

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201792188 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2018.05.31

(51) Int. Cl. E21B 47/06 (2012.01)
E21B 43/26 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2016.06.02

(54) УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОДОВ ИЗ СЛАНЦА

(31) 1509579.7; 1509576.3; 1513655.9

(32) 2015.06.03; 2015.06.03; 2015.08.03

(33) GB

(86) PCT/GB2016/051621

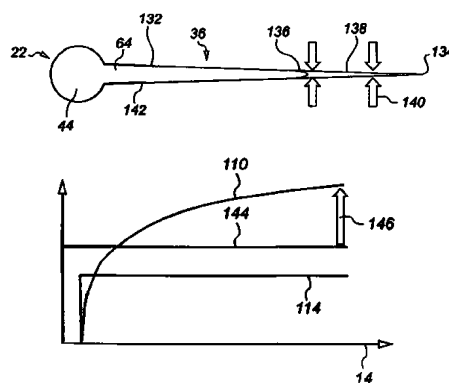
(87) WO 2016/193729 2016.12.08

(71) Заявитель:
ГЕОМЕК ИНЖИНИРИНГ ЛТД (GB)

(72) Изобретатель:
Сантарелли Фредерик Джозеф (NO)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Способ увеличения добычи углеводородов посредством гидравлического разрыва в сланцевых пластах с использованием несейсмического процесса циклической закачки с низкой скоростью охлажденной водной текучей среды с периодами останова скважины для инициирования разрыва при растяжении в пласте и создания сети трещин с трещинами высокой и очень высокой проводимости с достаточным поперечным распространением в законченной скважине. Используется один конечный цикл закачки водной текучей среды и расклинивающего наполнителя, в котором объем расклинивающего наполнителя определяется из измерений давления в скважине. Дополнительными параметрами трещин являются объем трещин очень высокой проводимости, поперечное распространение трещин очень высокой проводимости, поверхность трещин очень высокой проводимости и оценка глобальной формы сети трещин, которые определяют и анализируются после каждого цикла закачки.



A1

201792188

201792188

A1

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СЛАНЦА

Настоящее изобретение относится к добыче углеводородов посредством гидравлического разрыва в сланцевых пластах и, более конкретно, к преимущественно несейсмическому процессу циклической закачки с низкой скоростью охлажденной текучей среды в периоды остановки скважины для инициирования разрыва при растяжении в пласте и создания сети трещин с трещинами высокой и очень высокой проводимости в законченной скважине.

В настоящее время наблюдается постоянный интерес к так называемым нетрадиционным ресурсам для удовлетворения наших энергетических потребностей. В результате были разработаны технологии для интенсификации добычи углеводородов из низкопроницаемых подземных пластов, таких как сланцы, мергели, алевролиты и т. д. Согласно традиционной методике, пробуривается скважина, обеспечивая боковой горизонтальный ствол через разведанный сланцевый пласт ниже кровли пласта. Затем скважина перфорируется и возбуждается на интервалах вдоль длины разработки, при этом каждый интервал закупоривается до следующего перфорирования и возбуждения с помощью операции по гидроразрыву пласта (ГРП). Обычно используется от 30 до 40 интервалов с расстоянием между интервалами 100 м. По окончании процесса вся скважина открывается для добычи. Закачиваемая текучая среда, используемая в операциях по ГРП, возвращается с последующим потоком углеводородов.

При традиционном ГРП, вода или загущенная вода в виде геля закачивается с относительной высокой начальной скоростью, например 10 баррелей/мин. Скорость закачивания увеличивается с шагом примерно 20 баррелей/мин для достижения максимальной скорости закачивания от 100 до 200 баррелей/мин. Такой поэтапный подход используется для ударного воздействия на пласт и раскрытия уже имеющихся естественных трещин в пласте. При такой высокой скорости закачивания в воду добавляют расклинивающий наполнитель для заполнения трещин, оставляя их раскрытыми для добычи. Расклинивающий наполнитель представляет собой песчаные или искусственные керамические частицы, которые имеют размер, обеспечивающий поддержку, а также способствуют потоку углеводородов, то есть сланцевой нефти и/или газа.

Закачивание продолжается до тех пор, пока подача расклинивающего наполнителя не закончится или не произойдет выпадение расклинивающего наполнителя из жидкости разрыва вследствие исчерпания давления насоса.

В процессе возбуждения, если на интервале имеются естественные трещины, 5 заполненные углеводородами, из них может осуществляться добыча. Однако добыча из каждого интервала может сильно различаться. Отчасти это связано с тем, что, хотя траектории трещин можно идентифицировать на стенке ствола скважины путем каротажа, такие данные каротажа не указывают на поперечное 10 распространение трещин, а именно поперечные распространения определяют мощность добычи углеводородов. В настоящее время оценивается, что из около 50% возбуждаемых интервалов не добывается никаких углеводородов, что обусловлено главным образом отсутствием на интервале естественных 15 заполненных углеводородами трещин с достаточным поперечным распространением.

Патентная заявка США 2013/0284438 авторов Dusseault и Bilak относится к способу создания сети трещин в горной породе пласта для извлечения 20 углеводородов или других ресурсов из пласта. Способ включает следующие этапы: i) расширение сети естественных трещин и зарождающихся трещин внутри пласта путем закачки водного раствора без суспензии в скважину при условиях, 25 подходящих для стимулирования расширения, сдвига и/или гидравлического сообщения естественных трещин и последующее ii) инициирование сети больших трещин, которая гидравлически сообщается с расширенной сетью естественных трещин, путем закачки множества суспензий, содержащих текучую среду-носитель и соответствующие крупнозернистые гранулированные расклинивающие 30 наполнители, в указанную скважину в ходе ряда этапов закачки. Этот способ основан на создании разрушения при сдвиге в сети естественных и зарождающихся трещин в пласте. Также заявляется, что дальнейшая закачка в скважину водного раствора без суспензии приведет к расширению зоны саморасклиненных трещин.

Задачей настоящего изобретения является обеспечение способа создания сети трещин с трещинами очень высокой проводимости с достаточным поперечным 35 распространением в пласте на интервале в законченной скважине для повышения эффективности возбуждения и, соответственно, добычи углеводородов.

Согласно первому аспекту настоящего изобретения, предложен способ увеличения добычи углеводородов посредством гидравлического разрыва в скважине, имеющей по меньшей мере один перфорированный интервал, вскрывающий породу в пласте на некотором интервале, причем способ включает в себя этапы: закачки водной текучей среды в пласт с последующей закачкой в пласт водной текучей среды и расклинивающего наполнителя, отличающийся тем, что:

осуществляют множество циклов закачки водной текучей среды с последующей закачкой водной текучей среды и объема расклинивающего наполнителя в одном цикле, при этом каждый цикл заканчивается периодом останова;

объем расклинивающего наполнителя определяется из измерения давления в скважине;

указанный процесс является несейсмическим, поскольку скорость закачки достаточно низкая, чтобы предотвратить ударное воздействие на пласт, и температура закачиваемой водной текучей среды достаточно низкая, чтобы вызвать разрыв при растяжении в породе и, таким образом, обеспечить сеть трещин с трещинами очень высокой проводимости и трещинами высокой проводимости с достаточным поперечным распространением для добычи углеводородов.

