящей от устья 16 скважины вниз, вглубь ствола 20 скважины и по сути проходящей коаксиально внутри внешней обсадной трубы 18. Ниже внешней обсадной трубы 18 ствол 20 скважины проходит дальше в формацию в виде секции 21, имеющей конфигурацию открытого канала. В показанном варианте осуществления верхняя часть формации 22 имеет область перекрывающих пород 28, в то время как нижняя часть формации содержит проницаемые зоны 30, 32, 34. В показанном варианте осуществления перфорации 36 уже были сделаны в формации 22 в верхней проницаемой зоне 30. Перфорации 36 включают перфорационные отверстия 38, сделанные во внешней обсадной трубе 18, и сплошные перфорационные каналы 40, проходящие от перфорационных отверстий 38 через цемент 24 в верхнюю проницаемую зону 30. Средняя проницаемая зона 32 располагается ниже верхней проницаемой

зоны 30, с внешней стороны нижней части внешней обсадной трубы 18, а нижняя проницаемая зона находится вблизи ствола скважины в секции 21 в виде открытого канала. Средняя непроницаемая зона 31 отделяет верхнюю проницаемую зону 30 и среднюю проницаемую зону 32, в то время как нижняя непроницаемая зона 33 отделяет среднюю проницаемую зону 32 от нижней проницаемой зоны 34. Перфорации 36 были сделаны непоказанными фигурными зарядами взрывчатых веществ. Узел 10 инструмента соединен с кабелем 14 в головке 42 кабеля узла 10 инструмента. Кабель 14 выполнен с возможностью передачи электричества низкой/высокой мощности и/или энергии лазерного излучения от непоказанного здесь электрогенератора и/или лазерного генератора на поверхности к инструменту 35 лазерной резки. В показанном варианте осуществления узел инструмента также содержит элементы 37 отображения формации, в частности, полезные для мониторинга процесса экскавации и качества экскавации перфораций 36. Элемент 37 отображения формации может быть любого типа из описанных выше. Кроме того, узел инструмента содержит пару надувных пакеров 39, выполненных с возможностью создания изоляции части ствола 20 скважины при необходимости. Надувные пакеры могут, например, использоваться для создания условий недостаточной компенсации в стволе 20 скважины в части формации 22, в которой производится перфорация. Узел 10 инструмента также содержит элемент 41 локализации перфорационных отверстий, который может быть любого из описанных выше типов. Узел 10 инструмента в показанном варианте осуществления выполнен с возможностью преобразования, хранения/накопления и выделения энергии, полученной с поверхности, с помощью установки 43 акустических ударных волн. Установка 43 акустических ударных волн обычно включает трансформатор, конденсаторы или другие аккумуляторы и разрядное устройство для снабжения энергией множества устройств 1 акустических ударных волн согласно первому аспекту настоящего изобретения при такой необходимости. Активация может быть спровоцирована автоматически или начата командой с поверхности. Следует отметить, что различные характерные элементы узла 10 инструмента могут быть представлены в различной конфигурации и порядке, при этом узел 10 инструмента согласно второму аспекту настоящего изобретения в широком понимании определен в формуле.

