РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 705 245**(13) **C2**

(51) МПК
E21B 43/12 (2006.01)
E21B 34/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21B 43/121 (2019.05); E21B 34/06 (2019.05)

(21)(22) Заявка: **2015156884, 26.01.2011**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.01.2011

Дата регистрации:
07.11.2019

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
04.02.2010 US 12/700,685
Номер и дата приоритета первоначальной заявки, из которой данная заявка выделена:
2012136915 04.02.2010

(43) Дата публикации заявки: **18.01.2019** Бюл. № 2

(45) Опубликовано: **07.11.2019** Бюл. № 31

Адрес для переписки:
197101, Санкт-Петербург, а/я 128, "АРС-ПАТЕНТ", М.В. Хмара

(72) Автор(ы):
ДИКСТРА Джейсон Д. (US),
ФРИПП Майкл Линли (US),
ДЕДЖЕЗУС Орландо (US),
ГАНО Джон С. (US),
ХОЛДЕРМАН Люк (US)

(73) Патентообладатель(и):
ХАЛЛИБЕРТОН ЭНЕРДЖИ СЕРВИСЕЗ, ИНК. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **GB 2371578 A, 31.07.2002. WO 2007094897 A2, 23.08.2007. RU 2317403 C2, 20.02.2008. RU 2358103 C2, 10.06.2009. US 4276943 A, 07.07.1981. WO 2009026229 A1, 26.02.2009. WO 2009088293 A1, 16.07.2009.**

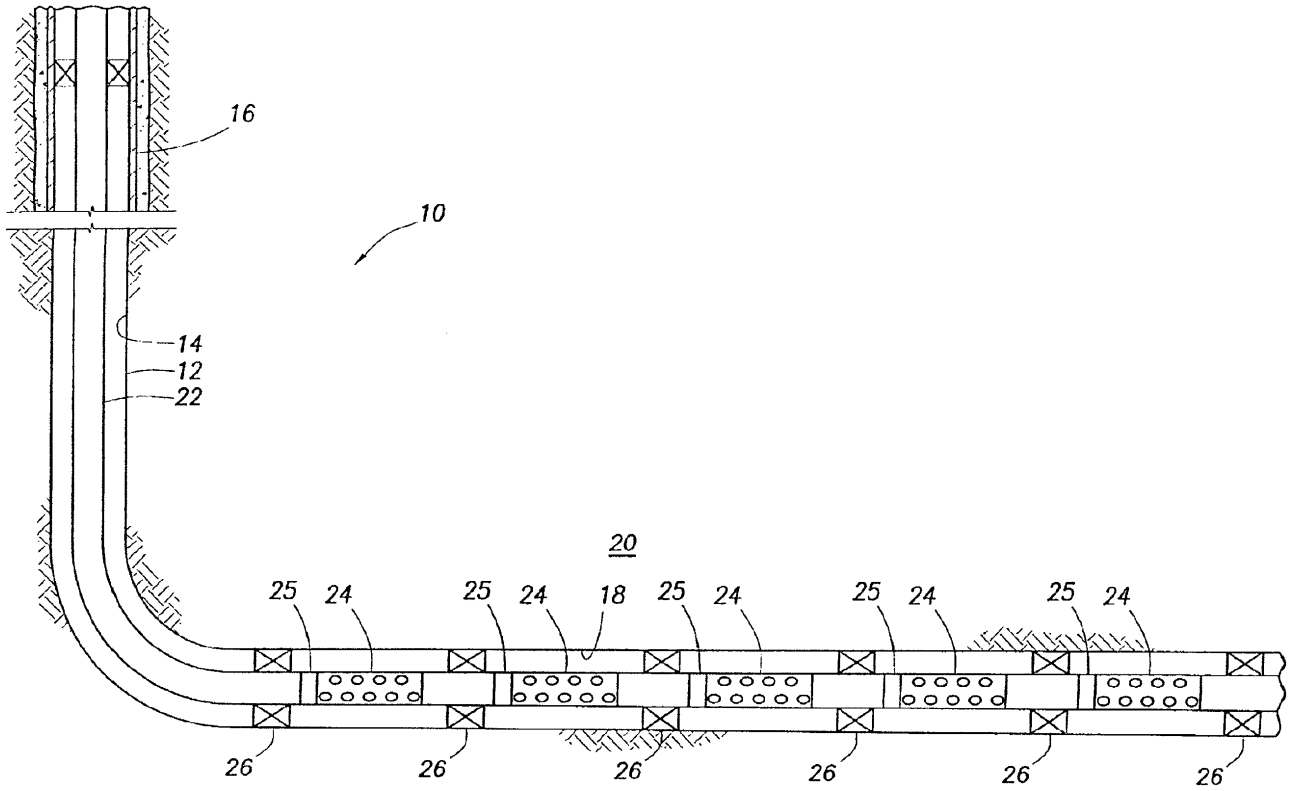
(54) СКВАЖИННОЕ УСТРОЙСТВО (ВАРИАНТЫ), УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКА И СПОСОБ АВТОНОМНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ФЛЮИДА В ПОДЗЕМНЫЙ СТВОЛ СКВАЖИНЫ

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к горному делу и может быть применена для регулирования потока в скважине. Устройство для установки в стволе скважины в подземном участке содержит: по существу трубчатую стенку корпуса, отделяющую внутреннюю часть скважинного устройства от внешней его части, проходящей в радиальном направлении наружу от указанной внутренней части и образующей при установке в стволе скважины совместно с указанным стволом скважины кольцевое пространство; и струйный диод, находящийся в гидравлическом сообщении между внутренней частью скважинного устройства и внешней частью скважинного устройства сквозь стенку корпуса. Указанный струйный диод содержит внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности; первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей; и второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия. Также раскрыты второй вариант скважинного устройства для установки в стволе скважины в подземном участке, устройство для регулирования потока и способ автономного направления потока флюида в подземный ствол скважины. Технический результат заключается в повышении эффективности регулирования потока в скважине. 4 н. и 23 з.п. ф-лы, 33 ил.

RU 2705245 C2

RU 2705245 C2



Фиг. 1

RU 2705245 C2

RU 2705245 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 705 245**(13) **C2**

(51) Int. Cl.
E21B 43/12 (2006.01)
E21B 34/06 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
E21B 43/121 (2019.05); E21B 34/06 (2019.05)

(21)(22) Application: **2015156884, 26.01.2011**

(24) Effective date for property rights:
26.01.2011

Registration date:
07.11.2019

Priority:
(30) Convention priority:
04.02.2010 US 12/700,685
Number and date of priority of the initial application, from which the given application is allocated:
2012136915 04.02.2010

(43) Application published: **18.01.2019** Bull. № **2**

(45) Date of publication: **07.11.2019** Bull. № **31**

Mail address:
197101, Sankt-Peterburg, a/ya 128, "ARS-PATENT", M.V. Khmara

(72) Inventor(s):
DIKSTRA Dzhejson D. (US),
FRIPP Majkl Linli (US),
DEDZHEZUS Orlando (US),
GANO Dzhon S. (US),
KHOLDERMAN Lyuk (US)