Таким образом, каждый цикл закачки водной текучей среды будет приводить к образованию трещин на поверхностях существующих трещин и, следовательно, расширять сеть в поперечном направлении. Поскольку искусственно созданные трещины образуются из существующих трещин, полученная в результате сеть имеет высокую проводимость. Трещины очень высокой проводимости располагаются вокруг скважины, заполняются расклинивающим наполнителем в конечном цикле и являются основным каналом проницаемости, эффективно увеличивая объем скважины. И хотя примыкающие к трещинам очень высокой проводимости трещины высокой проводимости, которые обеспечивают увеличенное поперечное распространение, не расклиниваются и могут частично закрываться при эксплуатации скважины, они все равно будут способствовать добыче углеводородов, подпитывая трещины очень высокой проводимости. Следует, однако, отметить «фрактальную» или «искусственную» природу созданных трещин. Они являются искусственными благодаря периоду останова, за которым следует закачка более холодной водной текучей среды, при этом

существует тепловая составляющая напряжения, действующая вдоль границы трещины, которая ослабляет ее, позволяя образовываться дополнительным трещинам. Это является отличием от известного уровня техники, в котором используется разрушение при сдвиге, открывающее существующие и зарождающиеся трещины.

Предпочтительно, скорость закачки при закачивании водной текучей среды составляет менее 15 баррелей/мин (баррелей в минуту). Скорость закачки может составлять менее 10 баррелей/мин. Скорость закачки может находиться в диапазоне от 4 до 15 баррелей/мин. В одном или более циклах скорость закачки может составлять менее 2 баррелей/мин. Более предпочтительно, скорость закачки составляет менее 1 барреля/мин. Скорость закачки может изменяться в каждом цикле. В этом случае пласт не испытывает ударного воздействия при закачивании водной текучей среды. Скорости закачки при традиционном гидравлическом разрыве обычно находятся в диапазоне от 50 до 200 баррелей/мин, так как он предназначен для оказания ударного воздействия на пласт, чтобы раскрыть трещины. Предпочтительно, низкая скорость закачки эквивалентна закачке с использованием 1 или 2 насосов высокого давления, по сравнению с 30-50, которые обычно требуются при традиционном гидравлическом разрыве пласта. Скорость закачки при закачивании водной текучей среды и расклинивающего наполнителя может быть высокой, то есть составлять более типичные 50–200 баррелей/мин традиционного гидравлического разрыва. Такая более высокая скорость ускоряет конечный цикл.

Предпочтительно, чтобы температура водной текучей среды была достаточной для создания теплового напряжения, необходимого для образования новых трещин. Водная текучая среда перед закачкой может охлаждаться. Охлаждения можно достигнуть, оставляя водную текучую среду в течение периода времени перед закачкой. Такой подход необходим, если водная текучая среда была взята из нагретого источника, например, другой скважины. Предпочтительно, температура водной текучей среды ниже, чем температура пласта на данном интервале. Последующий нагрев водной текучей среды, когда она вводится и закачивается в этот интервал, может учитываться при определении температуры водной текучей среды. Более предпочтительно, для измерения температуры на данном интервале используется скважинный датчик температуры.

Предпочтительно, скорость закачки при закачивании водной текучей среды, продолжительность закачки, давление и продолжительность периода останова для каждого цикла определяются из анализа параметров трещин, рассчитанных по предыдущим циклам.

Предпочтительно, параметры трещин выбираются из группы, включающей один или более из: объема трещин очень высокой проводимости, поперечного распространения трещин очень высокой проводимости, поверхности трещин очень высокой проводимости и оценки глобальной формы сети трещин. Предпочтительно, все параметры трещин рассчитываются после каждого цикла закачки водной текучей среды.

Предпочтительно, давление в скважине измеряется с помощью скважинного манометра, расположенного в скважине, причем скважинный манометр имеет скорость сбора данных не менее 1 Гц. Таким образом, точка данных для расчета параметров трещин собирается каждую секунду. Более предпочтительно, скорость сбора данных составляет от 1 до 10 Гц. Скорость сбора данных может составлять от 10 до 100 Гц. Эта скорость сбора данных выше, чем измерения в известном уровне техники. Поскольку большинство датчиков в настоящее время являются цифровыми, такие скорости сбора данных доступны, но не используются по причине избыточного количества данных, которые будут собираться в течение периодов времени, обычно используемых в промышленности.

Предпочтительно, при останове скорость закачки снижается поэтапно. Более предпочтительно, скорость закачки на конечном этапе перед конечным остановом составляет менее 2 баррелей/мин. Предпочтительно, каждый этап завершается в течение периода времени примерно от 1 до 5 минут.

Предпочтительно, в начале каждого цикла скорость закачки водной текучей среды составляет менее 2 баррелей/мин. Более предпочтительно, скорость закачки водной текучей среды находится в диапазоне от 0,5 до 2 баррелей/мин.

Предпочтительно, объем расклинивающего наполнителя определяется из расчета объема трещин очень высокой проводимости. Поскольку расклинивающий наполнитель заполняет только эти трещины очень высокой проводимости, объем расклинивающего наполнителя будет составлять некоторую процентную долю от объема трещин очень высокой проводимости, а оставшуюся процентную долю будет составлять водная текучая среда. Рассчитанный объем расклинивающего наполнителя может составлять в пределах от 30% до 70% от объема трещин очень высокой проводимости.

Предпочтительно, водной текучей средой является вода. Более предпочтительно, водной текучей средой является добытая вода из другой скважины. Другая скважина может быть традиционной или нетрадиционной скважиной. Водной текучей средой может быть морская вода. Таким образом, водная текучая среда может быть тем, что доступно рядом со скважиной, и поэтому доставка пресной воды к скважине не требуется. Предпочтительно, чтобы водная текучая среда не содержала химических добавок для регулирования вязкости. Это уменьшает затраты и время на приготовление растворов водной текучей среды. Водная текучая среда может содержать бактерицид для предотвращения закисления, как известно в промышленности.

Предпочтительно, расклинивающий наполнитель является традиционно используемым и известным специалистам в данной области техники. Расклинивающий наполнитель может представлять собой песок, керамику, быть покрытым смолой или нет, и т. д.

Предпочтительно, способ включает этапы закупоривания интервала, перфорирования и возбуждения последующих интервалов вдоль ствола скважины с использованием циклических этапов закачки согласно первому аспекту, вскрытие скважины, обратную добычу водной текучей среды и добычу углеводородов.

Способ может выполняться на интервалах, которые ранее были возбуждены гидравлическим разрывом. Это можно рассматривать как повторный гидроразрыв.

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

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

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

Фиг. 1 – графическое изображение методики увеличения добычи углеводородов из скважины путем гидравлического разрыва пласта согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 2 – схематическое изображение скважины, возбужденной гидравлическим разрывом согласно известному уровню техники;

Фиг. 3 – схематическое изображение скважины, в которой должен выполняться способ по настоящему изобретению;

Фиг. 4(a) – схематическое изображение закачиваемой текучей среды, поступающей в трещину, и фиг. 4(b) – соответствующий график, иллюстрирующий напряжения набухания во время закачки;

Фиг. 5(a) – схематическое изображение тепловых напряжений в трещине по фиг. 5(a) во время останова и фиг. 5(b) – соответствующий график, иллюстрирующий тепловые напряжения во время останова;

Фиг. 6 – схематическое изображение сети трещин вокруг скважины согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 7 – график зависимости давления в скважине от закачиваемого объема, который проанализирован для определения объема трещин очень высокой проводимости согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 8 – график зависимости давления в скважине от времени, который проанализирован для определения поперечного распространения трещин очень высокой проводимости согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 9 – иллюстративный график зависимости давления в скважине и скорости закачки от времени, который используется, чтобы определить различия в гидравлических потерях для расчета поверхности трещин очень высокой проводимости согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 10 – график зависимости гидравлических потерь от скорости закачки, который проанализирован с помощью полиномиальной кривой наилучшей аппроксимации для определения поверхности трещин очень высокой проводимости согласно варианту осуществления настоящего изобретения; и

Фиг. 11 – график, иллюстрирующий характеристическую кривую, которая может быть проанализирована для качественной оценки геометрии сети трещин.

