

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 042421

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.02.13

(21) Номер заявки
202091981

(22) Дата подачи заявки
2019.03.11

(51) Int. Cl. *E21B 34/08* (2006.01)
E21B 43/12 (2006.01)
G05D 7/01 (2006.01)

(54) РЕГУЛЯТОР ПОТОКА И СООТВЕТСТВУЮЩИЙ СПОСОБ

(31) 18161256.5

(32) 2018.03.12

(33) EP

(43) 2021.02.25

(86) PCT/EP2019/055959

(87) WO 2019/175078 2019.09.19

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

(72) Изобретатель:
Матисен Видар, Окре Ховард,
Версвик Бьёрнар (NO)

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

(56) WO-A2-2013139601
US-B1-9556706
US-A1-2015034323
US-A1-2015060084
WO-A1-2016033459
US-A-3809111

(57) В изобретении предложен регулятор потока для осуществления управляемой передачи текучей среды между наружным резервуаром и базовой трубой, составляющей часть эксплуатационной колонны, и способ, в котором используется такой регулятор потока. Регулятор потока содержит первичный канал, расположенный внутри корпуса регулятора, вторичный канал и подвижный клапанный элемент, расположенный около и/или внутри первичного канала. Впускное отверстие вторичного канала расположено отдельно от впускного отверстия первичного канала.

042421

B1

042421

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к управлению протеканием текучей среды, поступающей в трубопровод. Точнее, изобретение относится к регулятору потока текучей среды, а также к подводной эксплуатационной колонне и способу, который используется в указанном регуляторе потока текучей среды. Изобретение полезно при управлении потоком текучих сред из подземного резервуара углеводородов в эксплуатационные колонны.

Предшествующий уровень техники

Скважина для добычи углеводородов из подземного резервуара может проходить через резервуар во множестве ориентации. Традиционно доступ к резервуару осуществляют путем бурения вертикальных скважин. Это простая и прямолинейная технология, которая, однако, обеспечивает ограниченный контакт с резервуаром, приходящийся на одну скважину. Поэтому, чтобы получить доступ к большей части резервуара, приходящийся на одну скважину, была разработана технология и устройства для бурения горизонтальных скважин, т.е. с поворотом скважины от вертикального к горизонтальному направлению на заданной глубине под поверхностью. Так называемые многоствольные скважины обеспечивают еще больший доступ и контакт с резервуаром.

Основная проблема при добыче углеводородов из подземных резервуаров - это увеличение способности извлечения нефти, которая находится в резервуаре. В настоящее время фактически извлекается и добывается только часть нефти из заданного резервуара, прежде чем месторождение закрывается. Таким образом существуют мощные стимулирующие факторы для развития новой технологии в целях увеличения добычи и извлечения нефти.

Два фактора имеют особую важность для увеличения производительности и степени извлечения нефти из резервуара:

- обеспечение максимального контакта с резервуаром и
- предотвращение негативных эффектов проникновения/прорыва газа и/или воды (что обычно называют "образованием конуса обводнения").

Контакта с резервуаром обычно достигают путем бурения некоторого количества горизонтальных и/или многоствольных скважин. Негативные эффекты обводнения обычно ослабляют посредством так называемых регуляторов притока (РП или ICD, от англ. Inflow Control Device), размещаемых в стенке эксплуатационной колонны. В типичном случае эксплуатационная колонна в горизонтальной скважине содержит множество РП, расположенных на равных интервалах вдоль всей длины колонны. Регуляторы притока служат в качестве впускных портов для нефти, поступающей из резервуара (обычно через кольцевую область между эксплуатационной колонной и пластом, в котором пробурена скважина) в эксплуатационную колонну, и являются портами с постоянной площадью сечения потока.

Так называемые автономные регуляторы притока (АРП или AICD, от англ. Autonomous Inflow Control Device) содержат один или более клапанных элементов и обычно открыты, когда нефть проходит через устройство, но перекрывают поток в тот момент и в том месте, когда и где в устройство поступает вода и/или газ. Кольцевая область между эксплуатационной колонной и обсадной трубой обычно разделена на зоны посредством кольцевых пакеров, известных в данной области техники. В каждую зону затем устанавливают один или более РП или АРП.

В данной области техники известно множество РП. Примеры РП и АРП можно найти в патентных публикациях US 5435393 (Brekke, et al.), US 7857050 B2 (Zazovsky, et al.), US 7823645 B2 (Henriksen, et al.), US 2008/0041580 A1 (Freyer, et al.), WO 2008/004875 A1 (Aakre, et al.), US 2011/006878 A1 (Aadnoy), US 2008/0041582 A1 (Saetre, et al.), US 2011/0198097 A1 (Moen), US 2011/0308806 A9 (Dykstra, et al.), US 7918196 B2 (Baker Hughes Inc), US 2009/0283275 A1 (Baker Hughes Inc), US 7819196 B2 (Norsk Hydro ASA) и US 9556796 B1 (Floway Inc.). В последней публикации раскрыт АРП, обеспечивающий возможность регулирования потока добываемых текучих сред из множества продуктивных горизонтов без необходимости, среди прочего, в смещающих устройствах.

Вышеприведенным патентным публикациям свойственен один или более следующих недостатков:

- блокировка выдачи продукта имеет место также и для нефти, что может приводить к значительным потерям добычи (баррелей/сутки) в начальной фазе эксплуатации скважины;

- не происходит ни блокировки, ни запираания нежелательных фаз (газа/воды) в момент их прорыва;

- нежелательные фазы (газ/вода) останавливают втекающий поток, блокируя его до некоторой степени, но не доходя до полной блокировки, или до степени, близкой к полной блокировке;

- не проявляются реверсивные свойства, то есть способность автономно снова открывать клапан, который был закрыт в силу поступления нежелательных фаз в момент, когда нефть снова начинает втекать в скважину;

- трудность управления открыванием/запираанием;

- высокое сопротивление потоку в первичном потоке при пропуске полезных фаз;

- неспособность удовлетворительно справиться с жесткими условиями в скважине (высоким давлением и температурой, обрастанием и т.п.)

Автономный регулятор притока (АРП), который соответствует существующему уровню техники и в котором преодолены все из вышеупомянутых недостатков, раскрыт в международной заявке

2013/139601 А2, содержание которой включено в настоящее изобретение посредством ссылки. Указанный АРП содержит первичный канал текучей среды и вторичный канал текучей среды, выполненный с возможностью сообщения по текучей среде с первичным каналом текучей среды. Вторичный канал текучей среды дополнительно содержит два ограничителя потока текучей среды, которые служат соответственно в качестве впускного отверстия и выпускного отверстия из камеры. Указанные два ограничителя потока выполнены с возможностью формирования различных характеристик потока текучей среды.

Однако у АРП, раскрытого в WO 2013/139601 А2, есть ряд недостатков. Вторичный канал текучей среды находится в сообщении по текучей среде с первичным каналом текучей среды. Для такой схемы необходимо, чтобы в корпусе было предусмотрено дополнительное пространство, что приводит к увеличению осевой длины АРП. Такая схема также затрудняет размещение фильтров на впуске текучей среды, чтобы предотвратить засорение во время работы. Такое засорение представляет собой хорошо известную проблему в данной области техники. Формирование ламинарного потока путем введения ограничителя потока текучей среды, например, из пористого материала, также требует сложной конструкции, при этом отсутствует или почти отсутствует возможность адаптации к изменяющейся вязкости текучей среды. Кроме того, пористые материалы обычно обладают малыми отверстиями, и тем самым создается высокий риск засорения мелкими частицами,

Сущность изобретения

Задача настоящего изобретения заключается в преодолении недостатков вышеуказанных решений известного уровня техники и получении дополнительных преимуществ.

Изобретение изложено и охарактеризовано в независимых пунктах формулы, в то время как в зависимых пунктах формулы изобретения описаны другие его характеристики.

Таким образом, предложен регулятор потока текучей среды (далее-регулятор потока), пригодный для управляемой передачи потока (F) текучей среды между внешним резервуаром текучей среды и базовой трубой, которая образует часть эксплуатационной колонны.

Регулятор потока содержит первичный канал, расположенный внутри корпуса регулятора потока. Первичный канал содержит впускное отверстие первичного канала, выполненное с возможностью направления первичного потока (F_0) текучей среды, составляющего часть потока (F) текучей среды, по меньшей мере, частично аксиально в корпус регулятора потока из внешнего резервуара текучей среды во время работы, и выпускное отверстие первичного канала, выполненное с возможностью направления первичного потока (F_0) текучей среды в базовую трубу во время работы.

Регулятор потока также содержит вторичный канал и подвижный клапанный элемент, расположенный внутри корпуса регулятора потока около и/или внутри первичного канала.

Вторичный канал содержит по меньшей мере один первый ограничитель потока текучей среды (далее - первый ограничитель потока), выполненный с возможностью понижения давления от давления p_1 выше по потоку от первого ограничителя потока до давления p_2 ниже по потоку от первого ограничителя потока; по меньшей мере один второй ограничитель потока текучей среды (далее - второй ограничитель потока), расположенный ниже по потоку от первого ограничителя потока, выполненный с возможностью понижения давления от давления p_2 выше по потоку от второго ограничителя потока до давления p_3 ниже по потоку от второго ограничителя потока; и камеру (B), расположенную ниже по потоку от первого ограничителя потока и выше по потоку от второго ограничителя потока.

Подвижный клапанный элемент выполнен с возможностью, по меньшей мере, частичного, а предпочтительно полного, запираения первичного канала для прохождения первичного потока (F_0) текучей среды, когда клапанный элемент подвержен действию усилия давления из камеры (B), превышающего пороговое усилие давления.

Вторичный канал содержит впускное отверстие вторичного канала, которое расположено внутри корпуса регулятора потока и предпочтительно смещено в радиальном направлении от первичного канала на его входе в корпус. Таким образом, впускное отверстие вторичного канала выполнено с возможностью направления вторичного потока (f) текучей среды, составляющего оставшуюся часть потока (F) текучей среды, из резервуара текучей среды в корпус регулятора потока.