(73) Proprietor(s):
HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. (US)

RU 2705245 C2

(54) DOWNHOLE DEVICE (EMBODIMENTS), FLOW CONTROL DEVICE AND METHOD FOR INDEPENDENT DIRECTION OF FLUID FLOW INTO UNDERGROUND WELLBORE

(57) Abstract:

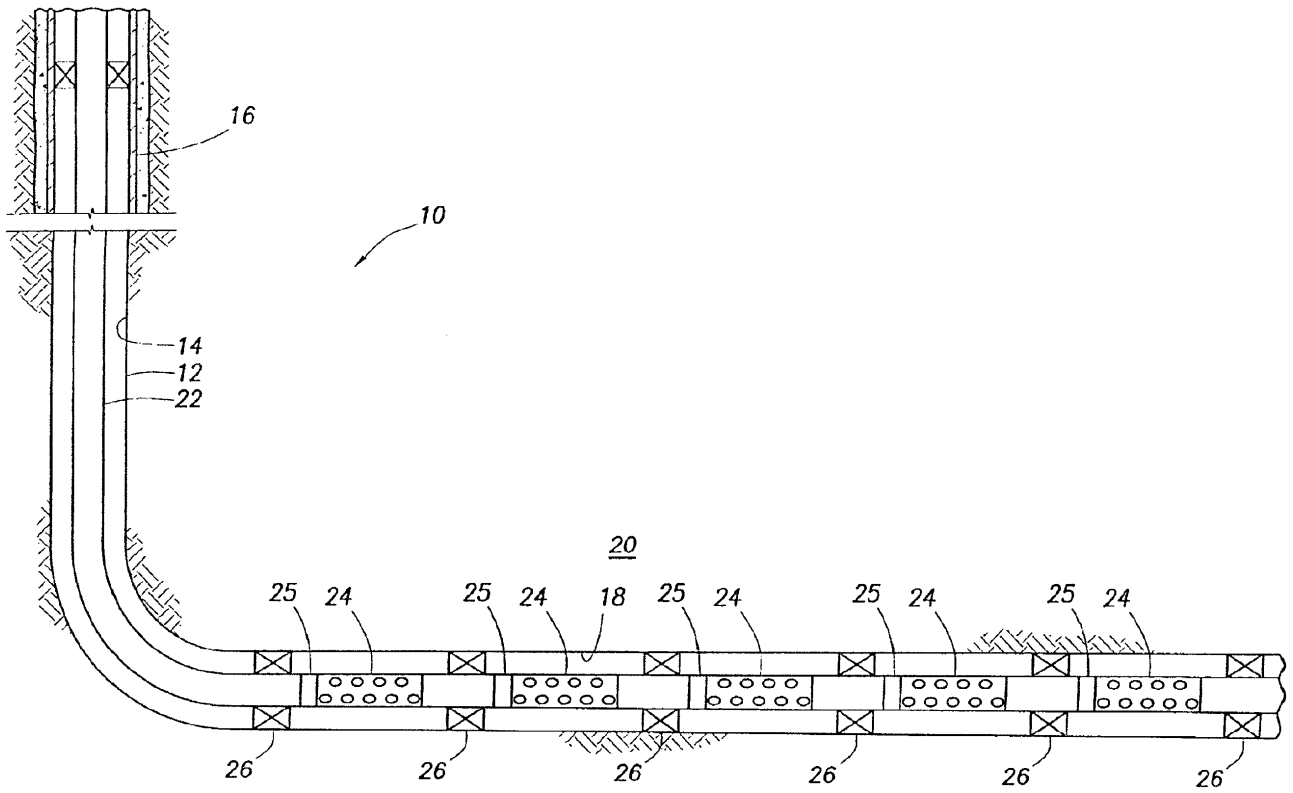
FIELD: soil or rock drilling; mining.

SUBSTANCE: group of inventions relates to mining and can be used for flow control in well. Device for installation in a borehole in an underground section comprises: a substantially tubular wall of the housing, which separates the inner part of the downhole device from its outer part extending radially outward from said inner part and forming an annular space when installing in the wellbore together with the above wellbore; and a jet diode, which is in hydraulic communication between the inner part of the downhole device and the external part of the downhole device through the housing wall. Said jet diode comprises inner surface forming inner chamber and including lateral perimeter surface and opposite end surfaces; a first hole made in one of said end surfaces; and a second opening made in said inner surface at a distance from said first opening. Also disclosed is a second embodiment of a downhole device for installation in a borehole in an underground section, a flow control device and a method for independent direction of fluid flow into an underground wellbore.

EFFECT: technical result consists in improvement of well flow control efficiency.

27 cl, 33 dwg

RU 2705245 C2



Фиг. 1

RU 2705245 C2

RU 2705245 C2

Настоящая заявка выделена из заявки №2012136915 на выдачу патента РФ на изобретение "УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФЛЮИДНОГО ПОТОКА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКА И КАНАЛОЗАВИСИМАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ", поданной 26.01.2011, которая испрашивает приоритет от 04.02.2010 по заявке US 12/700,685.

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение в целом относится к способам и аппаратам для выборочного управления потоком флюида, от места его образования в углеводородсодержащем подземном пласте до эксплуатационной колонны в стволе скважины. Конкретнее, изобретение относится к способам и аппаратам управления потоком флюида на основании некоторых характеристик потока флюида, за счет применения системы управления направлением потока и канальной системы сопротивления, служащей для создания переменного сопротивления для потока флюида. Предпочтительно, чтобы система также включала усилитель потока.

Уровень техники

В процессе завершения скважины, прорезающей углеводородсодержащий подземный пласт, в скважине устанавливаются эксплуатационная насосно-компрессорная колонна и различное оборудование, позволяющие организовать безопасный и эффективный отбор флюидов. Например, для предотвращения отбора конкретного материала из несцементированного или слабо сцементированного подземного пласта, на некоторых этапах добуривания скважины устанавливается один или несколько песчаных фильтров, которые располагаются вблизи границ продуктивных интервалов. На других этапах добуривания, для управления скоростью поступления буровых флюидов в эксплуатационную насосно-компрессорную колонну, принято устанавливать одно или более устройств регулирования притока на колонне завершения.

Продукция из той или иной эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны часто включает в себя несколько флюидов-компонентов, таких как природный газ, нефть и вода; при этом пропорциональное соотношение компонентов бурового флюида изменяется с течением времени. Таким образом, по мере изменения пропорций флюидов-компонентов, аналогично изменяются характеристики общего потока флюидов. Например, если в буровом флюиде отмечается пропорционально более высокое количество природного газа, то вязкость и плотность флюида будут ниже по сравнению с флюидом, в котором отмечается пропорционально более высокое количество нефти. Часто существует необходимость снизить или вообще прекратить отбор одной составляющей в пользу отбора другой. Например, в нефтедобывающей скважине может понадобиться снизить или устранить отбор природного газа и максимально увеличить отбор нефти. В то время как для управления потоком флюидов, исходя из необходимости их отбора, применяются различные скважинные инструменты, возникла необходимость в применении системы управления потоком, регулирующей приток флюидов, которая обладала бы надежностью при различных параметрах потока. Также возникла необходимость в применении системы управления потоком, работающей автономно, то есть такой, которая реагирует на изменения скважинных условий и не требует сигналов, посылаемых с поверхности оператором. Также возникла необходимость в применении системы управления потоком, не имеющей подвижных механических частей, которые подвержены поломкам в неблагоприятных скважинных условиях, включая эрозию или засорение за счет песка, присутствующего во флюиде. Сходные проблемы возникают в отношении работ по закачиванию, когда поток флюидов поступает не из пласта, а в пласт.