На фиг. 1 показана методика, обозначенная в целом ссылочным номером 10, в виде графика зависимости скорости 12 закачки от времени 14, для создания сети трещин 16 с трещинами высокой и очень высокой проводимости 18, 20 с

достаточным поперечным распространением, проиллюстрированным на фиг. 6, в скважине 22, проиллюстрированной на фиг. 2, для увеличения добычи углеводородов посредством возбуждения гидравлическим разрывом согласно варианту осуществления настоящего изобретения.

5 На фиг. 2 проиллюстрирована скважина 22, возбужденная гидравлическим разрывом. Скважина 22 была пробурена известным способом с поверхности 26 через геологические пласты 28. Скважина 14 показана вместе с исходным вертикальным стволом скважины 30, который пробурен через защитный слой пресной воды 32 и кровлю 34 пласта для достижения найденного сланцевого
10 пласта 36. Скважина 30 затем пробурена горизонтально, чтобы достигнуть максимально доступного объема слоя сланцевого пласта 36. После заканчивания скважины 22, насосно-компрессорная труба 38 вставляется в ствол скважины 44 в сланцевом пласте 36, причем труба 38 цементируется в пласте, создавая барьер в виде цементной оболочки между внешней поверхностью 40 насосно-компрессорной трубы и внутренней поверхностью 42 ствола скважины 44. На
15 поверхности 26 находится устье скважины 46, которое обеспечивает канал для входа и выхода ствола скважины 30.

После заканчивания скважины 22 выбирается первый интервал 48. Первый интервал 48 обычно находится на дальнем конце 50 длины разработки 52.
20 Первый интервал 48 перфорируется для обеспечения сообщения сланцевого пласта 36 с внутренней частью 54 трубы 38. Такое вскрытие пласта 36 позволяет выполнить операцию по ГРП 56.

В типичной операции по ГРП 56, вода или загущенная вода в виде геля закачивается с относительной высокой начальной скоростью, скажем, 10
25 баррелей/мин. Скорость закачивания увеличивается с шагом примерно 20 баррелей/мин для достижения максимальной скорости закачивания от 100 до 200 баррелей/мин. Такой поэтапный подход используется для ударного воздействия на пласт и раскрытия естественных трещин. При такой высокой скорости закачивания в воду добавляют расклинивающий наполнитель для заполнения
30 трещин, оставляя их раскрытыми для добычи. Расклинивающий наполнитель представляет собой песчаные или искусственные керамические частицы, которые имеют размер, обеспечивающий поддержку, а также способствуют потоку углеводородов, то есть сланцевой нефти и/или газа. Закачивание продолжается

до тех пор, пока подача расклинивающего наполнителя не закончится или не произойдет выпадение расклинивающего наполнителя из жидкости разрыва вследствие исчерпания давления насоса.

После выполнения операции по ГРП 56 первый интервал 48 закупоривается 62, чтобы заблокировать доступ к пласту 36. Затем перфорируется второй интервал 60. Второй интервал 60 находится на расстоянии от первого интервала 48, типичное расстояние может составлять 100 м, и располагается ниже по потоку от первого интервала 48.

Операция по ГРП 56 выполняется таким же образом на втором интервале 60 и процесс закупоривания, последующего перфорирования и возбуждения путем выполнения операции по ГРП на последующих интервалах повторяется вдоль длины разработки 52. Хотя на фиг. 2 показано только несколько интервалов, для обеспечения максимального извлечения доступных углеводородов часто используется от 30 до 40 интервалов.

По окончании процесса вся скважина открывается для добычи. Закачиваемая текучая среда обратно добывается с последующим потоком углеводородов.

Как показано на фиг. 2, количество углеводородов 58, добываемых на каждом интервале, сильно варьируется. Специалистам в данной области известно, что до 50% интервалов не будет давать никаких углеводородов 58. Это связано с отсутствием трещин 18, 20 с достаточным поперечным распространением в пласте, где находится интервал.

Таким образом, понятно, что если найти способ создания сети трещин 16 на каждом интервале, имеющем трещины 18, 20 с достаточным поперечным распространением, то углеводороды 58 можно будет добывать из каждого интервала. Это увеличит добычу углеводородов из скважины 22.

Такой способ 10 обеспечивается настоящим изобретением. Технические требования к способу 10 проиллюстрированы на фиг. 3. Эта фигура представляет собой упрощенный вариант фиг. 2 и, для ясности, одинаковые элементы имеют одинаковые ссылочные номера. На фиг. 3 скважина 22 показана полностью вертикальной с одним интервалом 48, но должно быть понятно, что на практике скважина 22 может быть фактически горизонтальной. Размеры также сильно изменены, чтобы выделить значимые области, представляющие интерес.

Скважина 22 бурится традиционным способом, обеспечивающим обсадную трубу 74 для поддержки ствола скважины 44 по длине кровли 34 пласта до расположения сланцевого пласта 36. Для определения расположения сланцевого пласта 36 и определения свойств скважины 22 используются стандартные

5

Эксплуатационная колонна 82 проходит через обсадную трубу 74, а труба 38 в виде эксплуатационного хвостовика свисает с подвески хвостовика 80 у основания 84 эксплуатационной колонны 82 и проходит в ствол скважины 44 через сланцевый пласт 36. Эксплуатационный пакер 76 обеспечивает уплотнение между эксплуатационной колонной 82 и обсадной трубой 74, предотвращая прохождение

10

текучих сред через кольцевое пространство 78 между ними. В кольцевое пространство 88 между внешней поверхностью 90 эксплуатационного хвостовика 38 и внутренней стенкой 92 открытого ствола скважины 44 закачивается цемент. Этот цемент образует в кольцевом пространстве 88 цементную оболочку 86.

15

Когда все установлено, в эксплуатационном хвостовике 38 и цементной оболочке 86 создаются перфорационные отверстия 94, чтобы вскрыть пласт 36 и сообщить его с внутренним каналом 96 эксплуатационного хвостовика 38. Все это выполняется как стандартный способ бурения и заканчивания скважины 22 в сланцевом пласте 36.

20

На поверхности 26 располагается стандартное устье скважины 46. Устье скважины 46 содержит канал (не показан) для прохождения из скважины 22 текущих сред, таких как углеводороды. Устье скважины 46 также содержит канал 98 для закачки текущих сред из насосов 100. Датчики 102 располагаются на устье скважины 46 и управляются из блока 104, который также собирает данные с датчиков 102. Датчики 102 включают датчик температуры, манометр и датчик скорости. Все эти наземные компоненты являются стандартными для устья скважины 46.

25

Для настоящего изобретения также необходимо установить скважинные датчики 106. Такие скважинные датчики 106 известны в промышленности, располагаются над эксплуатационным пакером 76 и соединяются с блоком 104 на поверхности 26. Данные передаются через кабель большой емкости 108, расположенный в кольцевом пространстве 78. Датчики 102, 106 могут быть стандартными датчиками, хотя для настоящего изобретения датчики 102, 106 должны иметь

30

возможность с высокой скоростью собирать по меньшей мере данные о давлении в скважине 110. Скорость должна составлять по меньшей мере 1 Гц, в результате чего точка данных может быть собрана со скоростью по меньшей мере одной точки в секунду. Поскольку большинство датчиков в настоящее время являются цифровыми, может потребоваться просто увеличить частоту сбора на датчике. Блок 104 может собирать данные локально и передавать их в рабочую базу (не показана), где может выполняться анализ данных. Принято считать, что скважинный манометр не выдерживает закачивания смеси водной текучей среды 64 и расклинивающего наполнителя 66 в конечном цикле 124. Однако, поскольку в способе 10 рассчитывается необходимый объем расклинивающего наполнителя 66, для конечного цикла 124 скважинные измерения не требуются.