Если вторичный канал радиально смещен от первичного канала на входе в корпус регулятора потока, то поток (F) текучей среды из внешнего резервуара текучей среды при работе разделяется на первичный поток (F_0) текучей среды, поступающий в корпус через первичный канал, и вторичный поток (f) текучей среды, поступающий в корпус через вторичный канал.

Когда поток (F) текучей среды состоит только из первичного потока (F_0) и вторичного потока (f), первичный поток (F_0) составляет основную (большую) часть потока (F) в единицу времени, например более 90 или более 95% потока (F).

Осевое (аксиальное) и радиальное направления определяются, соответственно, как направления, соответственно перпендикулярное и параллельное продольному направлению базовой трубы, т.е. главному направлению потока текучей среды в базовой трубе.

Согласно предпочтительному примеру впускное отверстие вторичного канала ориентировано так, что во время работы регулятора потока вторичный поток (f) втекает в корпус регулятора потока аксиально или почти аксиально. Почти аксиально означает, что может быть отклонение направления потока от

осевого направления, например отклонение максимум 20° от оси.

Согласно другому подходящему примеру первый ограничитель потока выполнен с возможностью формирования ламинарного или почти ламинарного потока, или же турбулентного или почти турбулентного потока, в то время как второй ограничитель потока выполнен с возможностью формирования либо турбулентного потока, либо ламинарного потока с характеристиками, которые отличаются от характеристик потока, формируемого первым ограничителем потока. Ламинарным потоком здесь считается протекание параллельными слоями при отсутствии разрывов между слоями или с незначительными разрывами. Турбулентным потоком считается поток, который подвержен нерегулярным флуктуациям или перемешиванию, т.е. когда скорость текучей среды в точке непрерывно испытывает изменения по величине и по направлению.

Согласно еще одному подходящему примеру регулятор потока содержит впускную втулку, расположенную аксиально внутри корпуса регулятора потока для направления проходящего сквозь втулку первичного потока (F_0), и первый кольцеобразный диск, расположенный аксиально под впускным отверстием вторичного канала так, что его центральное отверстие окружает впускную втулку. Впускная втулка и первый кольцеобразный диск могут быть отдельными деталями или могут образовывать единую деталь.

Первый кольцеобразный диск может содержать аксиально или почти аксиально направленный первый запирающий край, проходящий по окружности внутреннего центрального отверстия первого кольцеобразного диска.

Указанный диск может также содержать аксиально или почти аксиально направленный второй запирающий край, проходящий по внешней окружности первого кольцеобразного диска, и содержит по меньшей мере одно отверстие, выполненное с возможностью направления вторичного потока (f), проходящего через впускное отверстие вторичного канала, в ограничитель потока во время работы.

Чтобы между первичным каналом и вторичным каналом отсутствовали утечки или утечки были незначительными, между впускной втулкой и первым кольцеобразным диском установлены одно или более втулочных уплотнений.

Термин "под" означает осевое положение относительно компонентов регулятора потока, расположенных около или вблизи впускных отверстий для первичного и вторичного потоков (F_0 , f), например, относительно впускной втулки или впускного фильтра.

Согласно еще одному предпочтительному примеру осуществления регулятор потока дополнительно содержит фильтр, расположенный во впускном отверстии вторичного канала, для предотвращения (или, по меньшей мере, значительного сокращения) прохождения твердых частиц, содержащихся в потоке (F), во вторичный канал, и одновременно дающий возможность первичному потоку (F_0) проходить нефильтрованным через впускное отверстие первичного канала во время работы. Данная конкретная схема дает дополнительное преимущество, заключающееся в том, что фильтр становится самоочищающимся в силу того, что первичный поток движется перпендикулярно к фильтру, прежде чем войти в корпус. Фильтр может содержать по меньшей мере один выступ, который выступает радиально наружу от внешней окружности фильтра, и по меньшей мере один внутренний выступ, который выступает радиально внутрь от внутренней окружности фильтра. Указанные выступы на фильтре обеспечивают эффект фиксации относительно корпуса и первого кольцеобразного диска соответственно.

Согласно еще одному предпочтительному примеру осуществления первый или второй ограничитель потока представляет собой трубу длиной L и средним гидравлическим диаметром $\langle D_L \rangle$, усредненным по длине L , причем длина L и средний гидравлический диаметр $\langle D_L \rangle$ выбраны так, чтобы получить ламинарный поток на выходе из одного из указанных первого и второго ограничителей потока. Например, длина L и средний гидравлический диаметр $\langle D_L \rangle$ выбраны так, чтобы получить отношение длины L к среднему гидравлическому диаметру $\langle D_L \rangle$, т.е. $L/\langle D_L \rangle$, которое для потока текучей среды обеспечивает число Рейнольдса (RE), которое равно или меньше 4000, предпочтительно меньше 3500, более предпочтительно меньше 3000, а оптимально меньше 2500.

Число Рейнольдса определяется как

$$RE = \langle D_L \rangle \left(\frac{Q}{\langle A_L \rangle} \cdot \frac{\rho}{\mu} \right)$$

где

Q - величина объемного расхода ($\text{м}^3/\text{с}$);

$\langle A_L \rangle$ - средняя площадь смачиваемого поперечного сечения по длине L (м^2);

$\langle D_L \rangle$ - средний гидравлический диаметр на длине L (м);

ρ - плотность текучей среды ($\text{кг}/\text{м}^3$) и

μ - динамическая вязкость текучей среды ($\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}$).

Согласно еще одному предпочтительному варианту осуществления изобретения первый ограничитель потока содержит внутренний выпускной канал, расположенный внутри корпуса регулятора потока, который по текучей среде связан с впускным отверстием вторичного канала, наружную трубу длины L^* , расположенную снаружи корпуса регулятора потока, которая по текучей среде связана с внутренним

выпускным каналом, и внутренний возвратный канал, расположенный внутри корпуса регулятора потока, который по текучей среде связан с наружной трубой. Участок наружной трубы может быть выполнен в виде спирали, например, многократно обернутой вокруг базовой трубы эксплуатационной колонны.

Согласно другому предпочтительному варианту осуществления изобретения вторичный канал содержит выпускное отверстие вторичного канала. Кроме того, более 70% длины вторичного канала от выпускного отверстия вторичного канала до выпускного отверстия вторичного канала могут быть расположены снаружи корпуса регулятора потока, более предпочтительно более 80% длины, а еще более предпочтительно более 90% указанной длины. В ином или дополнительном варианте конструкции и выпускное отверстие (выпускные отверстия) вторичного канала и второй ограничитель (вторые ограничители) потока расположены снаружи корпуса и в то же время сообщаются по текучей среде с давлением p_2 в камере В корпуса. В данном альтернативном или дополнительном варианте конструкции поток, выходящий из второго ограничителя (вторых ограничителей) потока, тогда поступал бы в базовую трубу при давлении p_3 .

Согласно еще одному предпочтительному варианту осуществления изобретения подвижный клапанный элемент содержит нижний диск, у которого имеется поверхность, обращенная к камере В, и верхний диск, одна поверхность которого опирается на нижний диск, а другая поверхность обращена к выпускному отверстию первичного канала. Диаметр верхнего диска может быть меньше, чем диаметр нижнего диска. Кроме того, осевой переход между нижним диском и верхним диском может быть плавным, чтобы исключить чрезмерное сопротивление первичному потоку (F_0), вызванное острыми кромками, выступами и т.п. Диаметр верхнего диска предпочтительно может быть, по меньшей мере, равным минимальному радиальному размеру выпускного отверстия для первичного потока. Кроме того, участок нижнего диска между верхним диском и внешней окружностью нижнего диска может быть плоским в радиальном направлении корпуса регулятора потока. Кроме дополнительного обеспечения первичному потоку беспрепятственного движения плоская конфигурация также способствует минимизации осевого размера (t_{AICD}) корпуса регулятора потока.

Согласно другому предпочтительному варианту осуществления изобретения регулятор потока дополнительно содержит второй кольцеобразный диск, расположенный так, что его центральное отверстие окружает внешнюю окружность подвижного клапанного элемента.

Второй кольцеобразный диск может содержать аксиально направленный край, проходящий вдоль внешней окружности второго кольцеобразного диска, выполненный с возможностью создания фиксированного осевого расстояния между радиально проходящей поверхностью второго кольцеобразного диска, обращенной к выпускному отверстию первичного канала, и внутренней стенкой корпуса регулятора потока. Указанный аксиально направленный край содержит по меньшей мере одно отверстие, выполненное с возможностью направления первичного потока (F_0), проходящего через выпускное отверстие первичного канала, от подвижного клапанного элемента к выпускному отверстию первичного канала.

Согласно другому предпочтительному варианту осуществления изобретения регулятор потока дополнительно содержит упругий элемент, расположенный аксиально под поверхностью подвижного клапанного элемента, обращенной в сторону, противоположную выпускному отверстию первичного канала. Часть упругого элемента предпочтительно прикреплена к внутренним стенкам корпуса регулятора потока, так что подвижный клапанный элемент находится в осевом положении, когда он не подвержен действию усилия давления, существующего в камере В, что гарантирует поток текучей среды между выпускным отверстием первичного канала и выпускным отверстием первичного канала.

Согласно еще одному предпочтительному варианту осуществления изобретения первый ограничитель потока содержит многовходовую трубку, расположенную в соединении по текучей среде ниже по потоку от выпускного отверстия вторичного канала, при этом указанная многовходовая трубка содержит по меньшей мере два радиально разнесенных выпускных отверстия, например, содержит первое и второе выпускные отверстия, которые расположены по диагонали относительно друг друга вокруг выпускного отверстия первичного канала. По форме многовходовая трубка может представлять собой дугу, которая частично окружает выпускное отверстие первичного канала.