Раскрытие изобретения

Приводится описание аппарата для управления потоком флюида в трубчатом элементе, размещенном в стволе скважины, проходящем через углеводородсодержащий подземный пласт. Система управления потоком находится в гидравлическом сообщении с эксплуатационным трубопроводом. Система управления потоком состоит из системы управления направлением потоков и канальной системы регулирования сопротивления. Система управления направлением потоков может иметь в своем составе систему управления скоростью потока, имеющую, по меньшей мере, первый и второй проходной канал, буровой флюид поступает в проходные каналы, при этом соотношение потоков флюидов зависит от их характеристик, таких как вязкость, плотность, скорость потока или сочетание данных свойств. Канальная система регулирования сопротивления включает в себя циклонную скважину, имеющую, по меньшей мере, первый вход и выход, при этом первый вход канальной системы сопротивления находится в гидравлическом сообщении с, по меньшей мере, одним из первого или второго проходных каналов системы регулирования соотношения потоков. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, канальная система регулирования сопротивления имеет два входа. Первый вход располагается так, чтобы направлять флюид в циклонную камеру таким образом, чтобы он поступал туда в основном по касательной; второй вход располагается так, чтобы направлять флюид таким образом, чтобы он поступал в циклонную камеру в основном радиально. Желательные для отбора флюиды, такие как нефть, выделяются, исходя из их относительных характеристик, и направляются в циклонную камеру радиально. Флюиды, присутствие которых в нефтяной скважине нежелательно (такие как природный газ или вода), направляются в циклонную камеру в основном по касательной, тем самым, ограничивая поток флюида.

В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, система управления потоком также включает в себя систему усиления потока, которая устанавливается между системой регулирования соотношения потоков и канальной системой регулирования сопротивления, и которая находится в гидравлическом сообщении с обеими данными системами. Система усиления потока может включать в себя пропорциональный усилитель, усилитель струйного типа или дифференциальный усилитель. Желательно предусмотреть третий проходной канал для флюида, основной канал, в системе регулирования соотношения потоков. Система усиления потока затем использует потоки из первого и второго проходных каналов в качестве средств управления для перенаправления потока из основного проходного канала.

Скважинный трубчатый элемент может включать серию систем управления потоком, выполненных в соответствии с настоящим изобретением. Внутренний проходной канал нефтепромыслового трубопровода также может иметь кольцевой канал, при этом серия систем управления потоком располагается рядом с кольцевым каналом, так что поток, проходящий по кольцевому каналу, направляется в серию систем управления потоком.

В одном аспекте настоящего изобретения предложено устройство, содержащее систему регулирования потока, имеющую общий, для по меньшей мере трех проходных каналов, вход и распределяющую на указанном общем входе поток флюида по указанным, по меньшей мере, трем проходным каналам в зависимости от степени вязкости указанного флюида, и общий, для указанных по меньшей мере трех проходных каналов, выход, на котором происходит воссоединение потока флюида в направлении, которое зависит от степени вязкости потока флюида, причем указанные, по меньшей мере, три проходных канала имеют первое, второе и третье сопротивление потоку

флюида, каждое из которых отлично от двух других из указанных сопротивлений потоку флюида.

Указанное устройство может содержать среди указанных по меньшей мере трех проходных каналов первый и второй проходные каналы, находящиеся в сообщении с указанными входом и выходом, причем первый проходной канал с указанного выхода ориентирован в первом направлении, а второй проходной канал с указанного выхода ориентирован во втором направлении, отличном от первого направления.

Указанное устройство может дополнительно содержать по меньшей мере в одном из указанных проходных каналов струйный диод.

Указанное устройство может дополнительно содержать в одном из указанных проходных каналов первый ограничитель потока, отличный от второго ограничителя потока, размещенного в другом из указанных проходных каналов, причем первый и второй ограничители потока выбраны из группы, включающей в себя: струйный диод; извилистый проход; рельефная поверхность; материал, который набухает при контакте с определенным флюидом; и отверстие.

В одном из вариантов в указанном устройстве один из указанных проходных каналов длиннее, чем другие проходные каналы, и по всей его длине имеет подходящий диаметр для обеспечения по мере повышения вязкости флюида большего, чем у других проходных каналов, сопротивления потоку указанного флюида.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства в одном из указанных проходных каналов возможность изменения сопротивления потоку флюида в ответ на изменение вязкости указанного флюида обеспечена иначе, чем обеспечена аналогичная возможность в другом из указанных проходных каналов.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства один из указанных проходных каналов выполнен с возможностью обеспечения по существу постоянного сопротивления потоку флюида в ответ на изменение вязкости указанного флюида.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства один из указанных проходных каналов выполнен с возможностью обеспечения большего, чем другой проходной канал, сопротивления в ответ на повышение вязкости флюида.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства система регулирования потока расположена в скважинном инструменте.

В другом аспекте настоящего изобретения предложено скважинное устройство для установки в стволе скважины в подземном участке, содержащее по существу трубчатую стенку корпуса, отделяющую внутреннюю часть скважинного устройства от внешней его части, проходящей в радиальном направлении наружу от указанной внутренней части и, при установке в стволе скважины, образующей совместно с указанным стволом скважины кольцевое пространство; и струйный диод, находящийся в гидравлическом сообщении между внутренней частью скважинного устройства и внешней частью скважинного устройства сквозь стенку корпуса.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства указанный струйный диод выполнен с возможностью обеспечения гидравлического сообщения между указанными внутренней и внешней частями скважинного устройства для подачи добываемого флюида из наружной части скважинного устройства внутрь скважинного устройства.

В одном из вариантов осуществления указанное скважинное устройство дополнительно содержит секцию колонны завершения.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства указанный струйный диод выполнен с возможностью обеспечения гидравлического сообщения

между указанными внутренней и внешней частями скважинного устройства для подачи нагнетательного флюида из внутренней части скважинного устройства в наружную часть скважинного устройства.

В одном из вариантов осуществления указанное скважинное устройство дополнительно содержит секцию рабочей колонны.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства указанный струйный диод содержит внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности; первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей; и второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью направления потока флюида от второго отверстия для его вращения вокруг первого отверстия.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства наибольшее расстояние между противоположными торцевыми поверхностями меньше наибольшего измерения противоположных торцевых поверхностей.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства первое отверстие представляет собой выход внутренней камеры, а второе отверстие представляет собой вход внутренней камеры.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства струйный диод содержит цилиндрическую камеру для приема потока флюида через вход камеры и направления указанного потока к выходу камеры.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства цилиндрическая камера выполнена с возможностью способствования вращению потока флюида вокруг указанного выхода камеры, причем скорость вращения основана на характеристике притока флюида через указанный вход.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства наибольшее осевое измерение цилиндрической камеры меньше наибольшего диаметрального измерения цилиндрической камеры.