В традиционном гидравлическом разрыве для операции по ГРП 56 требуется 20-50 насосов 100 на поверхности 26 для обеспечения скорости закачки от 50 до 200 баррелей/мин. В настоящем изобретении требуется только один или два насоса 100. Это связано с тем, что требуется скорость закачки менее 15 баррелей/мин. В предпочтительном варианте осуществления насос (насосы) 100 представляют собой высокоточные насосы высокого давления и низкой скорости. Для перекачивания текучей среды с нужными низкими скоростями, то есть ниже 2 баррелей/мин, через канал 98 в законченный ствол скважины 44 необходима точность. На заключительном этапе способа 10, для закачивания водной текучей среды и расклинивающего наполнителя могут использоваться более типичные насосы высокого давления и высокой скорости.

С помощью скважины 22, полученной согласно подробной фиг. 2, может быть реализован способ 10 возбуждения по настоящему изобретению. Как показано на фиг. 1, водная текучая среда 64 закачивается с первой скоростью закачки Q_1 114a и продолжительностью t_{i1} 116a, а затем осуществляется останов 118a скважины 22 на период времени t_{si1} 120a. Это рассматривается как цикл 122a. После этого следуют дополнительные циклы 122b-d с потенциально различными скоростями закачки 114b-d, продолжительностями 116b-d и периодами останова 120b-d. Способ 10 заканчивается конечным циклом 124, в котором водная текучая среда 64 и расклинивающий наполнитель 66 закачиваются со скоростью Q_p 126 и продолжительностью t_p 128 и осуществляется останов на период времени t_{sip} 130. Хотя в способе 10 на фиг. 1 показано четыре цикла закачки 122a-d водной

текучей среды 64, требуемое количество циклов будет зависеть от анализа данных, собранных во время предыдущих циклов 122.

При традиционном гидравлическом разрыве водная текучая среда должна представлять собой пресную воду или воду с низкой соленостью. С водой также смешиваются добавки для снижения трения для получения так называемого реагента на водной основе, или вода может быть загущена для получения так называемых ГРП-гелей. Доставка большого количества пресной воды на площадку и стоимость добавок делают традиционный гидравлический разрыв дорогостоящим. В настоящем изобретении водная текучая среда 64 не требует наличия пресной воды и не содержит добавок для снижения трения. Действительно, водная текучая среда 64 может быть морской водой или добытой водой из других скважин. Таким образом, обратно добытая вода из возбужденной скважины 22 может использоваться для операций по ГРП 56 на следующей или соседней скважине 22. Кроме того, также можно использовать добытую воду из традиционных скважин. Единственным требованием для настоящего изобретения является то, что водная текучая среда 64 охлаждается. Под этим понимается, что температура закачиваемой текучей среды при останове должна быть ниже температуры пласта, чтобы обеспечить разность температур и создать тепловое напряжение. Такое охлаждение может быть достигнуто путем выдержки времени перед закачкой в скважину добытой воды/текучей среды. Вода также может быть обработана бактерицидом, чтобы избежать закисления пластов бактериями.

На фиг. 4(а) приведена иллюстрация того, что происходит при закачке водной текучей среды 64 в пласт 36. Текучая среда 64 поступает в скважину 22 путем закачивания через ствол скважины 44. В интервале перфорации будут большие поперечные трещины, обычно называемые трещинами в виде «полукрыльев» 132. Эти трещины имеют тенденцию быть широкими и короткими в поперечном направлении. При закачке текучей среды 64 она поступает в трещину 64, перемещаясь к вершине трещины 134 на дальнем конце. Когда фронт водной текучей среды 136 проходит через трещину 132, между фронтом текучей среды 136 и вершиной 134 создается «пустота». Происходит кавитация с образованием водяного пара 138 и возникающее напряжение набухания 140 действует на стенку 142 трещины 132. Фиг. 4(b) графически иллюстрирует этот процесс во времени 14. В пласте 144 существует минимальное напряженное состояние, которое можно считать постоянным. Скорость закачки 114 также может считаться постоянной.

Закачиваемая текучая среда 64 увеличивает давление в скважине 110 из-за кавитации, в результате чего давление в скважине 110 становится больше, чем напряженное состояние в пласте 144. Полезное давление 146 возникает вследствие напряжений набухания 140.

5 Во время останова 118 на трещину 132 будут действовать тепловые напряжения 148, как проиллюстрировано на фиг. 5(a). Большие тепловые напряжения 148a действуют вдоль стенки 142 ближе к стволу скважины 44, так как в этом месте текучая среда 64 холоднее при останове, чем более теплая текучая среда вблизи вершины 134, где возникают меньшие тепловые напряжения 148b. Тепловые

10 напряжения 148 представляют собой тепловую составляющую напряжения, которая действует вдоль стенки трещины 142, то есть границы трещины, которая ослабляет ее, позволяя образовываться трещинам перпендикулярно к стенке трещины 142. На фиг. 5(b) представлена графическая иллюстрация изменений температуры, происходящих в пласте 36 в трещине 132. Рассматривая

15 зависимость температуры 150 от расстояния 152 от трещины 132 (перпендикулярно), имеем пластовую или начальную температуру 154, которая задается как постоянная величина 156. Так как текучая среда 64 охлаждена, температура 150 в трещине 132 будет иметь значение 158 намного меньшее, чем начальная температура 156 при останове. Однако при останове температурный

20 профиль поднимается до начальной температуры 156 на коротком расстоянии 164 от трещины 132. Тепловые напряжения 148 при останове могут рассматриваться как «ранние малые» напряжения. За счет того, что останов скважины 22 длится период времени 120, температурный профиль, удаляясь от трещины 132, изменяется. Полученный профиль в конце останова 166

25 демонстрирует значение температуры 160 в трещине 132, которое находится между значением температуры 158 при останове и начальной температурой 156. Затем профиль 166 становится более пологим, занимая дополнительное расстояние 168 от трещины 132 для достижения начальной температуры 156. Таким образом, теперь возникают «поздние глубокие» тепловые напряжения 148,

30 которые вызывают создание трещин, перпендикулярных к стенке 142 трещины 132.

Поскольку разрыв при растяжении пласта 36 достигается при низких скоростях закачки 114, способ 10 по существу является несейсмическим. Это означает, что способ 10 создает трещины, которые не могут быть записаны группой

сейсмоприемников, таких как инклинометры и т.п., которые используются в распространенных методиках измерения трещин. Таким образом, способ 10 по настоящему изобретению может использоваться, когда естественных трещин не существует – например, в насыщенных глиной пластах, обычно классифицируемых в известном уровне техники как «неподдающиеся гидроразрыву». Способ 10 может создавать трещины и, более конкретно, сеть трещин 16, которая является полностью «искусственной», благодаря чему так называемая «зона максимального нефтегазонасыщения» может быть создана в любом месте в пласте 36.

Получаемая сеть трещин 16 проиллюстрирована на фиг. 6. Видно, что из ствола скважины 44 выходит сеть трещин очень высокой проводимости 20, которые были созданы с помощью последовательных циклов закачки 122. Трещины 18 располагаются перпендикулярно друг к другу, демонстрируя, что они были созданы посредством разрыва при растяжении из-за теплового напряжения вдоль поверхности трещины, по сравнению со случайным расположением, характерным для сетей естественных и зарождающихся трещин. Из трещин очень высокой проводимости 20 выходят трещины высокой проводимости 18. Тепловые напряжения 148 демонстрируют высокоплотную сеть 16 трещин 20, 18 вблизи ствола скважины 44, плотность которой уменьшается при удалении от ствола скважины 44. В некоторых случаях, как представляется, существуют три зоны проницаемости, центры которых располагаются в стволе скважины 44. При закачивании расклинивающего наполнителя 66 с текучей средой 64 в конечном цикле 124 объем и размер зерна расклинивающего наполнителя определяли таким образом, чтобы все трещины очень высокой проводимости 20 были заполнены расклинивающим наполнителем, избегая при этом любого возможного выпадения расклинивающего наполнителя из жидкости разрыва. Во время добычи углеводородов расклиненные трещины очень высокой проводимости 20 являются основным каналом проницаемости. Трещины высокой проводимости 18 циклов закачки 122 теперь являются трещинами низкой проводимости, которые частично закрываются, но все же способствуют прохождению углеводородов в основной канал текучей среды.