Ниже будут кратко описаны различные возможные способы эксплуатации, которые в том числе уже упоминались ранее. В первом режиме эксплуатации узел 10 инструмента может быть спущен в нижнюю проницаемую зону 34 в секции 21 в виде открытого канала ствола 20 скважины. После размещения узла инструмента так, чтобы он находился вблизи нижней проницаемой зоны 34, множество устройств 1 акустических ударных волн согласно первому аспекту настоящего изобретения может быть активировано для фокусирования множества акустических ударных волн на пробуренном канале 44 ствола 20 скважины без обсадных труб. Часть узла 10 инструмента, содержащая множество устройств 1 акустических ударных волн согласно первому аспекту настоящего изобретения, покрыта гибкой мембраной 5'. Сфокусированные акустические ударные волны могут быть в виде сконцентрированных или направленных волн, как было описано выше. В целом идея состоит в том, чтобы сфокусированная проекция F, как та, что показана на фиг. 4-8, акустических ударных волн на пробуренном канале 44 имела достаточно высокую плотность акустической энергии для нарушения целостности формации 22 в пределах области фокусировки. При повторении процесса генерирования достаточное количество раз в пробуренном канале 44 образуются перфорационные вырезы, которые будут удлиняться в виде непоказанных здесь перфорационных каналов в нижней проницаемой зоне 34 за счет ее постепенной экскавации. При использовании серии сконцентрированных акустических ударных волн область фокусировки обычно будет оставаться на перфорационном отверстии, там где был перфорирован пробуренный канал 44, как и при экскавации перфорационного канала впоследствии за счет эффекта "гидроудара", как было описано выше. Если используется направленная акустическая ударная волна, фокус будет оставаться направленным в осевом направлении перфорационного канала, экскавация которого постепенно осуществляется. Как было описано выше, перфорационный канал может быть сделан с вертикальной составляющей вдоль своего осевого направления обычно за счет осуществления небольшого спуска узла инструмента, после того как вначале была осуществлена экскавация неглубоких вырезов в пробуренном канале 44, следуя этапам, описанным выше. Затем, направляя немного наверх, автоматически или под контролем с поверхности устройства 1 акустических ударных волн с элементами фокусировки акустических ударных волн за счет непоказанных здесь механических средств, индивидуальным образом соединенных с каждым устройством, выравнивают области фокусировки устройств в пределах только что сгенерированных неглубоких перфорационных вырезов, заново активируют устройства 1 акустических ударных волн для осуществления постепенной экскавации непоказанных здесь перфорационных каналов в нижней проницаемой зоне 34 теперь с вертикальной составляющей вдоль их осевого направления, упрощая тем самым удаление обломков из перфорационного канала в ствол 20 скважины. За счет генерирования акустических ударных волн, в результате которого плотности энергии немного выше плотностей, необходимых для ухудшения свойств формации, перфорирование может быть осуществлено, не нарушая ни проницаемости нетронутых состояний нижней проницаемой зоны 34, ни других частей ствола 20 скважины, тем самым увеличивая общую продуктивность/приемистость скважины 12. В одном варианте осуществления в комбинации с этапами в описанном первом режиме эксплуатации или в качестве предварительного этапа может использоваться этап, на котором может быть осуществлен этап спуска непоказанного здесь тестера

скважинной формации на кабеле, такого как инструмент модульного динамического тестера формации или похожее устройство, для улучшения связи между пробой(ами) тестера формации на кабеле и пробуренного канала 44, а также коммуникации пробуренного канала 44 с более нетронутой (непоказанной здесь менее загрязненной буровым раствором) формации для улучшения качества измерений/пробирования.

Во втором режиме эксплуатации узел 10 инструмента может быть спущен вниз в среднюю проницаемую зону 32. Средняя проницаемая зона 32 ограничена от ствола 22 скважины внешней обсадной трубой 18 и цементом 24, как было описано выше. В показанном варианте осуществления устройства 1 акустических ударных волн 1 не адаптированы для выполнения перфорационных отверстий через обсадную трубу 18. Вместо этого в узле инструмента имеется высокомоощный инструмент 35 лазерной резки для создания непоказанных здесь перфорационных отверстий во внешней обсадной трубе 18. Ссылки на соответствующие документы, относящиеся к уровню техники, в которых описаны примеры таких инструментов 35 лазерной резки даны выше. Перфорационные отверстия во внешней обсадной трубе 18 могут быть также сделаны с помощью других элементов перфорирования обсадной трубы, как описано выше, или перфорационные отверстия могут быть сделаны во внешней обсадной трубе 18 заранее и активированы с помощью непоказанных здесь скользящих или поворотных рукавов обсадной трубы. После формирования перфорационных отверстий множество устройств 1 акустических ударных волн, таких как те, что включены в узел 10 инструмента, направляют их элементами фокусировки акустических ударных волн в направлении перфорационных отверстий, сделанных во внешней обсадной трубе 18, для постепенной экскавации непоказанных сплошных перфорационных каналов, проходящих через цемент 24 в проницаемую зону 32.

В третьем режиме эксплуатации узел 10 инструмента может быть спущен в верхнюю проницаемую зону 30. В этом варианте осуществления множество перфораций 36 уже было сделано непоказанными здесь фигурными зарядами взрывчатых веществ. Перфорации 36 могли быть сделаны в тот же самый спуск или в более ранний спуск в скважину 12. Узел 10 инструмента выполнен с возможностью локализации перфораций 38 во внешней обсадной трубе 18 с помощью элемента 41 локализации перфорационных отверстий и для выравнивания множества устройств 1 акустических ударных волн с указанными отверстиями перфорационных отверстий 38. Устройства акустических ударных волн впоследствии активируют для генерирования серии последовательных сформированных акустических ударных волн, для того чтобы постепенно и плавно улучшить перфорационные каналы 40, при этом улучшение обычно подразумевает расширение и/или удлинение.