В другом аспекте настоящего изобретения предложено скважинное устройство для установки в стволе скважины в подземном пласте для сообщения потока флюида с подземным пластом, когда указанное скважинное устройство установлено в стволе скважины, содержащее корпус, задающий внутреннюю часть и наружную кольцевую часть указанного скважинного устройства; струйный диод, расположенный в протоке, проходящем через корпус скважинного устройства и между внутренней и наружной частями скважинного устройства, для приема потока флюида, проходящего между внутренней и наружной частями скважинного устройства, причем указанный струйный диод содержит: внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности; причем наибольшее расстояние между противоположными торцевыми поверхностями меньше наибольшего измерения противоположных торцевых поверхностей; первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей; и второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия; причем боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью направления потока флюида от второго отверстия для его вращения вокруг первого отверстия.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства струйный

диод размещен в протоке, проходящем от внутренней к наружной части скважинного устройства, для приема потока нагнетательного флюида.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства струйный диод размещен в протоке, проходящем от наружной к внутренней части скважинного устройства, для приема потока добываемого флюида.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства первое отверстие представляет собой выход внутренней камеры, а второе отверстие представляет собой вход внутренней камеры.

В одном из вариантов осуществления указанного скважинного устройства первое отверстие представляет собой вход во внутреннюю камеру, а второе отверстие представляет собой выход из внутренней камеры.

В еще одном аспекте настоящего изобретения предложено устройство для регулирования потока, предназначенное для установки на скважинной трубе в подземном стволе скважины и содержащее внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности, причем наибольшее расстояние между противоположными торцевыми поверхностями меньше наибольшего измерения противоположных торцевых поверхностей; первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей для вывода потока флюида в скважинную трубу или ствол скважины или для приема потока флюида из скважинной трубы или ствола скважины; второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия для вывода потока флюида в другую скважинную трубу или другой ствол скважины или для приема потока флюида из другой скважинной трубы или другого ствола скважины, причем боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью направления потока флюида от второго отверстия для его вращения вокруг первого отверстия; первый проток, выполненный с возможностью направления потока флюида через второе отверстие во внутреннюю камеру под первым углом; и второй проток, выполненный с возможностью направления потока флюида через второе отверстие во внутреннюю камеру под вторым углом, отличным от указанного первого угла; причем между указанными первым и вторым протоками задано соотношение потоков, автономно изменяемое в ответ на изменения характеристики потока флюида, поступающего в устройство регулирования.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства регулирования потока первое отверстие представляет собой выход из внутренней камеры, а второе отверстие представляет собой вход во внутреннюю камеру.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства регулирования потока первый проток выполнен с возможностью направления потока флюида через вход по существу в направлении под углом к выходу и вдоль боковой периметровой поверхности.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства регулирования потока второй проток выполнен с возможностью направления потока флюида через вход по существу в радиальном направлении относительно выхода и перпендикулярно боковой периметровой поверхности.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства регулирования потока боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью способствования вращению потока флюида из первого протока вокруг выхода.

В одном из вариантов осуществления указанного устройства регулирования потока внутренняя камера выполнена с возможностью поддержания по существу отсутствия

вращения потока флюида, направленного из второго протока к выходу.

В еще одном аспекте настоящего изобретения предложено способ автономного направления потока флюида в подземный ствол скважины, содержащий этапы, на которых: принимают первичный поток флюида в скважинном устройстве, и затем разделяют первичный поток флюида на первый поток и отдельный от него второй поток; устанавливают соотношение между указанными первым и вторым потоками; автономно изменяют указанное соотношение в ответ на изменения характеристики флюида; принимают указанные первый и второй потоки флюида, причем первый поток меньше второго потока и протекает в первом направлении, отличном от второго направления, в котором протекает второй поток; воссоединяют указанные первый и второй потоки в комбинированный поток; направляют полученный комбинированный поток в сторону от второго направления в направлении первого направления; и создают для потока условия, при которых происходит автономное усиление стремления комбинированного потока протекать в первом направлении.

В одном из вариантов осуществления указанного способа этап создания для потока условий включает в себя направление комбинированного потока в поверхность, проходящую в первом направлении, что усиливает стремление комбинированного потока протекать вдоль указанной поверхности в первом направлении.

В одном из вариантов осуществления указанного способа характеристика потока представляет собой по меньшей мере одно из следующего: плотность флюида, вязкость флюида или скорость потока флюида.

В одном из вариантов осуществления указанного способа поток флюида имеет два устойчивых состояния для устойчивого протекания в первом или втором направлении, причем этап создания для потока условий включает в себя создание таких условий, при которых происходит усиление стремления комбинированного потока устойчиво протекать в первом направлении.

В одном из вариантов осуществления указанного способа скважинное устройство содержит пропорциональный усилитель, причем этап создания для потока условий включает в себя пропорциональное разделение потока между первым и вторым направлениями на основе потока флюида.

Краткое описание чертежей

Для более полного понимания конструктивных особенностей и преимуществ настоящего изобретения, настоящим приводится ссылка на подробное описание изобретения наряду с сопроводительными фигурами, где соответствующие цифровые обозначения, применяемые на различных фигурах, обозначают соответствующие им детали и где:

Фигура 1 - это схематическое изображение скважинной системы, включающей в себя серию автономных систем управления потоком, отражающих принципы настоящего изобретения;

Фигура 2 - это боковая проекция поперечного профиля системы фильтров, системы управления притоком и системы управления потоком, выполненных в соответствии с настоящим изобретением;

Фигура 3 - это схематическое представление автономной системы управления потоком, выполненной в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

На Фигурах 4A и 4B представлены расчетные гидродинамические модели системы управления потоком, показанной на Фигуре 3, как для природного газа, так и для нефти;

На Фигуре 5 представлен схематический чертеж варианта осуществления системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретением, где имеется система управления соотношением потоков, канальная система регулирования сопротивления и система усиления потока;

На Фигурах 6A и 6B представлены расчетные гидродинамические модели, на которых показан эффект влияния на соотношение потоков со стороны системы усиления потока в системе управления потоком, выполненной по одному из вариантов осуществления настоящего изобретения;

На Фигуре 7 представлен схематический чертеж дифференциальной системы усиления потока, предназначенной для применения в рамках настоящего изобретения;

На Фигуре 8 представлен вид в перспективе на систему управления потоком, выполненную в соответствии с настоящим изобретением и размещенную в трубчатом элементе;

На Фигуре 9 представлена профильная проекция серии систем управления потоком, выполненных в соответствии с настоящим изобретением и размещенных в секции трубопровода.