Для каждого цикла закачки 122b-d преимуществом будет определить несколько параметров трещин, чтобы помочь в выборе скорости закачки на каждом цикле закачки 122, продолжительности закачки 116 и продолжительности каждого

периода останова 120. Параметры трещин, которые определяются после каждого цикла закачки водной текучей среды 122, следующие:

- (a) Объем трещин очень высокой проводимости;
- (b) Поперечное распространение трещин очень высокой проводимости;
- (c) Поверхность трещин очень высокой проводимости; и
- (d) Оценка глобальной формы сети трещин.

На фиг. 7 показан график 170, используемый для определения объема трещин очень высокой проводимости. График 170 иллюстрирует зависимость измеренного давления в скважине 110 от закаченного объема 172 в начале цикла 122. Эта зависимость представляет собой кривую 174, имеющую резко возрастающий прямой участок с постоянным градиентом и последующий участок, отклоняющийся к горизонтали. Точка 176, в которой кривая 174 начинает отклоняться, отражает уменьшение давления в скважине, вызванное созданием одной или более трещин. Точка 176 может называться давлением утечки (PLOT). Специалистам в данной области техники будет понятно, что постоянный градиент в точке 176 эквивалентен объему, как следует из уравнения сжимаемости. Такое уравнение известно специалистам в данной области техники. Для проведения таких измерений скорость закачки 114 водной текучей среды 64 должна находиться в диапазоне от 0,5 до 2 баррелей/мин, а скорость сбора данных скважинного манометра составлять от 1 до 10 Гц в начале цикла 122.

Как проиллюстрировано на фиг. 6, расклинивающий наполнитель 66 закачивается для заполнения объема трещин очень высокой проводимости 20 во время конечного цикла 124. Теперь, зная объем трещин очень высокой проводимости, можно определить необходимый объем расклинивающего наполнителя 66. Расчет объема расклинивающего наполнителя 66 делает способ более эффективным, поскольку смешивается и используется только необходимое количество наполнителя. Также исключается выпадение расклинивающего наполнителя из жидкости разрыва. Объем расклинивающего наполнителя выбирается в пределах от 30% до 70% от объема трещин очень высокой проводимости, а оставшаяся процентная доля представляет собой водную текучую среду 64, используемую для доставки расклинивающего наполнителя 66 в трещины очень высокой проводимости 20.

На фиг. 8 чертежей показан график 178, используемый для определения поперечного распространения трещин очень высокой проводимости. График 178 иллюстрирует зависимость давления в скважине 110 от времени 14 при останове 118. Скорость закачки 114 водной текучей среды 64 лежит в диапазоне от 1 до 2 баррелей/мин, а скорость сбора данных скважинного манометра составляет от 10 до 100 Гц при останове 118 каждого цикла 122 или по меньшей мере в течение первой минуты. Если останов выполняется быстро, на графике 178 будет отображаться волна давления гидравлического удара 180 с пиками и долинами, иллюстрирующими отражения волны давления гидравлического удара от жестких отражателей в скважине 22 и пласте 36. Если останов медленный, то волна гидроудара 180 будет сильно урезанной. Такую волну 180 можно рассматривать аналогично звуковой волне в сейсмике. Анализируя волну 180 с помощью быстрого преобразования Фурье и используя скорость звука в водной текучей среде, частотные составляющие преобразования можно интерпретировать как расстояния от отражателя до скважинного манометра, чтобы получить расстояния, равные поперечным распространениям трещин очень высокой проводимости. Поперечное распространение указывает на объем пласта, из которого могут быть извлечены углеводороды, и, как было описано выше, на наличие трещин с достаточным поперечным распространением, которые обеспечивают добычу углеводородов.

Далее необходимо определить поверхность трещин очень высокой проводимости. Чем больше поверхность, тем больше трещин может быть создано тепловым напряжением. Для этого останов 118 выполняется поэтапно. После продолжительности закачки 116 водной текучей среды 64 скорость закачки 114 уменьшается с шагом примерно 1 баррель/мин с продолжительностью шага 1-5 минут. Частота сбора данных устанавливается между 1 и 10 Гц. Последний этап прекращения закачки используется для того, чтобы получить волну гидроудара 180, показанную на фиг. 8. На фиг. 9 проиллюстрированы изменения скорости закачки 182 вместе с изменениями давления в скважине 110 со временем 14 в результате поэтапного останова. Для определения разности давлений 186 при двух скоростях используется кривая 184. Затем рассчитываются гидравлические потери 188 для получения графика 190 зависимости гидравлических потерь 188 от скорости закачки. График 190 проиллюстрирован на фиг. 10. Рассчитывается полиномиальная кривая наилучшей аппроксимации 192. Зная объем трещин

очень высокой проводимости 20 (фиг. 7) и их примерную форму (фиг. 8), полиномиальная кривая наилучшей аппроксимации 192 используется для определения: количества трещин очень высокой проводимости 20, площади поверхности между сетью трещин 16 и скелетом породы в пласте 36, а также средней апертуры трещин очень высокой проводимости 20. Среднюю апертуру трещин очень высокой проводимости 20 можно использовать для определения размера расклинивающего наполнителя. Выбирая размер каждой гранулы расклинивающего наполнителя меньшим или равным средней апертуре, можно быть уверенным, что трещины очень высокой проводимости 20 будут плотно заполнены и, таким образом, будут хорошо расклинены. Благодаря выбору размера гранул расклинивающего наполнителя 66 конечный этап закачки 124 становится более экономичным и оптимизированным по сравнению с известным уровнем техники.

Оценка глобальной формы сети трещин проводится путем определения характеристической кривой для каждого останова 118. Предпочтительно, форма определяется в реальном времени после каждого цикла закачки. Строится график в полулогарифмическом масштабе зависимости производной давления в скважине 110 от времени останова 120, где производная обозначена 194. Характеристическая кривая 196 проиллюстрирована на фиг. 11. Предпочтительно, кривая имеет три наклонных участка 198, 200, 202, причем продолжительность каждого наклонного участка указывает на продолжительность диффузии давления. Первый наклонный участок 198 при останове указывает на диффузию давления в плоской трещине; второй наклонный участок 200 указывает на диффузию давления в плоской трещине и в перпендикулярных трещинах; и третий наклонный участок 202 указывает на диффузию давления в «псевдо»-изотропной сети трещин. После завершения каждого цикла 122a-c характеристическая кривая 196 анализируется, а скорость закачки 114, продолжительность закачки 116 и период останова 120 адаптируются для последующего цикла закачки 122b-d для изменения следующей характеристической кривой. Цель состоит в том, чтобы свести к минимуму продолжительность двух начальных наклонных участков 198, 200 при последующих циклах 122 закачки водной текучей среды 64, в результате чего наибольшая диффузия давления проходит через идеальную псевдоизотропную сеть трещин 16, которая была образована.

В варианте осуществления настоящего изобретения циклы закачки 122 охлажденной водной текучей среды 64 будут занимать две недели, при этом конечный цикл 124 с водной текучей средой 64 и расклинивающим наполнителем 66 будет занимать всего несколько часов.