Различные режимы эксплуатации, описанные выше, могут использоваться в одной и той же скважине или в различных скважинах. Различные зоны, показанные на фиг. 9 и описанные выше, могут также пониматься, как относящиеся к разным скважинам.

Следует отметить, что описанные выше варианты осуществления скорее служат в качестве иллюстрации изобретения, чем ограничивают его. Специалист в данной области техники сможет разработать множество альтернативных вариантов осуществления, не выходя за пределы представленной ниже формулы. В формуле номерные позиции, представленные в скобках, не следует понимать, как ограничение пункта формулы. Использование глагола "содержит" и его форм не исключает присутствия других элементов или этапов, чем те, что заявлены в пункте формулы. Неопределенный артикль, стоящий перед некоторым элементом, не исключает присутствие множества таких элементов.

Тот лишь факт, что некоторые меры упоминаются в отличных друг от друга зависимых пунктах, не является показателем того, что не может быть выгодным образом использована комбинация таких мер.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство (1) для перфорирования скважинной формации (22), причем указанное устройство (1) содержит

- генератор (2a) электронно-индуцированных акустических ударных волн; и
- элемент (4b) фокусировки акустических ударных волн, отличающееся тем, что
- элемент фокусировки акустических ударных волн представляет собой отражатель (4b) эллиптической формы;
- генератор (2a) электронно-индуцированных акустических ударных волн представляет собой электрогидравлический генератор (2a) акустических ударных волн;
- указанное устройство (1) по меньшей мере частично покрыто гибкой мембраной (5) с целью поддержания генератора (2a) электронно-индуцированных акустических ударных волн в контролируемой наполненной жидкостью среде;
- генератор (2a) электронно-индуцированных акустических ударных волн выполнен с возможностью генерирования серии акустических ударных волн (S); а
- элемент (4b) фокусировки акустических ударных волн выполнен с возможностью фокусирования указанной серии акустических ударных волн (S) на области (F) фокусировки пробуренного канала (44) с

целью нарушения целостности скважинной формации (22) в пределах указанной области (F) для постепенной экскавации перфорационного канала (40), проходящего от указанного пробуренного канала (44) в указанную формацию (22) в направлении распространения указанной серии сфокусированных акустических ударных волн (S).

2. Инструмент (10) в сборе для перфорирования скважинной формации (22), причем указанный инструмент (10) в сборе содержит устройство (1) по п.1 и указанный инструмент (10) в сборе выполнен с возможностью соединения с транспортирующими средствами (14) ствола скважины.

3. Инструмент (10) в сборе по п.2, в котором указанный инструмент (10) в сборе дополнительно содержит элемент перфорирования обсадной трубы.

4. Инструмент (10) в сборе по п.2 или 3, в котором указанный инструмент (10) в сборе дополнительно содержит элемент локализации перфорационных отверстий.

5. Инструмент (10) в сборе по любому из пп.2-4, в котором указанный инструмент (10) в сборе выполнен с возможностью создания условий локальной недостаточной компенсации давления в стволе (20) скважины вблизи формации (22), подвергающейся перфорированию.

6. Инструмент (10) в сборе по любому из пп.2-5, в котором указанный инструмент (10) в сборе дополнительно содержит элемент/устройство отображения формации.

7. Инструмент (10) в сборе по любому из пп.2-6, в котором указанный инструмент (10) в сборе по меньшей мере частично покрыт гибкой мембраной (5').

8. Способ для эксплуатации инструмента (10) в сборе по п.2, содержащий этапы, на которых
(А) спускают указанный инструмент (10) в сборе в скважину (12) на транспортирующих средствах (14) инструмента (10) в сборе и располагают инструмент (10) в сборе вблизи формации (22) в указанной скважине (12);

(Б) активируют указанный генератор (2а) акустических ударных волн;

(В) фокусируют сгенерированную акустическую ударную волну на области (F) фокусировки на пробуренном канале (44) с целью нарушения целостности формации (22) в пределах указанной области (F); и

(Г) осуществляют постепенную экскавацию перфорационного канала (40) в формации (22) с помощью множества последовательных сфокусированных акустических ударных волн (S) в направлении распространения сфокусированной акустической ударной волны.