На Фигуре 10 представлен схематический чертеж одного из вариантов осуществления системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретением, включающей в себя систему управления соотношением, дифференциальную систему усиления, двухпозиционную систему усиления и канальную систему регулирования сопротивления;

На Фигурах 11A-B представлены расчетные гидродинамические модели, на которых показан эффект влияния на соотношение потоков для варианта осуществления системы управления потоком, показанного на Фигуре 10;

На Фигуре 12 приводится схематический чертеж системы управления потоком, выполненной в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, где применяется система управления соотношением потока, система усиления потока флюида, где последовательно установлены пропорциональный усилитель, двухпозиционный усилитель, а также канальная система регулирования сопротивления;

На Фигурах 13A и 13B приводятся расчетные гидродинамические модели, где показаны структуры потока флюида для варианта осуществления системы управления потоком, показанного на Фигуре 12;

На Фигуре 14 представлен вид в перспективе на систему управления потоком, выполненную в соответствии с настоящим изобретением и размещенную в трубчатом элементе;

На Фигуре 15 представлен схематический чертеж системы управления потоком, выполненной в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, которая предназначена для выделения флюида с более низкой вязкостью относительно флюида с более высокой вязкостью;

На Фигуре 16 представлен схематический чертеж, где показано применение систем управления потоком, выполненных в соответствии с настоящим изобретением и установленных в нагнетательную и эксплуатационную скважину;

На Фигуре 17A-C представлены схематические разрезы варианта осуществления канальных систем регулирования сопротивления, выполненных в соответствии с настоящим изобретения, где показано изменение скорости потока с течением времени;

На Фигуре 18 представлен график зависимости давления от скорости потока, где показан эффект гистерезиса, который следует ожидать при изменении скорости потока с течением времени в системе, изображенной на Фигуре 17;

На Фигуре 19 представлен схематический чертеж, где показана система управления потоком, выполненная в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, где имеется система регулирования соотношения, система усиления и канальная система регулирования сопротивления, которую можно, например, использовать вместо регулятора притока;

На Фигуре 20 представлен график зависимости давления (P) от скорости потока (Q), отображающий характер изменений в каналах прохождения потока для чертежа на Фигуре 19;

На Фигуре 21 представлен схематический чертеж варианта осуществления системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретением и включающей в себя серию последовательно установленных клапанов, вспомогательный проходной канал для потока и канальную систему регулирования сопротивления, установленную во вторичном проходном канале;

На Фигуре 22 приводится схематический чертеж системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретении и предназначенной к применению при операциях обратного цементирования; система устанавливается в трубчатом элементе, выступающем в ствол скважины;

На Фигуре 23 представлен схематический чертеж системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретением; и

На Фигуре 24A-D показано схематическое представление четырех альтернативных вариантов осуществления канальной системы регулирования сопротивления, выполненной в соответствии с настоящим изобретением.

Специалист с соответствующим уровнем технической подготовки должен учитывать, что термины, указывающие направление (такие как выше, ниже, верхний, нижний, вверх, вниз и т.п.) указывают на направление в связи с приведенными на иллюстрациях вариантами осуществления изобретения, с тем, как именно они изображены на фигурах; направление вверх обращено к верхней части соответствующей фигуры, а направление вниз обращено к нижней части такой фигуры. В иных случаях, если термин используется для указания требуемой ориентации, в описании изобретения об этом будет указано или разъяснено особо. Термины "верхний по потоку" и "нижний по потоку" применяются для обозначения положения или направления относительно поверхности, где термин "верхний по потоку" обозначает относительное положение или перемещение по стволу скважины в направлении к поверхности, а термин "нижний по потоку" обозначает относительное положение или перемещение по стволу скважины в направлении от поверхности.

Осуществление изобретения

В то время как выполнение и применение различных вариантов осуществления настоящего изобретения подробно описано ниже, специалист с соответствующим уровнем технической подготовки должен понимать, что настоящее изобретение предлагает прикладные замыслы, которые могут быть осуществлены в разных специфических контекстах. Конкретные варианты осуществления изобретения, описанные в данном документе, приводятся с целью проиллюстрировать способы выполнения и применения настоящего изобретения, не исчерпывая его объем.

Фигура 1 - это схематическое изображение скважинной системы, обозначенной цифрой 10 и включающей в себя серию автономных систем управления потоком, отражающих принципы настоящего изобретения. Ствол скважины 12 проходит через различные слои почвы. Ствол скважины 12 имеет практически вертикальную секцию 14, в верхней части которой установлена обсадная колонна 16. Ствол скважины 12

также имеет практически отклоняющуюся секцию 18, которая показана как горизонтальная и которая проходит через углеводородсодержащий подземный пласт 20. Как показано на иллюстрации, практически горизонтальная секция 18 ствола скважины 12 является необсаженной. Хотя здесь необсаженной показана горизонтальная секция ствола скважины, изобретение работает в любой ориентации, как в необсаженном, так и в обсаженном стволе. Одинаково хорошо изобретение будет работать и с системами нагнетания, как описывалось ранее.

Внутри ствола скважины 12 размещена насосно-компрессорная колонна 22, которая выступает над поверхностью. Насосно-компрессорная колонна 22 представляет собой канал, по которому флюиды перемещаются из пласта 20 вверх, на поверхность. Внутри насосно-компрессорной колонны 22, в различных продуктивных интервалах, лежащих вблизи пласта 20, размещается серия автономных систем управления потоком 25 и серия эксплуатационных секций насосно-компрессорной колонны 24. На каждом конце каждой эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны 24 расположен пакер 26, обеспечивающий гидравлическое уплотнение между насосно-компрессорной колонной 22 и стенкой ствола скважины 12. Пространство между каждой парой соседних пакеров 26 определяет продуктивный интервал.

В варианте осуществления, показанном на иллюстрации, каждая из эксплуатационных секций насосно-компрессорной колонны 24 включает в себя средства борьбы с поступлением песка. Элементы сетчатого песчаного фильтра или фильтрующие приспособления, установленные на эксплуатационных секциях насосно-компрессорной колонны 24, предназначены для пропускания через себя флюидов и для задержания твердых частиц соответствующего размера. Само изобретение не требует применения сетчатого песчаного фильтра, но если таковой используется, то конкретная конструкция фильтрующего элемента, соединенного с системами управления потоком, для настоящего изобретения не имеет особого значения. Существует множество конструкций сетчатых песчаных фильтров, хорошо известных в отрасли, поэтому в данном документе их подробное описание приводиться не будет. Также, вокруг любого из таких фильтрующих приспособлений может размещаться защитный внешний кожух, имеющий серию сквозных отверстий.

Благодаря применению в одном или более продуктивных интервалов систем управления потоком 25, выполненных в соответствии с настоящим изобретением, можно осуществлять некоторое регулирование объема и состава отбираемых флюидов. Например, при операциях по нефтедобыче, если нежелательный флюид-компонент, такой как вода, пар, двуокись углерода или природный газ, поступает в один из продуктивных интервалов, система управления потоком в данном интервале автономно сокращает или прекращает отбор флюида из данного интервала.