Способ 10 может применяться на отдельных интервалах законченной скважины, как показано на фиг. 2, либо когда скважина уже закончена и каждый интервал перфорирован, то есть способ будет представлять собой метод первичного гидравлического разрыва, или после того, как скважина прошла ГРП с использованием традиционных способов, в таком случае способ можно рассматривать как повторный гидроразрыв. Такой повторный гидроразрыв может обеспечить доступ к углеводородам в интервалах, имеющих мало трещин с достаточным поперечным распространением.

Основным преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ увеличения добычи углеводородов посредством проведения в скважине гидравлического разрыва, который создает изотропную сеть трещин с достаточным поперечным распространением для добычи углеводородов с использованием несейсмического процесса.

Еще одним преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ увеличения добычи углеводородов посредством проведения в скважине гидравлического разрыва, который требует использования меньшего количества насосов по сравнению с традиционными способами гидравлического разрыва.

Еще одним преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ увеличения добычи углеводородов посредством проведения в скважине гидравлического разрыва, который может использовать любые доступные водные ресурсы, даже добытую воду из соседних традиционных или нетрадиционных скважин.

Еще одним преимуществом настоящего изобретения является то, что оно обеспечивает способ увеличения добычи углеводородов посредством проведения

в скважине гидравлического разрыва, который создает на интервале в скважине искусственную «зону максимального нефтегазонасыщения».

Можно выполнить модификации описанного в данном документе изобретения без отступления от его объема. Например, следует понимать, что некоторые фигуры показаны в идеализированной форме и что для интерпретации графиков может потребоваться субъективная оценка, чтобы определить скорость закачки, продолжительность закачки и период останова для последующих циклов закачки. Кроме того, в приведенном описании рассматривается заканчивание, при котором насосно-компрессорная труба цементируется в пласте, обеспечивая цементную оболочку, которая перфорируется для вскрытия пласта. Специалисту в данной области техники будет понятно, что существуют другие способы заканчивания, обеспечивающие альтернативные способы вскрытия пласта для сообщения с каналом эксплуатационной колонны. Для изоляции каждого интервала и каждой продуктивной зоны от соседних зон также могут быть установлены затрубные пакеры. Пласт может вскрываться с помощью полнопроходных задвижек или подвижных скользящих муфт для вскрытия участков с целевыми отверстиями эксплуатационного хвостовика (то есть, перфорированного хвостовика), чтобы обеспечить прохождение текучих сред между пластом на интервале и внутренним каналом эксплуатационной колонны.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ увеличения добычи углеводородов посредством гидравлического разрыва в скважине, имеющей по меньшей мере один перфорированный интервал, вскрывающий породу в пласте на некотором интервале, причем способ включает в себя этапы: закачки водной текучей среды в пласт с последующей закачкой в пласт водной текучей среды и расклинивающего наполнителя, отличающийся тем, что:
осуществляют множество циклов закачки водной текучей среды с последующей закачкой водной текучей среды и объема расклинивающего наполнителя в одном цикле, при этом каждый цикл заканчивается периодом останова;
объем расклинивающего наполнителя определяют измерением давления в скважине;
указанный процесс является несейсмическим, поскольку скорость закачки достаточно низкая, чтобы предотвратить ударное воздействие на пласт, и температура закачиваемой водной текучей среды достаточно низкая, чтобы вызвать разрыв при растяжении в породе и, таким образом, обеспечить сеть трещин с трещинами очень высокой проводимости и трещинами высокой проводимости с достаточным поперечным распространением для добычи углеводородов.
2. Способ по п. 1, в котором скорость закачки при закачивании водной текучей среды составляет менее 15 баррелей/мин (баррелей в минуту).
3. Способ по п. 2, в котором скорость закачки находится в диапазоне от 4 до 15 баррелей/мин.
4. Способ по п. 1 или п. 2, в котором в одном или более циклах скорость закачки составляет менее 2 баррелей/мин.
5. Способ по п. 4, в котором скорость закачки составляет менее 1 барреля/мин.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором скорость закачки изменяется в каждом цикле.
7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором температура водной текучей среды является достаточной для создания теплового напряжения, необходимого для образования новых трещин.
8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором водная текучая среда охлаждается перед закачкой.
9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором температура водной текучей среды ниже, чем температура пласта на интервале.
10. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором скорость закачки при закачивании водной текучей среды, продолжительность закачки, давление и продолжительность периода останова для каждого цикла определяются из анализа параметров трещин, рассчитанных по предыдущим циклам.
11. Способ по п. 10, в котором параметры трещин выбираются из группы, включающей один или более из: объема трещин очень высокой проводимости, поперечного распространения трещин очень высокой проводимости, поверхности трещин очень высокой проводимости и оценки глобальной формы сети трещин.
12. Способ по п. 11, в котором все параметры трещин рассчитываются после каждого цикла закачки водной текучей среды.
13. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором давление в скважине измеряется с помощью скважинного манометра, расположенного в скважине, и в котором скважинный манометр имеет скорость сбора данных не менее 1 Гц.
14. Способ по п. 13, в котором скорость сбора данных составляет от 1 до 10 Гц.
15. Способ по п. 13, в котором скорость сбора данных составляет от 10 до 100 Гц.

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором скорость закачки при останове снижается поэтапно.

17. Способ по п. 16, в котором скорость закачки на конечном этапе перед конечным остановом составляет менее 2 баррелей/мин.

18. Способ по п. 16, в котором каждый этап завершается в течение периода времени примерно от 1 до 5 минут.

19. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором в начале каждого цикла скорость закачки водной текучей среды составляет менее 2 баррелей/мин.

20. Способ по п. 19, в котором скорость закачки водной текучей среды находится в диапазоне от 0,5 до 2 баррелей/мин.

21. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором объем расклинивающего наполнителя определяется из расчета объема трещин очень высокой проводимости.

22. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором водной текучей средой является вода.

23. Способ по п. 22, в котором водной текучей средой является добытая вода из другой скважины.

24. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором способ включает этапы закупоривания интервала, перфорирования и возбуждения последующих интервалов вдоль ствола скважины с использованием циклических этапов закачки по любому из предшествующих пунктов, вскрытие скважины, обратную добычу водной текучей среды и добычу углеводородов.

25. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором способ выполняется на интервалах, которые ранее были возбуждены гидравлическим разрывом.