Согласно другому предпочтительному варианту осуществления изобретения первый ограничитель потока содержит многовходовую трубку, расположенную внутри корпуса регулятора потока и в соединении по текучей среде с выпускным отверстием вторичного канала, внутренний выпускной канал, расположенный внутри корпуса регулятора потока и в соединении по текучей среде с многовходовой трубкой, наружную трубу длины L^* , по меньшей мере, частично расположенную снаружи корпуса регулятора потока и в соединении по текучей среде с внутренним выпускным каналом, и внутренний возвратный канал, расположенный внутри корпуса регулятора потока и в соединении по текучей среде с наружной трубой. Указанная многовходовая трубка содержит по меньшей мере два радиально разнесенных выпускных отверстия, которые, к примеру, расположены диагонально, или почти диагонально, вокруг выпускного отверстия первичного канала. Участок наружной трубы может быть выполнен в виде спирали, чтобы получить длинный первый ограничитель потока, который занимает минимальное пространство.

Изобретение также относится к эксплуатационной колонне, пригодной для транспортировки угле-

водородов. Эксплуатационная колонна содержит базовую трубу, оболочку, расположенную у наружной стенки базовой трубы и содержащую по меньшей мере одно впускное отверстие оболочки, и регулятор потока, соответствующий любым из вышеприведенных признаков.

Регулятор потока расположен в сквозном отверстии в стенке базовой трубы внутри оболочки, так что может быть получено управляемое соединение по текучей среде между оболочкой и внутренним пространством базовой трубы. Согласно предпочтительному варианту осуществления осуществление связи по текучей среде (передача текучей среды) происходит через одно впускное отверстие первичного канала, и в базовую трубу через множество выпускных отверстий первичного канала.

Кроме того, оболочка выполнена с возможностью обеспечения впускной камеры, которая охватывает по меньшей мере одно впускное отверстие оболочки, а также охватывает впускное отверстие первичного канала и впускное отверстие вторичного канала регулятора потока.

Согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения первый или второй из ограничителей потока содержит трубу длиной L и средним гидравлическим диаметром $\langle D_L \rangle$, усредненным по длине L , к примеру, трубу с постоянным диаметром D . По меньшей мере часть указанной трубы ограничителя потока обернута в виде спирали предпочтительно по меньшей мере на 50% вокруг внешней окружности базовой трубы, более предпочтительно по меньшей мере на 80% вокруг внешней окружности, а еще более предпочтительно по меньшей мере один раз вокруг всей окружности или более предпочтительно по меньшей мере дважды вокруг всей окружности базовой трубы.

Наконец, изобретение относится к способу управления потоком (F) текучей среды, основанному на изменениях свойств текучей среды. В способе используется регулятор потока, соответствующий любым из вышеприведенных признаков, причем способ содержит этапы, на которых

направляют первичный поток (F_0) текучей среды, составляющий большую часть потока (F), через первичный канал в корпусе регулятора потока; и

направляют вторичный поток (f) текучей среды через вторичный канал, причем вторичный поток (f) составляет меньшую часть потока (F), когда регулятор потока находится в открытом положении, то есть при положении клапанного элемента относительно корпуса, которое позволяет осуществлять связь по текучей среде между впускным отверстием (впускными отверстиями) первичного канала и выпускным отверстием (выпускными отверстиями) первичного канала. Меньшая часть потока может в типичном случае составлять менее 10% первичного потока (F_0), когда регулятор потока находится в полностью открытом положении, а лучше даже менее 5% первичного потока.

Большая часть длины вторичного канала в предпочтительном случае может проходить снаружи корпуса регулятора потока.

Соответствующий изобретению регулятор потока препятствует поступлению нежелательных текучих сред (например, воды, газа, пара и CO_2) в поток полезной текучей среды (например, нефти), являясь при этом прочным, компактным и полностью автономным. Регулятор потока является реверсивным в том смысле, что клапан регулятора потока изменяет свое положение, когда изменяется свойство (например, вязкость) текучей среды. То есть, например, регулятор потока запирается, когда вязкость текучей среды уменьшается (например, появляется вода или газ), и снова открывается, когда вязкость увеличивается (т.е. появляется нефть).

Есть значительный экономический выигрыш в том, чтобы не глушить добычу из исходного нефтяного резервуара, а увеличить производительность за счет эффективного запираания нежелательных фаз текучей среды таких как воды и/или газа. Прогнозируемое увеличение добычи и извлечения из скважины, которое должно зависеть от свойств резервуара и текучей среды, должно составить по меньшей мере 10%. Затраты на изготовление соответствующего изобретению клапана близки к незначительным по сравнению с потенциальным выигрышем, связанным с увеличением добычи нефти.

Кроме того, тонкая/компактная конструкция соответствующего изобретению регулятора потока позволяет избежать излишнего выступания внутрь базовой трубы или наружу из базовой трубы эксплуатационной колонны. Это значительное преимущество по сравнению со всеми известными вышеупомянутыми АРП.

Регулятор потока, сильно выступающий из базовой трубы, создавал бы трудности для нефтедобывающих и газодобывающих компаний при использовании стандартных базовых труб и стволов скважин, которые применяются в настоящее время. С точки зрения как финансовых затрат, так и технических задач обычно нежелательны никакие изменения в хорошо зарекомендовавших себя конструкциях. Например, увеличение размера ствола скважины приводило бы к увеличению затрат, а бурение меньшим диаметром приводило бы к увеличению потерь давления в базовой трубе (скважине).

Аналогично, следует избегать или уменьшать выступание внутрь базовой трубы. Одна проблема выступания внутрь базовой трубы связана с тем фактом, что измерения или вмешательство в скважину следует выполнять там, где в базовые трубы/колонну введены трубы/оборудование небольшого размера. Любое выступание, такое как выступание регулятора потока, делало бы такие операции затруднительными или даже невозможными.

Перечень фигур

Упомянутые выше и иные характеристики изобретения будут понятны из последующего описания

вариантов его осуществления, которые приведены в виде примеров, которые не носят ограничительного характера, со ссылками на прилагаемые эскизы и чертежи, среди которых

фиг. 1 изображает принцип, который лежит в основе изобретения,

фиг. 2 изображает связь между изменением давления в камере (т.е. между ограничителями потока) и изменением вязкости текучей среды,

фиг. 3А и 3В схематически изображают два различных варианта осуществления изобретения, причем вариант на фиг. 3А содержит одно отверстие для выпуска текучей среды, а фиг. 3В содержит два отверстия для выпуска текучей среды,

фиг. 4А и 4В изображают соответствующий изобретению регулятор потока, установленный в эксплуатационной колонне, причем фиг. 4А иллюстрирует взаимодействие эксплуатационной колонны с регулятором потока, а фиг. 4В иллюстрирует установленный регулятор потока в более подробном виде,

фиг. 5 изображает соответствующий изобретению регулятор потока, демонстрируя длину змеевика, работающего в качестве ограничителя потока, в сравнении с размером корпуса регулятора потока,

фиг. 6 более подробно изображает корпус регулятора потока, соответствующего фиг. 5,

фиг. 7 изображает соответствующий изобретению регулятор потока на разнесенном покомпонентном виде,

фиг. 8А и 8В на двух видах в аксонометрии изображают разрез соответствующего изобретению регулятора потока,

фиг. 9 изображает соответствующий изобретению регулятор потока в базовой трубе в наклонном положении относительно границы раздела текучих сред "низкой вязкости-высокой вязкости" внутри резервуара,

фиг. 10 изображает регулятор потока, содержащий многовходовый канал, расположенный во вторичном канале, на разнесенном покомпонентном виде и

фиг. 11А-11С изображают результаты измерений, показывающие эффективность способности записывания и открывания при прохождении текучей среды с высокой вязкостью, такой как нефть, и текучей среды с низкой вязкостью, такой как газ и/или вода, причем фиг. 11А в разрезе изображает регулятор потока с усилиями и давлениями, которые преобладают во время работы; фиг. 11В изображает график зависимости результирующих усилий записывания и открывания от разности давлений на поршне регулятора потока; а фиг. 11С изображает график отношения разности давлений на первом ограничителе потока к разности давлений на втором ограничителе потока во вторичном канале.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

На фиг. 1 изображены потоки F , f текучей среды через впускное отверстие 1 в трубопровод 2 при первом давлении p_1 , далее через первый ограничитель 3 потока в камеру В, где текучая среда достигает второго давления p_2 , а затем проходит через второй ограничитель 4 потока, прежде чем среда выйдет из трубопровода 2 через выпускное отверстие 5 при третьем давлении p_3 . Когда скорость потока (расход) текучей среды и свойства текучей среды (например, вязкость, плотность) поддерживаются постоянными, давления (p_1 , p_2 , p_3) также постоянны, причем $p_1 > p_2 > p_3$.

На фиг. 1 первый ограничитель 3 потока представляет собой змеевик, а второй ограничитель 4 потока представляет собой диафрагму. Змеевик может иметь поперечное сечение любой формы: круглой, прямоугольной, треугольной и т.п.

В общем, потеря давления из-за вязкости в цилиндрической трубе длиной L с постоянным диаметром D пропорциональна длине L и может характеризоваться уравнением Дарси-Вейсбаха (Darcy-Weisbach):

$$\Delta P = \frac{f_D \cdot \rho \cdot \langle v \rangle^2}{2} \cdot \frac{L}{D_L} \quad (\text{Уравнение 1})$$

где ρ - плотность текучей среды (кг/м^3);

D_L - гидравлический диаметр трубы (для трубы круглого сечения этот диаметр равен внутреннему диаметру трубы (м));

$\langle v \rangle$ - средняя скорость потока, измеренная экспериментально, как объемный расход Q , приходящийся на единицу смачиваемой площади поперечного сечения (м/с);

f_D - коэффициент трения Дарси (также называется коэффициентом расхода λ);

L - длина цилиндрической трубы (м).

Следовательно, в соответствии с уравнением Дарси-Вейсбаха (уравнение 1) большое соотношение L/D соответствует большому падению давления ΔP (с p_1 до p_2 на фиг. 1А), когда поток F , f текучей среды проходит по трубопроводу 2.