9. Способ по п.8, в котором указанный способ до этапов (Б)-(Г) дополнительно включает этап, на котором

(А1) создают перфорационные отверстия (38) в обсадной трубе (18) скважины и/или хвостовике с помощью элемента перфорирования обсадной трубы.

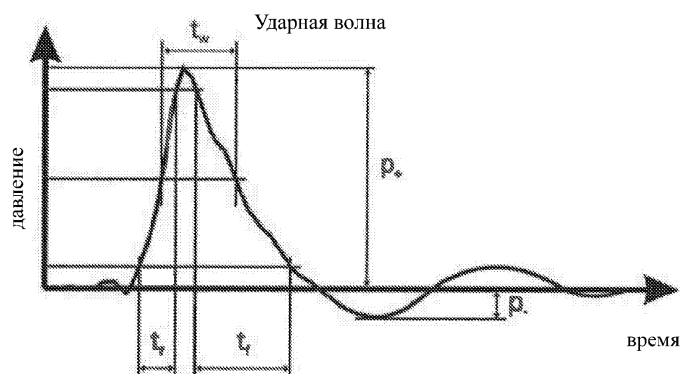
10. Способ по п.9, в котором указанный способ до этапов (Б)-(Г) дополнительно включает этап, на котором

(А2) локализуют одно или несколько уже существующих перфорационных отверстий (38) в обсадной трубе (18) с помощью элемента локализации перфорационных отверстий.

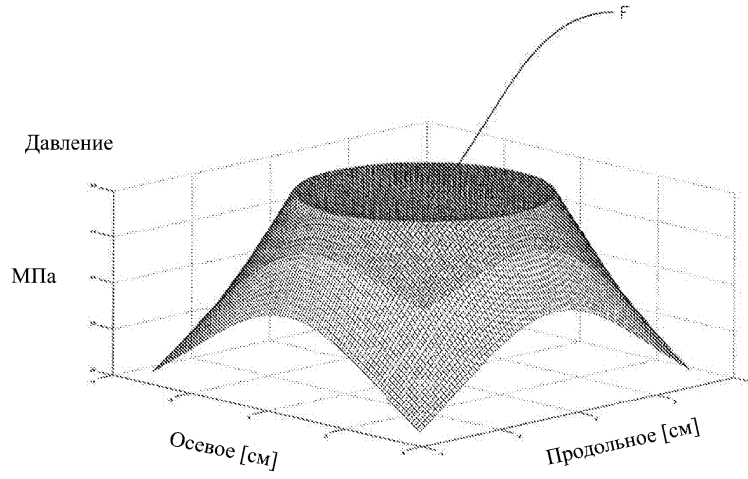
11. Способ по любому из пп.8-10, в котором этап (Г) дополнительно включает подэтап, на котором (Г1) осуществляют экскавацию перфорационного канала (40) с осевым направлением, имеющим вертикальную составляющую.

12. Способ по любому из пп.8-11, в котором указанный способ дополнительно содержит этап, на котором

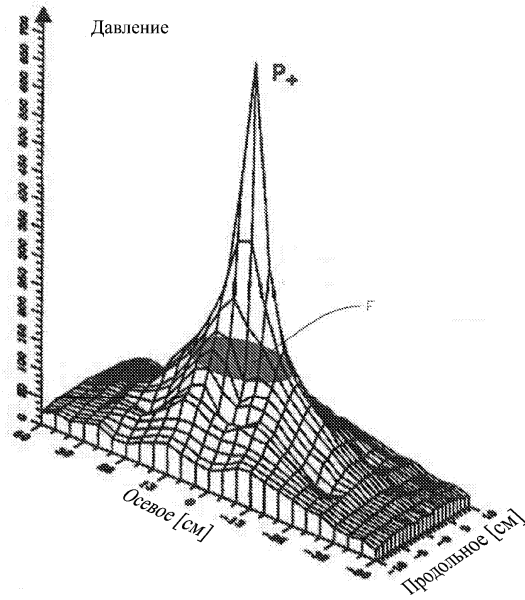
(Д) поддерживают давление в стволе (20) скважины ниже, чем давление формации, по меньшей мере, в области вокруг указанного инструмента (10) в сборе во время эксплуатации.