1/6

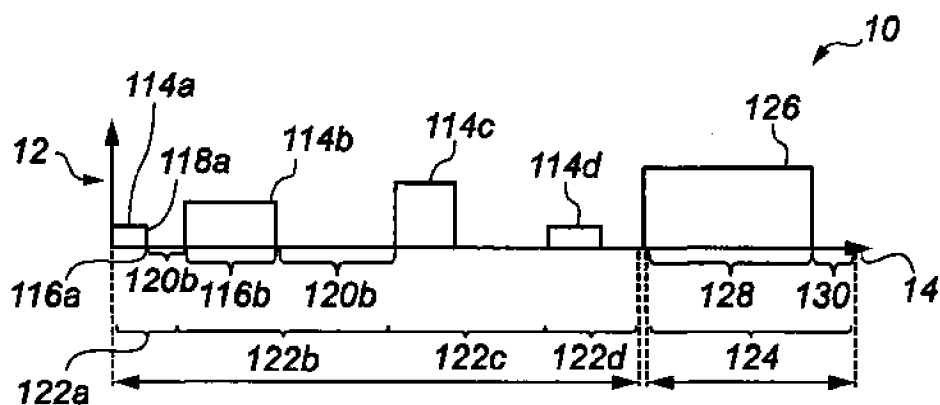
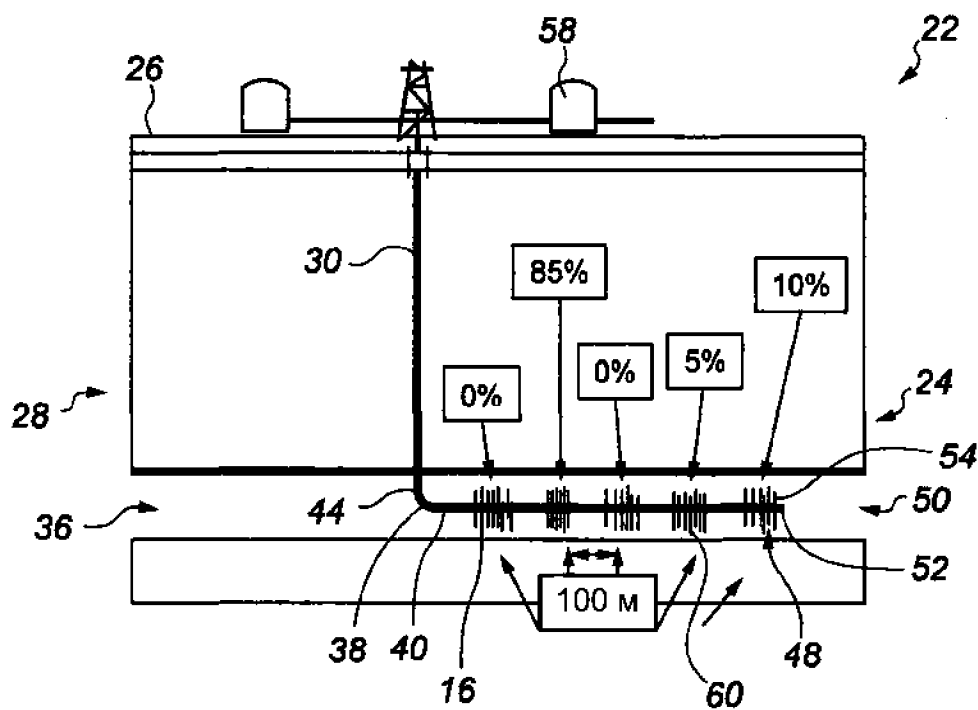
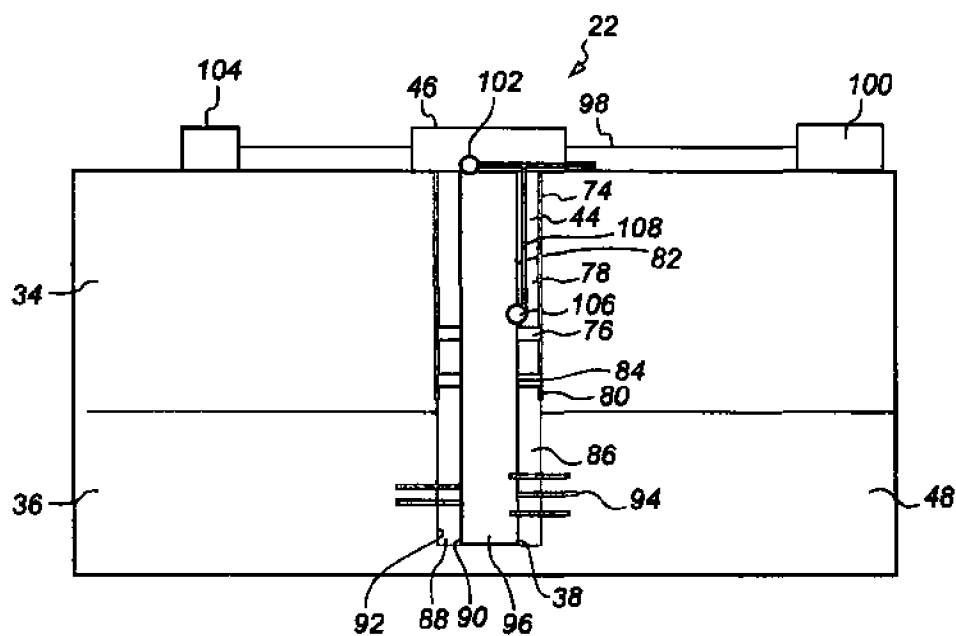


Fig. 1

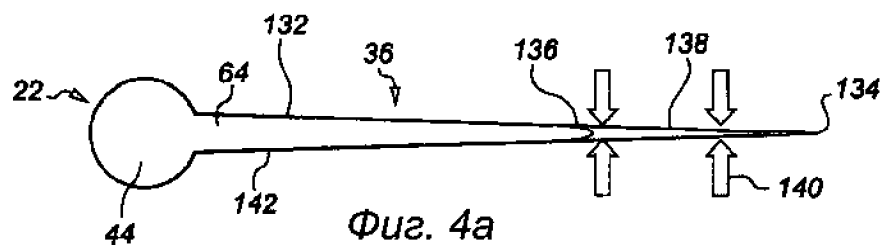


Фиг. 2

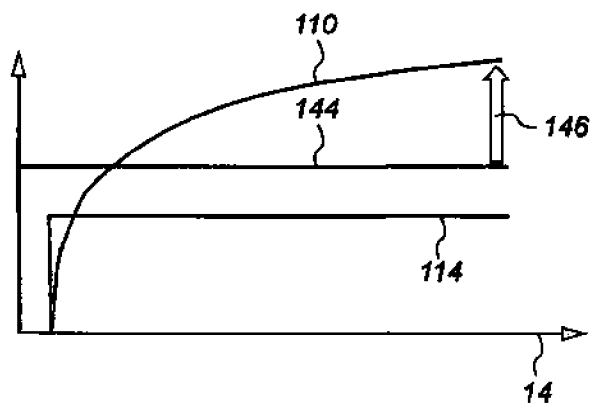
2/6



Фиг. 3

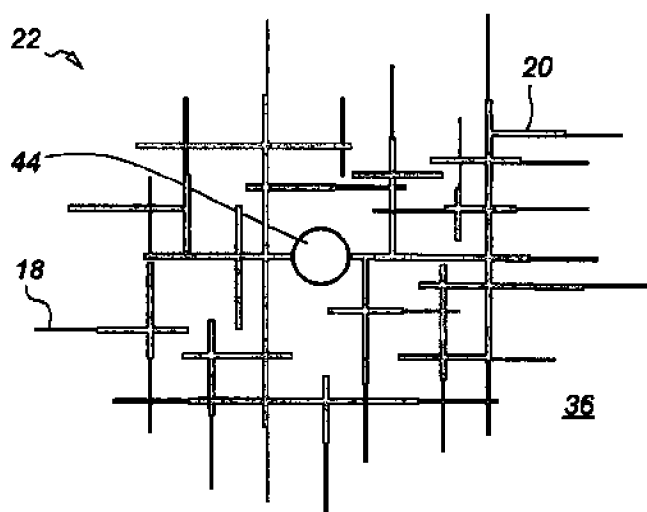
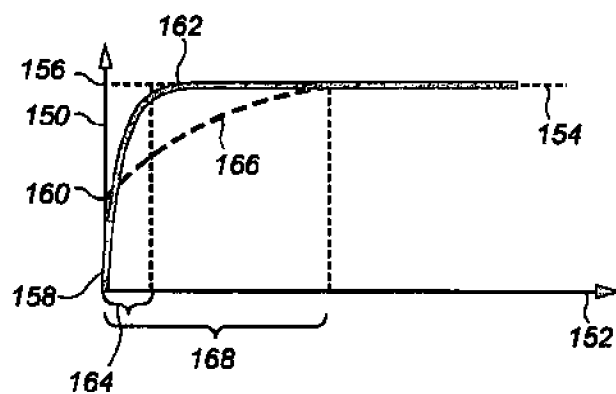
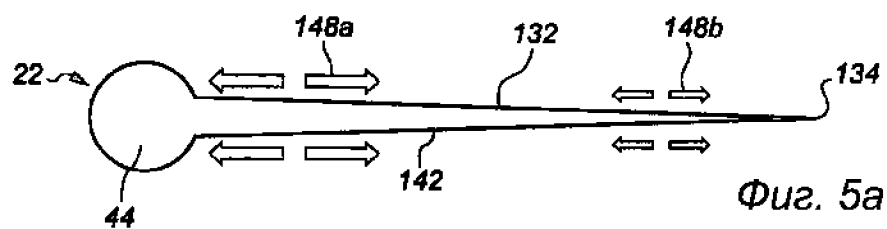