При ламинарном режиме уравнение 1 можно переписать в виде

$$\Delta P = \frac{128 \cdot Q}{\pi} \cdot \mu \cdot \frac{L}{D^4} \quad (\text{Уравнение 2})$$

Таким образом, в условиях ламинарного потока или условиях, близких к ламинарному потоку, изменение давления (ΔP) на змеевике пропорционально вязкости (μ) текучей среды, а также отношению L/D^4 .

Ламинарный поток достигается при числе Рейнольдса (RE) меньше 4000. Поскольку $RE = \langle v \rangle \cdot D \cdot \rho / \mu$ для потока текучей среды в трубе диаметром D, то такой ламинарный поток можно обеспечить, регулируя, например, диаметр D и/или скорость $\langle v \rangle$ потока. Из уравнения 2 понятно, что, если ΔP постоянно, то Q (объемный расход) будет уменьшаться при увеличении длины (L) трубы, а также в результате уменьшения скорости $\langle v \rangle$. Поэтому змеевик с достаточной длиной (L) трубы сформировал бы ламинарный поток или поток, близкий к ламинарному.

Характеристики потока текучей среды, проходящей через диафрагму, могут быть выражены следующим уравнением:

$$\Delta P = K_{\text{orifice}} \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (\text{Уравнение 3})$$

где ΔP - перепад давления на диафрагме (типичная единица: Па);

K_{orifice} - собственный коэффициент диафрагмы (безразмерный);

ρ - плотность текучей среды (единица массы, приходящаяся на единицу объема);

V - скорость текучей среды (в единицах длины, приходящихся на время).

Таким образом, при прохождении через диафрагму 4 текучая среда испытывает падение давления (ΔP) (от p_2 до p_3) согласно уравнению 3. Изменение давления текучей среды на диафрагме 4 почти не зависит от вязкости, но пропорционально плотности и коэффициенту диафрагмы, а также квадрату скорости текучей среды.

Следовательно, согласно фиг. 1 давление p_2 текучей среды в камере В, т.е. между змеевиком 3 и диафрагмой 4, будет изменяться, если будут изменяться свойства (вязкость или плотность) текучей среды. Графически это показано на фиг. 2. Первое (низкое) значение p_2 сформировано при потоке текучей среды с высокой вязкостью (μ_{high}), а второе (высокое) значение p_2 сформировано при потоке текучей среды с низкой вязкостью (μ_{low}). Разность между указанными значениями p_2 (ΔP_2), возникающая при изменении свойств текучей среды (например, при уменьшении вязкости), может быть использована для совершения работы, например приведения в действие исполнительного механизма 6, который в свою очередь может перемещать поршень 9, действующий в качестве клапанного элемента 9, возможно при участии гидравлических и/или электрических и/или механических средств 10 передачи (фиг. 3).

В общем, в настоящем изобретении используется изменение давления (ΔP_2), которое возникает между двумя различными ограничителями потока, когда последние подвергаются воздействию текучих сред с различными свойствами, например, нефти и воды. Указанными свойствами могут быть, например, вязкость, плотность или оба свойства сразу.

На фиг. 3А и 3В схематически показаны два варианта осуществления вышеописанного принципа. Фиг. 3А иллюстрирует первый вариант соответствующего изобретению регулятора 100 потока в его базовом виде (т.е. когда опущены уплотнения, прокладки и другие необходимые и рекомендуемые вторичные детали известные в данной области техники). Поток (F) текучей среды поступает в корпус 8 регулятора потока через два канала 2 и 7 текучей среды; первичный канал (первичный трубопровод) 2, у которого имеется впускное отверстие 1, и вторичный канал (вторичный трубопровод) 7, у которого имеется впускное отверстие 11. Основная часть (F_0) потока (F), которая в дальнейшем именуется первичным потоком, проходит через первичный трубопровод 2 и через изначально открытый клапанный элемент 9. Меньшая часть (f) потока (F), например 5% первичного потока (F_0), также называемая вторичным потоком (f), проходит через вторичный трубопровод 7, который содержит первый ограничитель 3 потока в форме тонкой спиральной трубки (змеевика) длиной L и диаметром D, и второй ограничитель 4 потока в форме диафрагмы, прежде чем войти в первичный трубопровод 2 и выйти из него через выпускное отверстие 5.

Когда вязкость (μ) текучей среды потока (F) изменяется, второе давление p_2 в камере В, расположенной во вторичном трубопроводе 7 между двумя ограничителями 3, 4 потока, также изменяется. К примеру, если поток нефти замещается водой или газом, то вязкость уменьшается, а второе давление p_2 увеличивается, как это было объяснено выше согласно фиг. 1 и 2.

На фиг. 3А дополнительно схематически показан исполнительный механизм 6, расположенный внутри или связанный с камерой В. Исполнительный механизм 6 через средства 10 передачи (например, через гидравлическое связующее устройство, механическое связующее устройство и/или сигнальный кабель) соединен с поршнем/клапанным элементом 9. Исполнительный механизм 6 может быть в любой форме, которая позволяет приводить в действие поршень/клапанный элемент 9, например поверхность поршня может подвергаться действию усилия, создаваемого ΔP_2 ; к примеру указанная поверхность может быть обращена к камере В.

Когда вязкость (μ) текучей среды изменяется так, как было описано выше, разность значений p_2 (ΔP_2 см. фиг. 1) создает приводное усилие на исполнительном механизме 6, который в свою очередь приводит в действие (например, закрывает) поршень/клапанный элемент 9. Таким образом трубопроводы 2, 7 и ограничители 3, 4 потока могут быть выполнены так и такого размера, что (когда предотвращается прорыв воды) поршень/клапанный элемент 9 автоматически закрывается, когда вязкость (μ) текучей сре-

ды (F) падает ниже заданного уровня. В качестве примера, на нефтяном месторождении регулятор 100 потока препятствует нежелательному втеканию воды/или газа в эксплуатационную колонну 101 (см. фиг. 4).

На фиг. 3В схематически показан второй вариант осуществления соответствующего изобретению регулятора 100 потока. Второй вариант идентичен первому варианту за исключением того, вторичный канал 7 не имеет связи по текучей среде с первичным каналом 2. Вместо этого оба входа в корпус 8 и оба выхода из корпуса 8 осуществляются отдельными каналами. Первичный поток (F_0) текучей среды входит в первичный канал 2 из впускного отверстия 1, а выходит через выпускное отверстие 5 первичного канала, в то время как вторичный поток (f) текучей среды входит во вторичный канал 7 из впускного отверстия 11, а выходит через отдельное выпускное отверстие 12 вторичного канала. Однако принцип работы такой же, как и для первого варианта осуществления, т.е. создать разность давлений ΔP_2 между двумя ограничителями 3, 4 потока, расположенными, по меньшей мере, частично внутри вторичного канала 7, и использовать усилие, создаваемое за счет полученной разности давлений, для запираания первичного потока (F_0) текучей среды, проходящего через первичный канал 2, при помощи поршня/клапанного элемента 9.

Фиг. 4А и 4В в разрезе изображают соответствующий изобретению регулятор 100 потока целиком. Фиг. 4А изображает регулятор 100 потока, установленный в эксплуатационную колонну 101, а фиг. 4В изображает фрагмент зоны эксплуатационной колонны 101, заключенной в штриховой прямоугольник (местный вид А).

Дополнительно к регулятору 100 потока эксплуатационная колонна 101 также содержит базовую трубу 102, в которую установлен регулятор 100 потока, противопесочный фильтр 103, окружающий базовую трубу 102 для предотвращения проникновения в базовую трубу крупных твердых частиц, таких как зерна песка, или мусора, наружную муфту 110, которая крепит один осевой конец противопесочного фильтра 103 к базовой трубе 102, первую внутреннюю муфту 104, выполненную с возможностью как крепления другого осевого конца противопесочного фильтра 103 к базовой трубе 102, так и формирования канала 105 текучей среды внутренней муфты от канала 106 текучей среды противопесочного фильтра, находящегося ниже противопесочного фильтра 103, и в направлении впускных отверстий 1, 11 для текучей среды регулятора 100 потока.

Эксплуатационная колонна 101 дополнительно содержит вторую внутреннюю муфту 107, расположенную на базовой трубе 102 на противоположной радиальной стороне регулятора 100 потока относительно первой внутренней муфты 104, и защитную крышку 108, герметизирующую или почти герметизирующую установленный регулятор 100 потока от наружного пространства эксплуатационной колонны 101, образующий тем самым закрытую впускную камеру 109, сформированную посредством первой и второй внутренних муфт 104, 107, защитной крышки 108 и базовой трубы 102.

При работе поток (F) текучей среды проходит через противопесочный фильтр 103 в канал 106 противопесочного фильтра, далее по каналу 105 внутренней муфты в закрытую впускную камеру 109 через отверстие 111 во внутренней муфте, и наконец через регулятор 100 потока поступает в базовую трубу 102.

Из фиг. 4 очевидно, что располагаемое пространство для регулятора 100 потока в типовой эксплуатационной колонне 101 невелико. Выгодно, чтобы корпус 8 регулятора 100 потока имел осевую толщину (т.е. толщину перпендикулярно осевому/продольному направлению базовой трубы 102, когда устройство 100 установлено) технически минимально возможную, чтобы исключить или минимизировать выступание от наружных стенок базовой трубы 102 и/или выступание во внутреннее пространство базовой трубы 102.

Выступания в базовую трубу 102 следует, в частности, избегать, поскольку это стало бы помехой измерениям и/или обслуживанию, и/или ремонтным работам внутри базовой трубы 102, которые могут требоваться/быть рекомендованы на протяжении срока службы эксплуатационной колонны 101. Такие операции часто включают введение различного оборудования в базовую трубу 102.

Как объяснялось выше, чтобы обеспечить большой перепад давления на первом ограничителе 3 потока, отношение L/D^4 должно быть большим. Далее ламинарный поток может быть получен путем создания потока с числом Рейнольдса меньшим 4000, а предпочтительно меньшим 2500. Этого можно добиться, если длину (L) трубы, образующей первый ограничитель 3 потока, сделать достаточно большой.