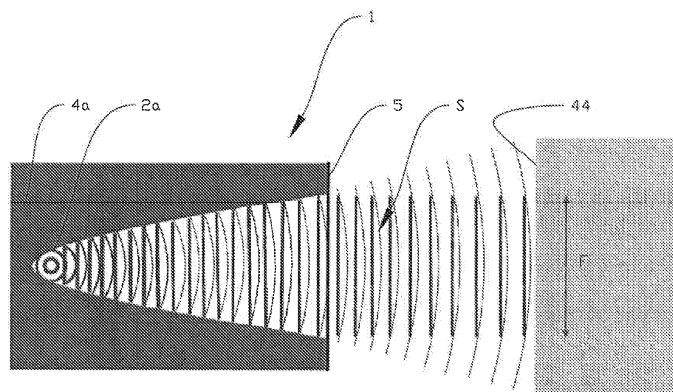
Фиг. 1



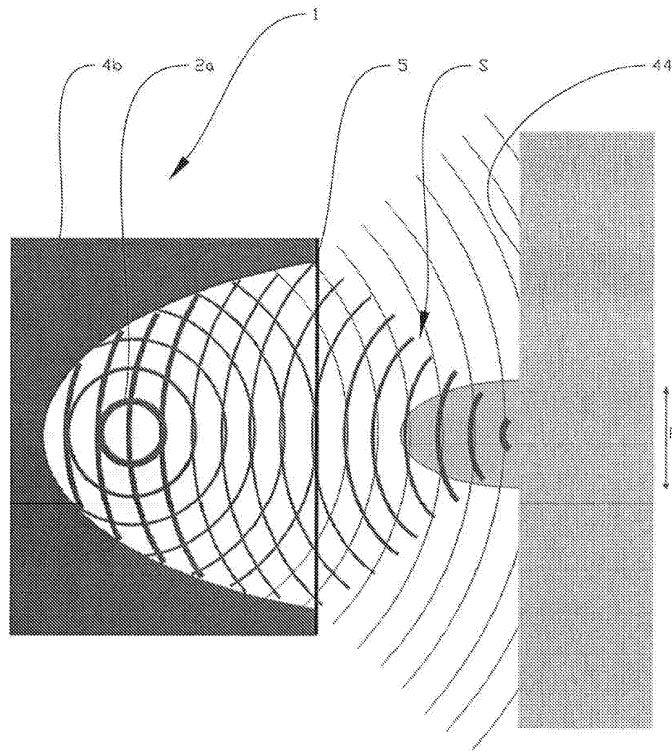
Фиг. 2



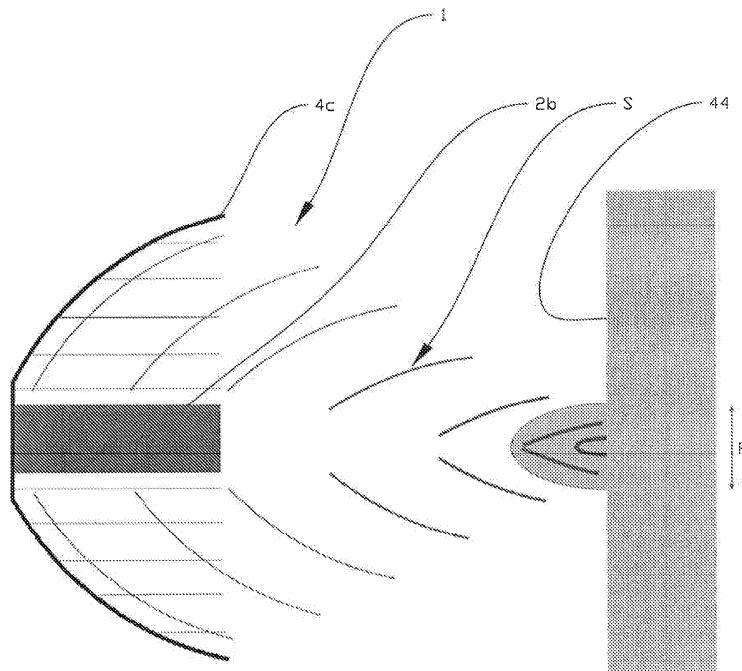
Фиг. 3



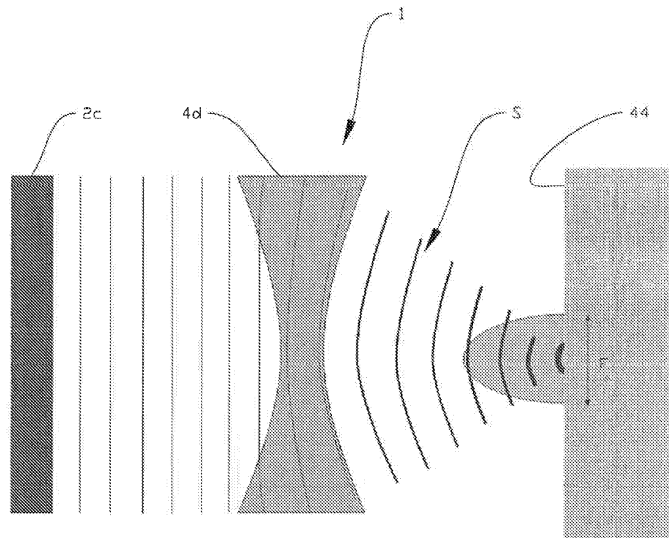