Термин "природный газ" в данном контексте означает смесь углеводородов (и изменяющихся объемов не углеводородных веществ), которая находится в газообразном состоянии при комнатной температуре и давлении. Термин не указывает на то, что природный газ находится в газообразном состоянии в стволе скважины, по месту размещения систем, воплощающих в себе идею изобретения. Фактически, следует понимать, что система управления потоком предназначена для применения в условиях, где давление и температура таковы, что природный газ в основном будет пребывать в сжиженном состоянии, хотя в скважине могут присутствовать и другие компоненты, некоторые из которых могут находиться в газообразном состоянии. Изобретательский замысел предусматривает работу с жидкостями или газами, либо с веществами в обоих состояниях.

Поток, поступающий в эксплуатационную секцию насосно-компрессорной колонны 24, обычно состоит более чем из одного флюида-компонента. Обычными компонентами являются природный газ, нефть, вода, пар или двуокись углерода. Пар и двуокись углерода широко применяются в качестве нагнетаемых флюидов для вытеснения углеводородов к эксплуатационному трубопроводу, в то время как газ, нефть и вода обычно находятся по месту добычи, в пласте. Количественное отношение данных компонентов во флюиде, поступающем в каждую эксплуатационную секцию насосно-компрессорной колонны 24, изменяется с течением времени и зависит от условий внутри пласта и ствола скважины. Аналогично, состав флюида, поступающего в различные эксплуатационные секции насосно-компрессорной колонны по всей ее длине, могут значительно изменяться от секции к секции. Система управления потоком предназначена для снижения или ограничения отбора флюида из конкретного продуктивного интервала, если в нем отмечается повышенное содержание нежелательного компонента.

Таким образом, если продуктивный интервал, которому соответствует одна из систем управления потоком, отбирает большую часть нежелательного флюида-компонента, то система управления потоком в данном интервале ограничивает или перекрывает отбор потока продукции из данного интервала. При этом остальные продуктивные интервалы, из которых производится отбор большей части желательного флюида-компонента, в данном случае - нефти, формируют поток продукции, поступающей в насосно-компрессорную колонну 22. В частности, скорость потока из пласта 20 в насосно-компрессорную колонну 22 снижается, если флюид должен протекать через систему управления потоком (по сравнению с поступлением напрямую в насосно-компрессорную колонну). Иначе говоря, система управления потоком создает ограничение потока флюида.

Хотя на Фигуре 1 показана одна система управления потоком в каждом продуктивном интервале, следует понимать, что в пределах одного продуктивного интервала можно развернуть любое количество систем, выполненных в соответствии с настоящим изобретением, без отклонения от его принципов. Аналогичным образом, системы управления потоком, выполненные в соответствии с настоящим изобретением, не обязательно должны выделяться для каждого продуктивного интервала. Они могут устанавливаться только в некоторых продуктивных интервалах ствола скважины или размещаться в канале насосно-компрессорной трубы, для обслуживания нескольких продуктивных интервалов.

Фигура 2 - это боковая проекция поперечного профиля системы фильтров 28, а также варианта осуществления системы управления потоком 25, в соответствии с изобретением, в состав которого входит система управления направлением потоков, включающая в себя систему регулирования соотношения потоков 40, а также канальную систему регулирования сопротивления 50. Эксплуатационная секция насосно-компрессорной колонны 24 оснащена системой фильтрации 28, необязательным к установке регулятором притока (не показан) и системой управления потоком 25. Эксплуатационный трубопровод определяет внутренний проходной канал 32. Флюид поступает из пласта 20 в эксплуатационную секцию насосно-компрессорной колонны 24 через систему фильтрации 28. Специфические особенности системы фильтрации в данном документе не рассматриваются. Флюид, после очистки в системе фильтрации 28 (если таковая имеется), поступает во внутренний проходной канал 32 эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны 24. В данном контексте, внутренний проходной канал 32 эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны 24 может представлять собой кольцевое пространство, как это показано, центральное цилиндрическое

пространство либо иную схему размещения. В практическом плане, скважинные инструменты имеют проходные каналы различной структуры; часто поток флюида протекает по кольцевым проходным каналам, центральным отверстиям, змеевидным или извилистым каналам, а также других схем, учитывающих различные назначения. Флюид может направляться через извилистый канал или другие каналы для прохождения флюидов для обеспечения дальнейшей фильтрации, управления потоком флюида, перепада давления и т.д. Затем флюид поступает в регулятор притока, если таковое имеется. Различные регуляторы притока хорошо известны на современном уровне техники и в данном документе подробно не описываются. В качестве примера такого устройства регулирования потока можно привести серийно выпускаемые устройства компании Halliburton Energy Services, Inc. под торговым знаком EquiFlow®. Затем флюид поступает на вход 42 системы управления потоком 25. Здесь предлагается располагать дополнительный регулятор притока выше по потоку относительно устройства, описанного в настоящем изобретении, его также можно размещать ниже по потоку относительно устройства, описанного в настоящем изобретении, либо параллельно с таким устройством.

Фигура 3 - это схематическое представление автономной системы управления потоком 25, выполненной в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Система 25 оснащена системой управления направлением потока флюида 40 и канальной системой регулирования сопротивления 50.

Система управления направлением флюида предназначена для регулирования протекания флюида, направляемого в один или более входов последующих подсистем, таких как усилители и канальные системы регулирования сопротивления. Система соотношения потоков флюидов является предпочтительным вариантом осуществления системы управления направлением флюида, она предназначена для разделения потока флюида на несколько потоков с разным объемным соотношением, при этом учитываются характерные свойства потока флюида. К таким свойствам, в частности, относятся вязкость флюида, его плотность, скорость потока, а также сочетание данных свойств. Применяя термин "вязкость", авторы имеют в виду любое реологическое свойство, в том числе кинематическую вязкость, предел текучести, вязкопластичность, поверхностное натяжение, смачиваемость и т.д. По мере изменения пропорциональных количеств флюидов-компонентов (например, нефти и природного газа) в добываемом флюиде с течением времени, характеристика потока флюида также изменяется. Если флюид содержит относительно высокую пропорциональную долю природного газа, например, плотность и вязкость флюида будут ниже, чем в случае с нефтью. Поведение флюидов в проходных каналах зависит от характеристик потока флюидов. Также, некоторые конфигурации проходных каналов ограничивают поток или обеспечивают ему более высокое сопротивление при прохождении, в зависимости от характеристик потока флюидов. Система регулирования соотношения потоков использует данные изменения характеристик потока флюидов, происходящие в течение срока эксплуатации скважины.

Система регулирования соотношения потоков флюида 40 получает флюид 21 из внутреннего проходного канала 32 эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны 24 или от регулятора притока, через вход 42. Система регулирования соотношения потоков 40 имеет первый проходной канал 44 и второй проходной канал 46. По мере поступления флюида в систему регулирования соотношения потоков через вход 42, он разделяется на два потока, один из которых протекает по первому проходному каналу 44, и еще один - по второму проходному каналу 46. Два проходных

канала 44 и 46 имеют разную конфигурацию, чем обеспечивается разное сопротивление для проходящего потока флюидов, исходя из характеристик данного потока.