На фиг. 5 показана конфигурация, где регулятор 100 потока содержит спиральную трубу (змеевик), которая работает как первый ограничитель 3 потока, формирующий ламинарный поток текучей среды, расположенный во вторичном канале 7. Чтобы обеспечить ламинарный поток для вторичного потока (f) текучей среды, проходящего через вторичный канал 7 (f_{lam}), и при большом перепаде давления (p_1-p_2), змеевик выполнен значительно длиннее, чем осевая толщина (t_{AICD}) корпуса 8 регулятора потока.

Первый ограничитель 3 потока может быть разделен на внутреннюю часть 3b, расположенную внутри корпуса 8, и наружную прямую часть 3c, которая расположена снаружи корпуса 8, и связан по текучей среде с внутренней частью 3b и наружной спиральной частью 3d, которая расположена снаружи корпуса 8, и связан по текучей среде с наружной прямой частью 3c. Наружная спиральная часть 3d пред-

почтительно намотана вокруг базовой трубы 102 множество раз, чтобы минимизировать требуемое пространство в радиальном направлении базовой трубы 102 (т.е. перпендикулярно продольному направлению трубы), и тем самым минимизировать помеху существующей эксплуатационной колонне 101, вызванную размером соответствующего изобретению регулятора 100 потока. В то же самое время может быть достигнут требуемый большой перепад давления и ламинарный поток.

Отношение длины (L) трубы к осевой толщине (t_{AICD}) корпуса 8 регулятора потока предпочтительно превышает 50, более предпочтительно превышает 100, еще более предпочтительно превышает 200 и еще более предпочтительно превышает 300. При типичной установке длина трубы составляет 5 м, а осевая толщина 14 мм.

Фиг. 6 в разрезе изображает регулятор 100 потока, который содержит только детали, расположенные внутри или вблизи корпуса 8 регулятора потока. У корпуса 8, который при работе расположен в стенке базовой трубы 102 (как в примере фиг. 4), показаны впускные отверстия 1, 11, которые связаны по текучей среде с закрытой камерой 109, и выпускные отверстия 5, 12, которые связаны по текучей среде с внутренним пространством базовой трубы 102 эксплуатационной колонны 101.

Внутри корпуса 8 расположен клапанный элемент 9 в форме подвижного в осевом направлении поршня/диска 9. Клапанный элемент 9 на фиг. 6 помещен внутрь зубчатого вкладыша 18 первичного потока, который обеспечивает поршню 9 боковую опору (фиг. 7), одновременно давая возможность поршню 9 совершать осевое перемещение. Боковая опора предполагает полное отсутствие перемещения или слабое перемещение поршня 9 в радиальном направлении, т.е. параллельно продольной оси базовой трубы 102 в точке установки.

Кроме того, поверхность поршня/клапанного элемента/подвижного диска 9, обращенная в противоположную сторону от впускных отверстий 1, 11, в конструкции, изображенной на фиг. 6, соприкасается с упругим элементом 10, прикрепленным по своему периметру к соседней внутренней стенке (внутренним стенкам) корпуса 8. Упругий элемент 10 передает порожденное усилие давления на поршень 9 и обеспечивает, что регулятор 100 потока находится в своем исходном заданном положении перед появлением какого-либо потока (F), например в полностью открытом положении или в полностью закрытом положении. Упругий элемент 10, например диафрагма, может быть выполнен из полугибкого материала, такого как эластомер.

Согласно фиг. 7 совместно с фиг. 6 видно, что зубцы 18а, расположенные по внешней окружности вкладыша 18 первичного потока, действуют и в качестве осевых разделителей между вкладышем 19 вторичного потока/упругим элементом 10 и внутренней стенкой корпуса 8, и в качестве канальных отверстий 18b, чтобы дать возможность первичному потоку (F_0) проходить радиально через отверстия 18b между зубцами 18а.

Как видно на фиг. 7, поршень 9 содержит нижний диск 9а, контактирующий с упругим элементом 10, и верхний диск 9b, расположенный по центру нижнего диска 9а. Наружный диаметр нижнего диска 9а равен или почти равен внутреннему диаметру зубчатого вкладыша 18 первичного потока. Верхний диск 9b расположен по центру нижнего диска 9а и имеет диаметр, который меньше диаметра нижнего диска 9а, например имеет диаметр равный или слегка больший наименьшего внутреннего диаметра впускного отверстия 1 первичного канала и/или равный или меньший половины диаметра нижнего диска 9а.

Примером слегка большего диаметра верхней части поршня 9 может быть диаметр, который менее чем на 10% превышает наименьший внутренний диаметр впускного отверстия 1 первичного канала.

И снова, согласно фиг. 6 впускное отверстие 11 вторичного канала (которое направляет вторичный поток (f) во вторичный канал 7) и впускное отверстие 1 первичного канала (которое направляет первичный поток (F_0) в первичный канал 2) показаны физически раздельными. Данную конкретную конструкцию с двумя впускными отверстиями 1, 11 можно считать компактной, поскольку не нужно приспосабливать осевую толщину (t_{AICD}) корпуса 8, а также диаметр впускного отверстия 11 вторичного канала.

Впускное отверстие 1 первичного канала на фиг. 6 показано в виде отдельной впускной втулки 16, образующей впускное отверстие в форме воронки со сглаженной внутренней стенкой (внутренними стенками), обеспечивающей минимальную турбулентность при работе. И снова сглаженная внутренняя стенка предусматривает отсутствие острых краев и/или торчащих выступов.

Чтобы избежать засорения вторичного канала 7, впускное отверстие 11 вторичного канала закрыто кольцеобразным фильтром 14, содержащим мелкую сетку, которая препятствует прохождению во вторичный канал 7 любых частиц с диаметром, превышающим размер ячеек сетки. Размер ячеек сетки должен быть существенно меньше минимальной площади поперечного сечения вторичного канала 7. Следует отметить, что в качестве мелкой сетки может быть использован любой предмет, позволяющий фильтровать частицы, например, проволочная сетка, перфорированная пластина или их сочетание.

Согласно фиг. 4-8 внутренняя часть 3b первого ограничителя 3 потока начинается от вкладыша 19 вторичного потока, у которого имеется внутреннее центральное отверстие для пропускания первичного потока (F_0) текучей среды. Вкладыш 19 вторичного потока содержит один или более первых запирающих краев 19а, которые проходят по окружности внутреннего центрального отверстия, и второй запирающий край 19b или ряд запирающих зубьев 19b, проходящих по внешней окружности вкладыша 19 вторичного потока и образующих по меньшей мере одно отверстие 19с вкладыша, через которое вторичный поток (f)

может проходить после того, как он поступает через впускное отверстие 11 вторичного канала.

В данном примере конструкции радиально расположенный наружный второй запирающий край 19b вставляется в специальные углубления в корпусе 8 и в дальнейшем поворачивается так, что зубцы 19b заводятся в канавки и фиксируют вкладыш 19, тем самым препятствуя его осевым перемещениям.

Кроме того, чтобы гарантировать, что вкладыш 19 не займет никакого нежелательного углового положения во время и/или после установки, конструкция фильтра 14 выполняет дополнительную функцию помимо фильтрации твердых частиц во вторичном потоке. На фиг. 7 и 8 видно, что фильтр 14 содержит один или более выступов 14a, которые выдаются радиально наружу от внешней окружности фильтра 14, и один или более внутренних выступов 14b, которые выдаются радиально внутрь от внутренней окружности фильтра 14.

Эффект удержания углового положения достигается за счет того, что внутренние выступы 14b садятся на внутренний запирающий край 19a вкладыша 19. Кроме того, наружные выступы 14a могут быть вставлены в вышеупомянутые углубления и могут фиксировать тем самым фильтр 14 в корпусе 8.

Регулятор 100 потока может также содержать втулочное уплотнение 26, например кольцо круглого сечения, помещенное герметизирующим образом между вкладышем 19 и впускной втулкой 16 (см. фиг. 8A), которое препятствует нежелательной утечке между первичным каналом 2 и вторичным каналом 8 во время работы.

Вкладыш 19 вторичного потока уплотнен относительно корпуса 8 посредством кольца 15 круглого сечения, которое проходит снаружи по окружности вкладыша 19 вторичного потока, снизу или частично снизу от запирающего края 19b или ряда запирающих зубьев 19b.

Отверстие 19с вкладыша, или по меньшей мере одно из нескольких отверстий 19с вкладыша, совмещено с выпускным каналом (выпускными каналами), образующим внутреннюю часть 3b первого ограничителя 3 потока. Следовательно, вторичный поток (f) текучей среды проходит через одно или более совмещенных отверстий 19с вкладыша и далее поступает во внутреннюю часть 3b. Затем вторичный поток (f) втекает во внешнюю прямую часть 3с, расположенную снаружи корпуса 8, проходит через наружную спиральную часть 3d и возвращается обратно в корпус 8 через один или более возвратных каналов 21 в корпусе 8. Возвратный канал 21 направляет вторичный поток (f_{lam}) через камеру В, расположенную под поршнем 9 и упругим элементом 10, направляет через второй ограничитель 4 потока в виде диафрагмы и выпускает через впускное отверстие 12 вторичного канала. Диафрагма 4 расположена в впускной втулке 17 и закреплена так, что связана по текучей среде с выпускным отверстием 12 вторичного канала. Диафрагма 4 может быть регулируемой, и тем самым может обеспечивать регулирование степени турбулентности вторичного потока ($f_{\text{тур}}$).

Чтобы закрепить регулятор 100 потока на базовой трубе 102, корпус 8 содержит множество сквозных отверстий 23, выполненных с возможностью приема средств фиксации, например резьбовых винтов или болтов (не показаны).

При эксплуатации поток F текучей среды (например, нефти из подземного резервуара) разделяется на первичный поток F_0 , поступающий в корпус 8 через впускное отверстие 1 первичного потока, и меньший вторичный поток f, поступающий в корпус 8 через впускное отверстие 11 вторичного потока. Внутри корпуса 8 первичный поток F_0 проходит по первичному каналу 2, прежде чем выйти из корпуса 8 через впускное отверстие (впускные отверстия) 5 первичного потока и попасть в базовую трубу 102.