Фиг. 4a

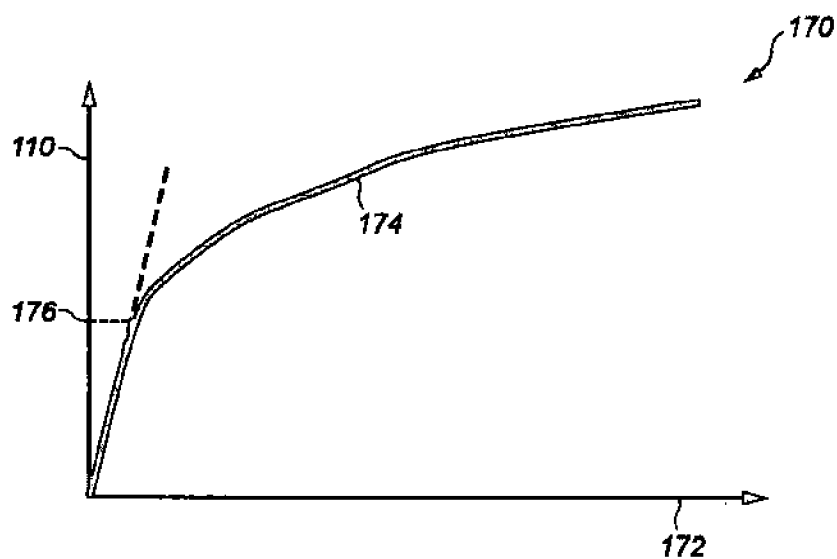


Фиг. 4b

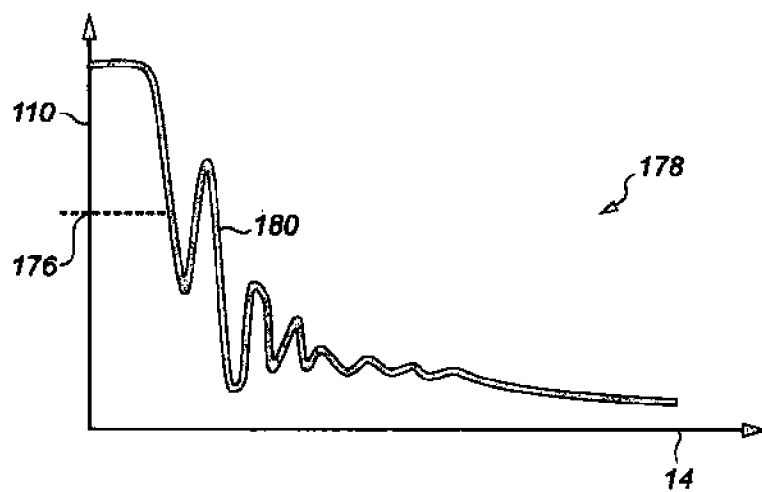
3/6



4/6

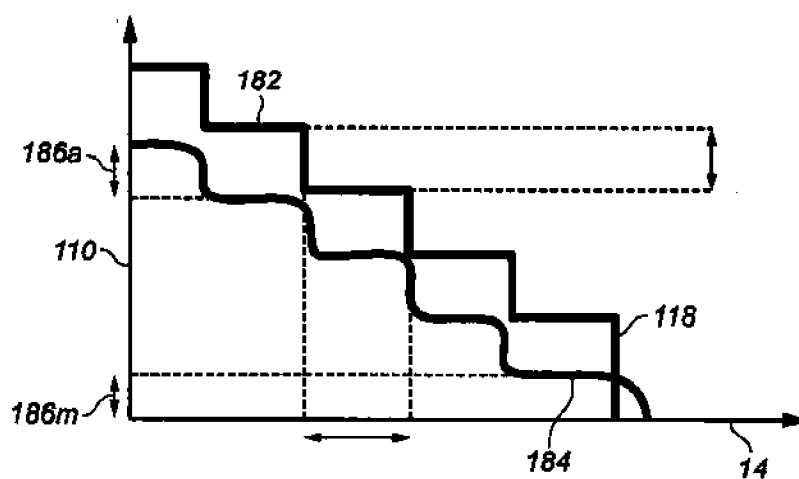


Фиг. 7

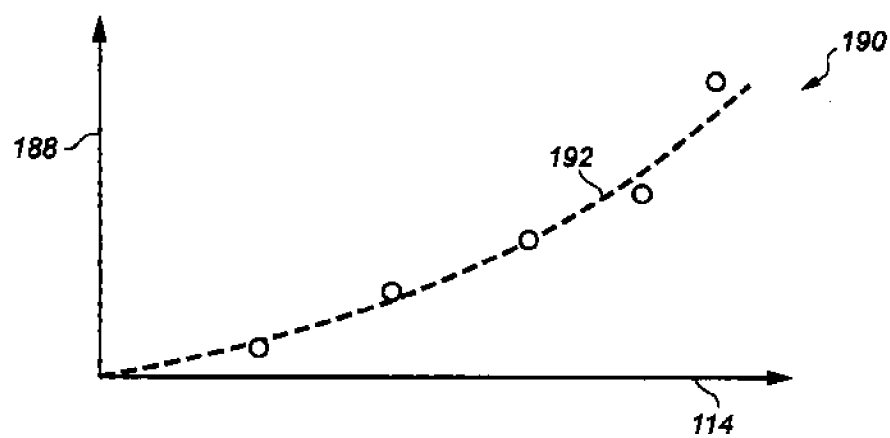


Фиг. 8

5/6

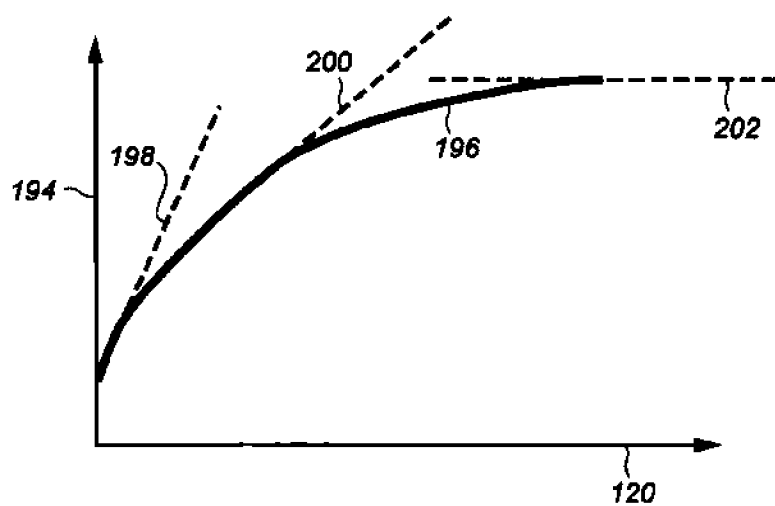


Фиг. 9



Фиг. 10

6/6



Фиг. 11