Фиг. 4



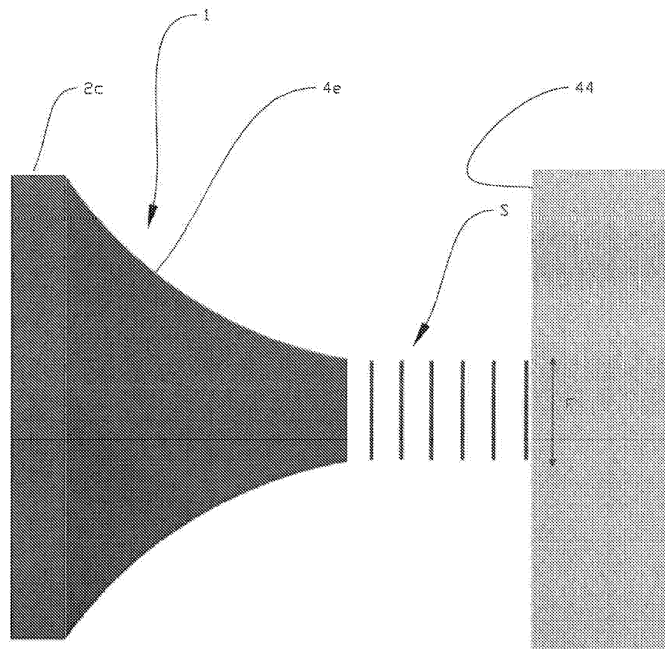
Фиг. 5



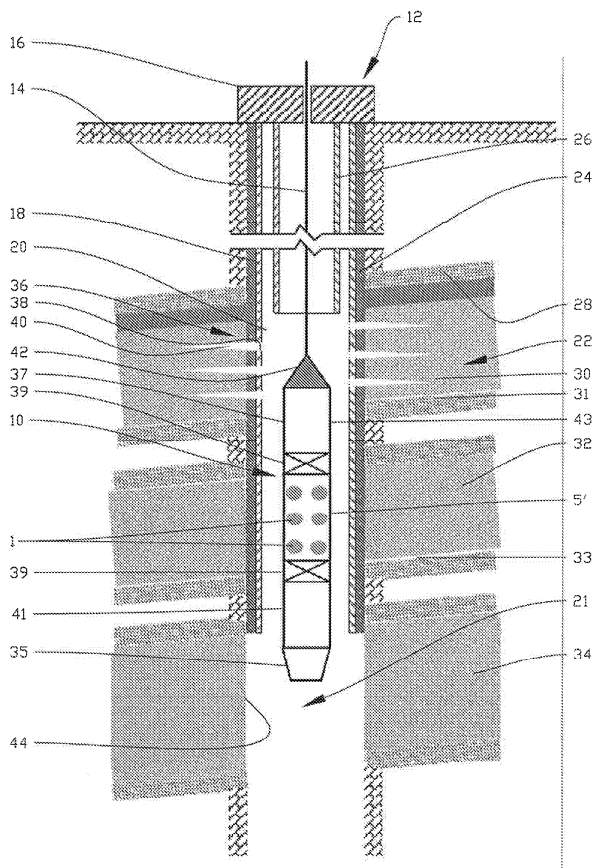
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9