Оставшаяся часть потока F, вторичный поток f, проходит через вторичный канал 7, т.е. через фильтр 14, вкладыш 19 вторичного потока, змеевик 3, возвратный канал 21, камеру В, диафрагму 4 и, наконец, через впускное отверстие (впускные отверстия) 12 вторичного потока попадает в базовую трубу 102. Если в поток F попадает вода и/или газ, вызывая общее снижение вязкости μ , то результирующая разность значений p_2 (ΔP_2 см. фиг. 2) прикладывает усилие давления на рабочую поверхность 6 поршня 9 и на диафрагму 10, обращенную в противоположную сторону от впускных отверстий 1, 11 (см. утолщенную линию на фиг. 6). Это изменение давления, действующее на рабочую поверхность 6, формирует движущее усилие, которое помогает сместить верхнюю часть 9b поршня 9 в направлении впускного отверстия 1 первичного потока, и воспрепятствовать дальнейшему поступлению в корпус 8 первичного потока F_0 . Диафрагма 10 обеспечивает преобладание упругого или смещающего усилия, действующего на поршень 9, которая направлена от впускного отверстия 1 первичного потока. В результате поршень 9 остается в открытом положении относительно впускного отверстия 1 первичного потока, когда первичный поток F_0 отсутствует или достаточно мал для противодействия упругому усилию.

Фиг. 9-10 иллюстрируют конкретную конструкцию, задача которой достичь эффективного и быстрого запирания/открывания регулятора 100 потока в случае проникновения многофазной текучей среды, таком, как при переходе от текучей среды с высокой вязкостью (например, нефти) 122 к текучей среде с низкой вязкостью (например, газу или воде) 120. На фиг. 9 эксплуатационная колонна 101 показана внутри продуктивного пласта 123, например придонного слоя. Резервуар текучей среды, содержащий, например, газ 120 или нефть 122, расположен между окружающим продуктивным пластом 123 и наружной стороной эксплуатационной колонны 101. Граница 121 раздела текучих сред низкой вязкости-высокой вязкости, например граница газ-нефть, показана на фиг. 9 горизонтальной линией. Кроме того,

эксплуатационная колонна 101 содержит базовую трубу 102 и регулятор 100 потока, который образует закрываемый проход между резервуаром и внутренностью базовой трубы 102. Регулятор 100 потока на фиг. 9 изображен в наклонном положении относительно границы 121 раздела текучих сред, и в положении на базовой трубе 102, которое соответствует высоте равной уровню границы 121 раздела текучих сред. В данной конкретной конфигурации граница 121 раздела текучих сред расположена приблизительно на середине впускного отверстия 1 первичного потока. Положение каждого регулятора 100 потока на базовой трубе 102 является произвольным.

Согласно фиг. 10, чтобы обеспечить эффективное и быстрое запирающее/открывающее, отсек, образующий часть вторичного канала 7 и заданный посредством вкладыша 19 вторичного потока и входного фильтра 14, содержит внутренний многоходовой канал 3а, содержащий по меньшей мере два впускных отверстия 25, расположенные по диагонали или почти по диагонали относительно впускного отверстия 1 первичного потока. При наклонном положении, какое показано на фиг. 9, когда внутренняя часть 3б змеевика 3 направлена перпендикулярно плоскости чертежа фиг. 9, регулятор 100 потока (в результате диагонального расположения двух разнесенных впускных отверстий 25) подавал бы в верхнее впускное отверстие 25 главным образом текучую среду низкой вязкости, такую как газ или вода 120. Аргумент в пользу такого решения состоит в том, что для текучей среды с низкой вязкостью сопротивление (трение) ниже, чем для текучей среды с высокой вязкостью, такой как нефть 122. Поэтому скорость потока текучей среды с низкой вязкостью более высокая, что вызывает более быстрое запирающее регулятора 100 потока в случае многофазного потока.

Следует отметить, что рассмотренные выше варианты осуществления изобретения не ограничены определенным материалом или определенной геометрией. Фактически возможен выбор любого материала и/или геометрии, если один из ограничителей потока создает, главным образом, ламинарный поток, а другой создает, главным образом, турбулентный поток при своей работе. Кроме того, даже если термины, касающиеся направлений, такие как "ниже (под)", "радиальный" или "осевой (аксиальный)" использованы с привязкой к чертежам, следует понимать, что эти термины используются только для ясности изложения, и их не следует толковать, как термины, ограничивающие положение регулятора потока согласно изобретению.

Все варианты осуществления изобретения регулятора потока, описанные выше, являются автономными в том смысле, что они могут двигаться (запирать или открывать впускное отверстие) в зависимости от изменяющегося свойства (например, вязкости μ) текучей среды потока F. Змеевик 3, диафрагма 4, внутренние размеры корпуса 8 и устанавливаемые внутри вкладыши 18, 19 могут быть предназначены для выполнения различных задач.

Пример результатов измерений с использованием соответствующего изобретению регулятора 100 потока представлен на фиг. 11А, 11В и 11С.

Фиг. 11А - это основной чертеж изобретения - автономного регулятора 100 потока, выполненного с возможностью предотвращения поступления текучих сред с низкой вязкостью, таких как газ и вода в требуемый (полезный) поток текучей среды с высокой вязкостью, такой как нефть, на котором обозначены различные силы (усилия) F_1 , F_2 , F_3 , порождаемые потоками текучей среды, вместе с соответствующими давлениями P_1 , P_2 , P_3 и площадями поперечного сечения A_1 , A_2 , A_3 .

Фиг. 11В изображает измеренную результирующую силу ΣF_{1-3} , действующую на подвижный поршень 9 (вертикальная ось) в зависимости от падения давления ($p_3 - p_1$) на регуляторе 100 потока (горизонтальная ось). Величины результирующей силы и падения давления приведены соответственно в ньютонах и барах.

Указанная результирующая сила представляет сумму сил ΣF_{1-3} , действующую на поршень 9, который открывает регулятор 100 потока, когда ΣF_{1-3} положительна, и закрывает регулятор 100 потока, когда ΣF_{1-3} отрицательна. Фиг. 11В показывает, что хотя регулятор 100 потока открыт, когда подвержен действию нефти (среды с высокой вязкостью), но он закрывается почти мгновенно, когда подвергается действию газа и воды (среды с низкой вязкостью).

Сила ΣF_{1-3} основана на измерениях падения давления ($p_3 - p_1$) на элементе 3, создающем ламинарный поток, и элементе 4, создающем турбулентный поток, соответственно, которые оба расположены внутри вторичного канала 7. Фиг. 11С изображает отношение падения давления для ламинарного потока и турбулентного потока $\Delta P_{\text{laminar}} / \Delta P_{\text{turbulent}}$ для данной текучей среды (вертикальная ось) в зависимости от величин падения давления, приведенных на фиг. 11В (горизонтальная ось). На основе ΣF_{1-3} можно рассчитать, что регулятор 100 потока открывается, когда

$$P_1 \cdot A_1 + P_3 \cdot A_3 - P_2 \cdot A_2 > 0$$

Данные примеры измерений рассчитаны на то, чтобы иллюстрировать работу соответствующего изобретению регулятора 100 потока. Следует понимать, что ограничители 3, 4 потока могут быть расположены и устроены по-другому. Например, ограничители 3, 4 потока могут быть установлены в канале в обратном порядке, если устройство предназначается для использования в газовом резервуаре, и требуется предотвратить попадания в продукт текучей среды с более высокой вязкостью, например воды.

Следует также понимать, что соответствующий изобретению регулятор 100 потока может быть вы-

полнен и сконфигурирован так, чтобы управлять и препятствовать втеканию других текучих сред, таких как CO_2 (который был закачан в резервуар) и пар (который закачивают в связи с использованием парового гравитационного дренажа тяжелой нефти (SAGD, Steam-Assisted Gravity Drainage), и воды в газоотводящих скважинах.

Хотя изобретение было описано с отсылкой к управлению текучими средами скважин (такими как нефть, газ, вода), поступающими из подземного резервуара, специалистам в данной области должно быть понятно, что соответствующий изобретению регулятор потока и способ могут быть полезными в любой задаче, где целью является управление потоком текучей среды, исходя из свойств (например, вязкости, плотности) различных текучих сред в потоке, чтобы препятствовать поступлению в поток нежелательных текучих сред. Примерами таких задач являются нагнетательные скважины, процессы разделения и пароотделители.

Ссылочные обозначения:

F	Поток текучей среды
F_0	Основная часть потока текучей среды / главный поток / первичный поток
f	Меньшая часть потока текучей среды / вторичный поток
p_1	Первое давление
p_2	Второе давление (между первым и вторым ограничителями потока)
p_3	Третье давление
ΔP_2	Разность давлений p_2 , создаваемая за счет изменения свойств текучей среды
B	Камера
t_{AICD}	Осевая толщина корпуса 8 регулятора потока
1	Впускное отверстие первичного потока / впускное отверстие первичного канала
2	Трубопровод / первичный канал / первичный трубопровод
3	Первый ограничитель потока / змеевик / тонкая спиральная трубка
3a	Внутренний многоходовой канал / трубка с несколькими входами
3b	Внутренняя часть первого ограничителя 3 потока / внутренний участок
3c	Наружная прямая часть первого ограничителя 3 потока / наружная труба
3d	Наружная спиральная часть первого ограничителя 3 потока / наружная труба
4	Второй ограничитель 4 потока / диафрагма
5	Выпускное отверстие / выпускное отверстие первичного канала
6	Исполнительный механизм / рабочая поверхность
7	Вторичный канал / вторичный трубопровод
8	Корпус регулятора потока / корпус
9	Поршень / клапанный элемент / подвижный диск
9a	Нижний диск поршня 9
9b	Верхний диск поршня 9
10	Средства гидравлической / электрической / механической передачи (для передачи силы давления) / упругий элемент / полугибкий материал / диафрагма
11	Впускное отверстие вторичного канала
12	Выпускное отверстие вторичного канала
13	Внутренний выпускной канал
14	Фильтр / входной фильтр
14a	Наружный выступ (наружные выступы) фильтра 14
14b	Внутренний выступ (внутренние выступы) фильтра 14
15	Средства уплотнения / кольцо круглого сечения
16	Впускная втулка
17	Выпускная втулка
18	Вкладыш первичного потока / второй кольцеобразный диск