Первый проходной канал 44 предназначен для создания большего сопротивления проходящим желательным флюидам. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения, первый проходной канал 44 выполнен в виде длинной и сравнительно узкой трубки, которая обеспечивает большее сопротивление для таких флюидов, как нефть, и меньшее сопротивление для таких флюидов, как природный газ или вода. Также возможно применение трубок регулирования сопротивления по вязкости, выполненных с применением других конструкций, например, с извилистым проходом или каналом и рельефной поверхностью внутренних стенок. Очевидно, что сопротивление, которое обеспечивает первый проходной канал 44, может неограниченно изменяться при изменениях характеристики флюида. Например, первый проходной канал будет обеспечивать большее сопротивление для флюида 21, если соотношение нефти к природному газу во флюиде составляет 80:20, чем для случая, когда соотношение будет составлять 60:40. Также первый проходной канал будет обеспечивать сравнительно малое сопротивление для некоторых флюидов, таких как природный газ или вода.

Второй проходной канал 46 предназначен для создания относительно постоянного сопротивления для флюида, независимо от характеристик потока флюидов, либо для создания большего сопротивления для прохождения нежелательных флюидов. Предпочтительно, второй проходной канал 46 должен включать в себя, по меньшей мере, один дроссель 48. В качестве дросселя 48 может выступать трубка Вентури, дроссельное отверстие или насадка. Предпочтительна установка нескольких дросселей 48. Можно подбирать количество и тип дросселей, а также степень ограничения потока, с тем, чтобы обеспечить нужное сопротивление для потока флюидов. Первый и второй проходные каналы могут создавать повышенное сопротивление для потока флюидов по мере увеличения его вязкости, но сопротивление потоку в первом проходном канале будет больше, чем повышение сопротивления потоку во втором проходном канале.

Таким образом, система регулирования соотношения потоков 40 может применяться для разделения потока 21 на потоки по заранее определенному соотношению. В случае если флюид состоит из нескольких флюидов-компонентов, за соотношение потоков обычно принимается соотношение между двумя отдельными компонентами. Также, по мере изменения компонентного состава пластового флюида с течением времени, соответственно будет изменяться и соотношение потоков. Изменение соотношения потоков используется для изменения структуры потока флюида в канальной системе регулирования сопротивления.

Система управления потоком 25 включает в себя канальную систему регулирования сопротивления 50. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения, канальная система регулирования сопротивления имеет первый вход 54, находящийся в гидравлическом сообщении с первым проходным каналом 44, второй вход 56, находящийся в гидравлическом сообщении со вторым проходным каналом 46, циклонную камеру 52 и выход 58. Первый вход 54 направляет флюид в циклонную камеру по касательной. Второй вход 56 направляет флюид в циклонную камеру 56 радиально. Флюиды, поступающие в циклонную камеру 52 по касательной, спирально огибают ее и, в конце концов, попадают к выходу 58. Флюид, закрученный в циклонной камере по спирали, испытывает на себе воздействие сил трения. Далее, тангенциальная составляющая скорости создает центробежную силу, препятствующую движению радиального потока. Флюид из второго входа поступает

в камеру радиально и протекает по стенке циклонной камеры к ее выходу, не закручиваясь по спирали. Вследствие этого, канальная система регулирования сопротивления создает большее сопротивление для флюидов, поступающих в камеру по касательной, чем для тех флюидов, которые поступают в камеру радиально. Данное сопротивление реализуется в виде обратного давления на верхний по потоку флюид, а, следовательно - снижения скорости потока. Возможно выборочное воздействие обратного давления на флюид, за счет увеличения пропорциональной доли флюида, поступающего в камеру по касательной, а, следовательно - снижения скорости потока, как это делается в соответствии с изобретательским замыслом.

В результате разницы сопротивлений потоку в первом и втором проходных каналах системы регулирования соотношения потоков, объемный поток разделяется и поступает в два данных проходных канала. Соотношение можно вычислить на основании скоростей двух полученных объемных потоков. Также для получения необходимых значений соотношения объемных потоков можно подобрать проходные каналы требуемой конструкции. Система регулирования соотношения потоков предлагает механизм, позволяющий направить сравнительно менее вязкий флюид в циклонную камеру по касательной, таким образом, создавая для него большее сопротивление и снижая скорость потока сравнительно менее вязкого флюида, по сравнению с теми нагрузками, которые бы испытывал поток в случае отсутствия такой системы.

На Фигурах 4А и 4В представлены две расчетные гидродинамические модели системы управления потоком, показанной на Фигуре 3, как для структуры потока природного газа, так и для нефти; На модели 4А показан вариант для природного газа с приблизительным соотношением объемных потоков 2:1 (отношение скорости потока на касательном входе 54 циклонной камеры к скорости на радиальном ее входе 56), а на модели 4В показан вариант для нефти с приблизительным соотношением потоков 1:2. На примере данных моделей видно, что при правильном подборе размеров и типов проходных каналов системы регулирования соотношения потоков, она позволяет направить основную часть потока флюида, состоящего по большей мере из природного газа, по касательной в канальную систему регулирования сопротивления, что является более энергозатратным маршрутом для прохождения потока. Таким образом, систему регулирования соотношения потоков можно применять в сочетании с канальной системой регулирования сопротивления для снижения объемов природного газа, отбираемого из данной конкретной эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны.

Следует отметить, что в структуре потоков, показанной на Фигуре 4, возможно создание вихревых или "мертвых" зон 60 на стенках циклонной камеры 52. Здесь могут оседать песок или твердые частицы, содержащиеся во флюиде; они скапливаются в данных вихревых зонах 60. Как следствие, в одном из вариантов осуществления изобретения, канальная система регулирования сопротивления дополнительно имеет один или более вторичных выходов 62, позволяющих вымывать песок из циклонной камеры 52. Предпочтительно, чтобы вторичные выходы 62 гидравлически сообщались с эксплуатационной колонной 22 выше по потоку относительно циклонной камеры 52.

Углы, под которыми флюид направляется от первого и второго входов в циклонную камеру, можно изменять, что полезно в том случае, если поток, поступающий в канальную систему регулирования сопротивления, тесно сбалансирован. Углы наклона первого и второго входов подбираются так, чтобы комбинация результирующих векторов для потоков из первого и второго входов была направлена на выход 58 циклонной камеры 52. Как вариант, углы наклона первого и второго входов могут

подбираться так, чтобы комбинация результирующих секторов для потоков из первого и второго входов обеспечивала максимальное спиральное завихрение потока флюидов в камере. Также возможен такой подбор углов отклонения потоков из первого и второго входов, чтобы до минимума сократить количество вихревых зон 60 в циклонной камере. Специалист с соответствующим уровнем технической подготовки должен понимать, что углы наклона входов в месте их соединения с циклонной камерой можно изменять для получения требуемой в камере потока структуры.

Также в циклонной камере можно установить крыльчатку либо применить иное направляющее устройство, например, нанести пазы, приливы, "волны" или модифицировать поверхность иным способом с тем, чтобы скорректировать направление потока флюидов внутри камеры или создать дополнительное сопротивление потоку на определенных направлениях вращения. Циклонная камера может иметь, как это показано, цилиндрическую форму, а также прямоугольную, овальную, сферическую, сфероидальную либо другую форму.