18a	Зубцы вкладыша, расположенные на внешней окружности вкладыша 18 первичного потока / край, ориентированный в осевом направлении
18b	Отверстия вкладыша, расположенные на внешней окружности вкладыша 18 первичного потока / отверстия на краю, ориентированном в осевом направлении / отверстие канала
19	Вкладыш вторичного потока / первый кольцеобразный диск
19a	Внутренний запирающий край по окружности внутреннего отверстия вкладыша 19 вторичного потока / первый запирающий край
19b	Наружный запирающий край / запирающие зубцы по внешней окружности вкладыша 19 вторичного потока / второй запирающий край
19c	Отверстия во вкладыше по внешней окружности вкладыша 19 вторичного потока
21	Внутренний возвратный канал / возвратный канал
23	Отверстие для вставления крепежных средств для крепления корпуса 8 к базовой трубе 102
25	Отверстие / впускное отверстие во внутренний многоходовый канал
26	Втулочное уплотнение
100	Регулятор потока
101	Эксплуатационная колонна
102	Базовая труба
103	Противопесочный фильтр
104	Первая внутренняя муфта / оболочка
105	Канал текучей среды внутренней муфты
106	Канал текучей среды противопесочного фильтра
107	Вторая внутренняя муфта
108	Защитная крышка / оболочка
109	Закрытая входная камера
110	Наружная муфта
111	Отверстие внутренней муфты / входное отверстие оболочки
120	Газ или вода / текучая среда низкой вязкости
121	Граница раздела «газ или вода-нефть» / граница раздела «низкая вязкость-высокая вязкость»
122	Нефть / высокая вязкость
123	Продуктивный пласт

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Регулятор (100) потока текучей среды для обеспечения управляемой передачи потока (F) текучей среды между внешним резервуаром (120-122) текучей среды и базовой трубой (102) эксплуатационной колонны (101), содержащий

первичный канал (2), расположенный внутри корпуса (8) регулятора потока и содержащий

впускное отверстие (1) первичного канала, выполненное с возможностью направления первичного потока (F_0) текучей среды аксиально в корпус (8) регулятора потока из внешнего резервуара (120-122) текучей среды во время работы, причем осевое и радиальное направления определены как направления перпендикулярное и параллельное продольному направлению базовой трубы (102), соответственно;

выпускное отверстие (5) первичного канала, выполненное с возможностью направления первичного потока (F_0) текучей среды в базовую трубу (102) во время работы регулятора потока;

вторичный канал (7), содержащий первый ограничитель (3) потока текучей среды, выполненный с возможностью понижения давления от давления p_1 выше по потоку от первого ограничителя (3) потока текучей среды до давления p_2 ниже по потоку от первого ограничителя (3) потока текучей среды;

второй ограничитель (4) потока текучей среды, расположенный ниже по потоку от первого ограничителя (3) потока текучей среды, выполненный с возможностью понижения давления от давления p_2 выше по потоку от второго ограничителя (4) потока текучей среды до давления p_3 ниже по потоку от второго ограничителя (4) потока текучей среды; и

камеру (B), расположенную ниже по потоку от первого ограничителя (3) потока текучей среды и выше по потоку от второго ограничителя (4) потока текучей среды, и

подвижный клапанный элемент (9), расположенный внутри корпуса (8) регулятора потока и выполненный с возможностью запирания первичного канала (2) для потока текучей среды, когда элемент (9) подвержен действию усилия давления из камеры (B), превышающего пороговое усилие давления, причем подвижный клапанный элемент (9) содержит упругий элемент (10), обеспечивающий преобладающее упругое усилие, действующее на подвижный клапанный элемент (9), которое направлено от впуск-

ного отверстия (1) первичного канала,
отличающийся тем, что

вторичный канал (7) содержит впускное отверстие (11) вторичного канала, расположенное внутри корпуса (8) регулятора потока со смещением в радиальном направлении от первичного канала (2) на его входе в корпус (8) регулятора потока, при этом впускное отверстие (11) вторичного канала дополнительно выполнено с возможностью направления вторичного потока (f) текучей среды из резервуара (120-122) текучей среды во вторичный канал (7) корпуса (8) регулятора потока так, что во время работы предусмотрена возможность разделения потока (F) текучей среды на

первичный поток (F_0) текучей среды, поступающий в корпус (8) регулятора потока через первичный канал (2), и

вторичный поток (f) текучей среды, поступающий в корпус (8) регулятора потока через вторичный канал (7).

2. Регулятор (100) потока по п.1, отличающийся тем, что впускное отверстие (11) вторичного канала ориентировано так, что во время работы предусмотрена возможность осевого втекания вторичного потока (f) текучей среды в корпус (8) регулятора потока.

3. Регулятор (100) потока по п.1 или 2, отличающийся тем, что дополнительно содержит впускную втулку (16), расположенную аксиально внутри корпуса (8) регулятора потока для направления проходящего сквозь нее первичного потока (F_0) текучей среды, и

первый кольцеобразный диск (19), расположенный аксиально под впускным отверстием (11) вторичного канала так, что его центральное отверстие окружает впускную втулку (1, 16), при этом первый кольцеобразный диск (19) содержит аксиально направленный первый запирающий край (19a), проходящий по окружности внутреннего центрального отверстия кольцеобразного диска (19).

4. Регулятор (100) потока по п.3, отличающийся тем, что первый кольцеобразный диск (19) дополнительно содержит

аксиально направленный второй запирающий край (19b), проходящий по внешней окружности первого кольцеобразного диска (19) и содержащий по меньшей мере одно отверстие (19c), выполненное с возможностью направления вторичного потока (f) текучей среды, проходящего через впускное отверстие (11) вторичного канала, в ограничитель (3, 4) потока текучей среды во время работы.

5. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что дополнительно содержит

фильтр (14), установленный во впускном отверстии (11) вторичного канала, для предотвращения прохождения твердых частиц, содержащихся в потоке (F) текучей среды, во вторичный канал (7), и одновременно обеспечивающий возможность прохождения первичного потока (F_0) текучей среды нефилтрованным через впускное отверстие (1) первичного канала во время работы.

6. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что один из первого и второго ограничителей (3, 4) потока текучей среды представляет собой трубу с длиной L и средним гидравлическим диаметром $\langle D_L \rangle$, усредненным по длине L,

причем длина L и средний гидравлический диаметр $\langle D_L \rangle$ выбраны так, чтобы получить ламинарный поток на выходе из одного из указанных первого и второго ограничителей (3, 4) потока текучей среды.

7. Регулятор (100) потока по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что один из первого и второго ограничителей (3, 4) потока текучей среды представляет собой трубу с длиной L и средним гидравлическим диаметром $\langle D_L \rangle$, измеренным на длине L,

причем длина L и средний гидравлический диаметр $\langle D_L \rangle$ выбраны так, чтобы получить отношение длины L к среднему гидравлическому диаметру $\langle D_L \rangle$, которое для потока текучей среды обеспечивает число Рейнольдса (RE), равное или меньшее чем 4000, при этом число Рейнольдса определено как

$$RE = \langle D_L \rangle \left(\frac{Q}{A_L} \cdot \frac{\rho}{\mu} \right)$$

где

Q - величина объемного расхода ($\text{м}^3/\text{с}$);

$\langle A_L \rangle$ - средняя площадь смачиваемого поперечного сечения по длине L (м^2);

$\langle D_L \rangle$ - средний гидравлический диаметр на длине L (м);

ρ - плотность текучей среды ($\text{кг}/\text{м}^3$) и

μ - динамическая вязкость текучей среды ($\text{кг}/\text{мс}$).

8. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что первый ограничитель (3) потока текучей среды содержит

внутренний выпускной канал (13), расположенный внутри корпуса (8) регулятора потока, который по текучей среде связан с впускным отверстием (11) вторичного канала, наружную трубу (3b, 3с) длиной L^* , расположенную снаружи корпуса (8) регулятора потока, которая по текучей среде связана с внутренним выпускным каналом (13), и

внутренний возвратный канал (21), расположенный внутри корпуса (8) регулятора потока, который

по текучей среде связан с наружной трубой (3b, 3c), причем участок (3d) наружной трубы (3b, 3c) выполнен спиральным.

9. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что вторичный канал (7) содержит выпускное отверстие (12) вторичного канала, при этом более 70% длины вторичного канала (7) от впускного отверстия (11) вторичного канала до выпускного отверстия (12) вторичного канала расположено снаружи корпуса (8) регулятора потока.

10. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что подвижный клапанный элемент (9) содержит

нижний диск (9a), у которого имеется поверхность, обращенная к камере В, и верхний диск (9b), одна поверхность которого опирается на нижний диск (9a), а другая поверхность обращена к впускному отверстию (1) первичного канала, причем диаметр верхнего диска (9b) меньше, чем диаметр нижнего диска (9a), и при этом осевой переход между нижним диском (9a) и верхним диском (9b) является плавным.

11. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что дополнительно содержит

второй кольцеобразный диск (18), расположенный так, что его центральное отверстие окружает внешнюю окружность подвижного клапанного элемента (9), причем второй кольцеобразный диск (18) содержит

аксиально направленный край (18a), проходящий вдоль внешней окружности второго кольцеобразного диска (18), выполненный с возможностью создания фиксированного осевого расстояния между радиально проходящей поверхностью второго кольцеобразного диска (18), обращенной к впускному отверстию (1) первичного канала, и внутренней стенкой корпуса (8) регулятора потока, причем аксиально направленный край (18a) содержит по меньшей мере одно отверстие (18b), выполненное с возможностью направления первичного потока (F_0) текучей среды через впускное отверстие (1) первичного канала, от подвижного клапанного элемента (9) к выпускному отверстию (5) первичного канала.

12. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что первый ограничитель (3) потока текучей среды содержит многоходовую трубку (3a), содержащую по меньшей мере два радиально разнесенных впускных отверстия (25), которые соединены по текучей среде со вторичным потоком (f) текучей среды, проходящим через впускное отверстие (11) вторичного канала.

13. Регулятор (100) потока по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что первый ограничитель (3) потока текучей среды содержит

многоходовую трубку (3a), содержащую по меньшей мере два впускных отверстия (25), которые расположены диагонально или почти диагонально вокруг впускного отверстия (1) первичного канала и соединены по текучей среде со вторичным потоком (f) текучей среды, проходящим через впускное отверстие (11) вторичного канала,

внутренний выпускной канал (13), расположенный внутри корпуса (8) регулятора потока и сообщающийся по текучей среде с многоходовой трубкой (3a),

наружную трубу (3b, 3c) длиной L^* , расположенную, по меньшей мере, частично снаружи корпуса (8) регулятора потока и сообщающуюся по текучей среде с внутренним выпускным каналом (13), и

внутренний возвратный канал (21), расположенный внутри корпуса (8) регулятора потока и сообщающийся по текучей среде с наружной трубой (3b, 3c).

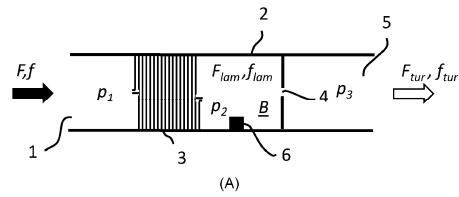
14. Эксплуатационная колонна для транспортирования углеводородов, содержащая

базовую трубу (102), оболочку (104, 107, 108), расположенную на наружной стенке базовой трубы (102) и содержащую по меньшей мере одно впускное отверстие (111) оболочки, и регулятор (100) потока текучей среды по любому из пп.1-13, при этом регулятор (100) потока расположен в сквозном отверстии в стенке базовой трубы (102) внутри оболочки (104, 107, 108), так что может быть получена управляемая передача текучей среды между оболочкой (104, 107, 108) и внутренним пространством базовой трубы (102), причем оболочка (104, 107, 108) выполнена с возможностью обеспечения впускной камеры (109), которая охватывает по меньшей мере одно впускное отверстие (111) оболочки (104, 107, 108), а также охватывает впускное отверстие (1) первичного канала и впускное отверстие (11) вторичного канала регулятора (100) потока.

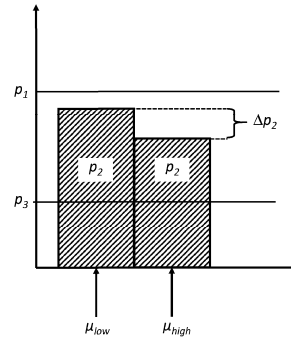
15. Способ управления потоком (F) текучей среды, основанный на изменениях свойств текучей среды, с использованием регулятора (100) потока текучей среды по любому из пп.1-13, содержащий этапы, на которых

направляют первичный поток (F_0) текучей среды, составляющий большую часть потока (F) текучей среды, через первичный канал (2) в корпусе (8) регулятора потока; и

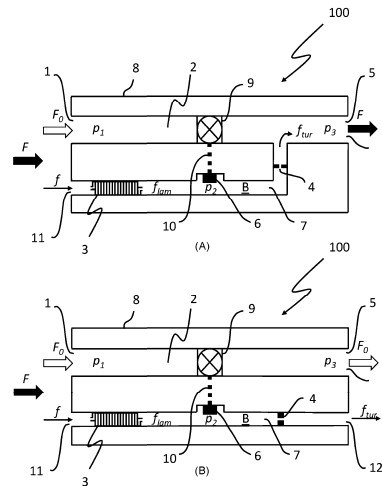
направляют вторичный поток (f) текучей среды через вторичный канал (7), причем вторичный поток (f) текучей среды составляет меньшую часть потока (F) текучей среды, когда регулятор (100) потока находится в открытом положении, при этом большая часть длины вторичного канала (7) проходит снаружи корпуса (8) регулятора потока.



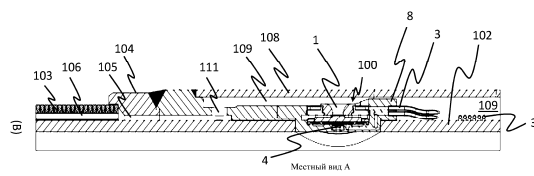
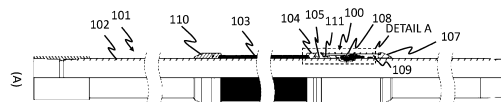
Фиг. 1



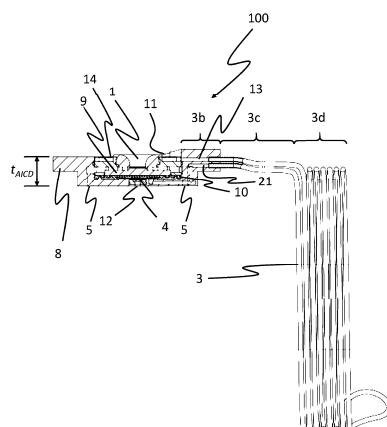
Фиг. 2



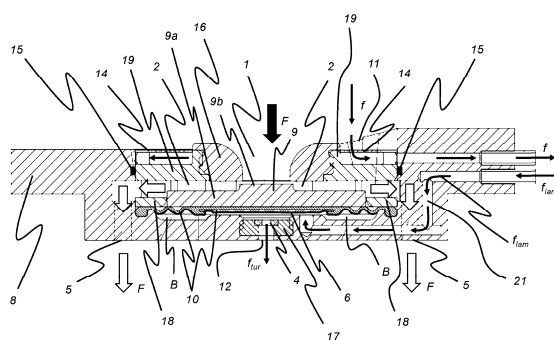
Фиг. 3



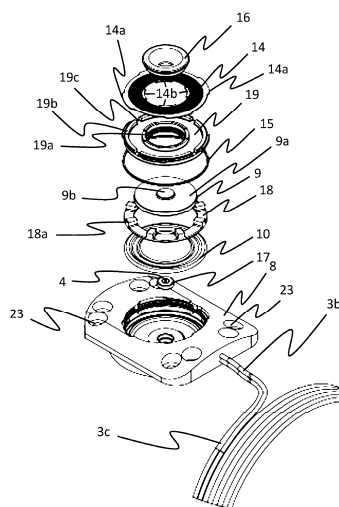
Фиг. 4



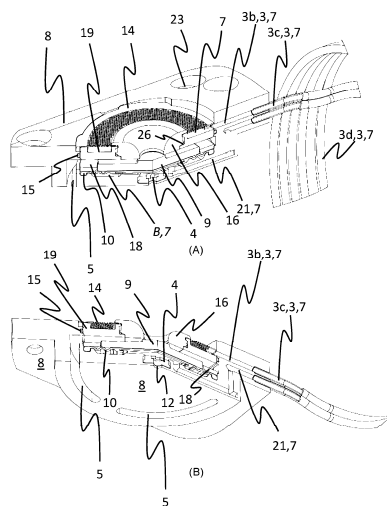
Фиг. 5



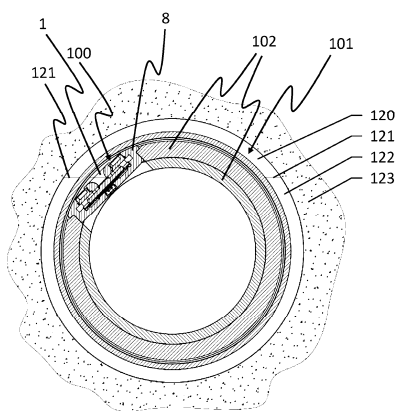
Фиг. 6



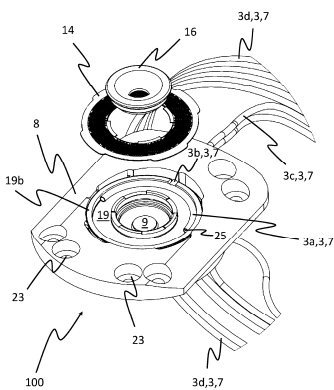
Фиг. 7



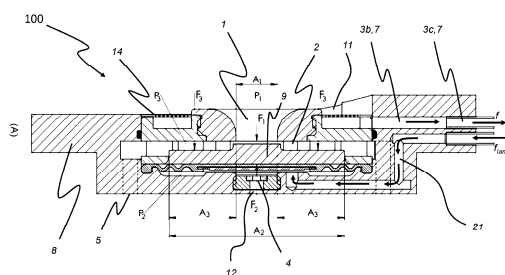
Фиг. 8



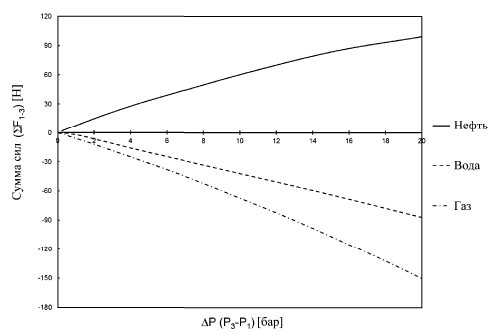
Фиг. 9



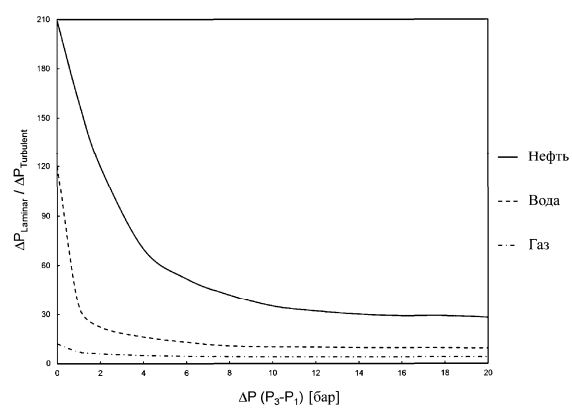
Фиг. 10



Фиг. 11A



(В)
Фиг. 11В



(С)
Фиг. 11С