На Фигуре 5 представлен схематический чертеж варианта осуществления системы управления потоком 125, где имеется система регулирования соотношения потоков 140, канальная система регулирования сопротивления 150 и система усиления потока 170. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, в состав системы управления потоком 125 входит система усиления потока 170, которая служит для повышения разницы соотношений, полученной в первом и втором проходных каналах (144, 146) системы регулирования соотношения потоков 140, так чтобы получить большее соотношение между объемными потоками на первом входе 154 и втором входе 156 канальной системы регулирования сопротивления 150. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, система регулирования соотношения потоков 140 дополнительно оснащена проходным каналом основного потока 147. В данном варианте осуществления изобретения, поток флюидов разделяется на три потока, проходящих по каналам 144, 146 и 147, при этом основной поток направляется по основному каналу 147. Следует понимать, что разделение потоков по каналам может определяться конструктивными параметрами самих проходных каналов. Основной проходной канал 147 необязательно должен использоваться для подачи флюида в систему усиления потока, но такая конфигурация является предпочтительной. В качестве примера соотношения входных потоков на трех входах, можно привести соотношение потоков для флюида, состоящего в основном из природного газа; оно равно 3:2:5 для первого: второго:основного проходных каналов. Соотношение для флюида, состоящего в основном из нефти, будет 2:3:5.

Система усиления потока 170 имеет первый вход 174, который гидравлически сообщается с первым проходным каналом 144; второй вход 176, который гидравлически сообщается со вторым проходным каналом 146; а также основной вход 177, который гидравлически сообщается с основным проходным каналом 147. Входы 174, 176 и 177 системы усиления потока 170 соединяются в камере усиления 180. Затем поток флюидов в камере 180 разделяется на потоки, поступающие на выход усиления 184, который гидравлически сообщается с входом 154 канальной системы регулирования сопротивления, а также на выход усиления 186, который гидравлически сообщается с входом 156 канальной системы регулирования сопротивления. Система усиления потока 170 представляет собой струйный усилитель, где за счет входных потоков со сравнительно малыми показателями осуществляется регулирование выходных потоков с высокими показателями. Флюид, поступающий в систему усиления потока 170, превращается в поток, принудительно подающийся в определенном соотношении на

выходные каналы, что достигается за счет точного подбора внутренних форм деталей системы усиления потока 170. Входные каналы 144 и 146 системы регулирования соотношения потоков выступают в качестве средств управления, подающих форсунок, которые направляют поток флюида из основного канала 147 на выбранный выход усиления 184 или 186. Поток управляющей струи может быть более слабым, чем поток в основном канале, хотя это и необязательно. Входы регулирования усиления 174 и 176 расположены таким образом, чтобы воздействовать на результирующий поток, тем самым осуществляется регулирование пропускной способности выходов 184 и 186.

Внутреннюю форму входов усилителя можно подбирать таким образом, чтобы обеспечить требуемую эффективность регулирования структуры потока на выходах. Например, на иллюстрации показано, что входы усилителя 174 и 176 подсоединяются под прямым углом к основному входу 177. Углы подсоединения можно подбирать в зависимости от необходимого диапазона регулирования потока флюида. Также на иллюстрации показано, что на входах усилителя 174, 176 и 177 установлены ограничительные насадки 187, 188 и 189, соответственно. Данные ограничители обеспечивают больший эффект впрыска при слиянии входного потока в камере 180. Камера 180 также может иметь различную конструкцию, в том числе с подбором размера входов, изменением углов, под которыми входы и выходы крепятся к камере, изменением формы камеры, например, с целью минимизации вихревых зон и сепарации потока; также выходы могут иметь другой размер и устанавливаться под другими углами. Специалисты с соответствующим уровнем технической подготовки должен понимать, что на Фигуре 5 представлен только один пример варианта осуществления системы усиления потока, возможно применение и других схем. Также можно подбирать количество и тип усилителя потока.

На Фигурах 6А и 6В представлены две расчетные гидродинамические модели, на которых показан эффект усиления соотношения потоков со стороны системы усиления потока 270 в системе управления потоком, выполненной по одному из вариантов осуществления настоящего изобретения. На модели 6А показаны пути движения потока, если единственным компонентом флюида является природный газ. Соотношение объемных потоков в первом проходном канале 244 и во втором проходном канале 246 составляет 30:20, при этом пятьдесят процентов суммарного потока поступает в проходной канал 247. Система усиления потока 270 увеличивает данное соотношение до 98:2 на первом выходе усиления 284 и втором выходе усиления 286. Аналогично, на модели 6В показано усиление соотношения потоков с показателя 20:30 (при этом пятьдесят процентов суммарного потока проходит по основному каналу) до 19:81; здесь единственным компонентом флюида является нефть.

Система усиления потока 170, изображенная на Фигуре 5, представляет собой усилитель струйного типа; то есть, в усилителе используется эффект впрыска потоков, поступающих со входов, за счет чего изменяется и направление движения флюидов на выходах. Другие типы систем усиления, такие как усилитель дифференциального типа, показаны на Фигуре 7. Дифференциальная система усиления 370, изображенная на Фигуре 7, представляет собой струйный усилитель, где за счет сравнительно малого давления на входе регулируется более высокое давление на выходе; то есть, давление флюида выступает в роли средства регулирования при перенаправлении потока флюидов. Первый вход усилителя 374 и второй его вход 376 снабжены ограничительными насадками Вентури 390 и 391, соответственно, они служат для повышения скорости флюида и, соответственно, снижения его давления во входном канале. Посредством отверстий передачи давления флюида 392 и 393, разница давлений

между первым и вторым входами 374 и 376 передается на основной вход 377. Поток флюидов на основном входе 377 отклоняется по направлению к стороне с меньшим давлением и удаляется от стороны с более высоким давлением. Например, если флюид содержит сравнительно большую долю природного газа, то, за счет соотношения объемных потоков, он будет направляться в первый проходной канал системы регулирования соотношения потоков и на первый вход 374 системы усиления потока 370. При повышении скорости потока на первом входе 374, давление, сообщаемое через отверстие отбора давления 390, снижается; при понижении скорости потока на втором входе 376, давление, сообщаемое через отверстие 393, будет повышаться. Более высокое давление создает эффект нагнетания, а более низкое - эффект всасывания; данные эффекты воздействуют на основной поток, проходящий через основной вход 377, в результате чего большая часть потока поступает на выход усилителя 354. Следует отметить, что выходы 354 и 356 в данном варианте осуществления изобретения находятся в других местах по сравнению с выходами системы усиления потока струйного типа, представленной на Фигуре 5.

На Фигуре 8 представлен вид в перспективе (с изображением "скрытых" линий) на систему управления потоком, выполненную в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения и установленной в эксплуатационном трубопроводе. Система управления потоком 425, выполненная по предпочтительному варианту осуществления, внедряется в стенку трубопровода путем фрезерования, литья или любой другой формовочной операции. Проходные каналы 444, 446, 447, входы 474, 476, 477, 454, 456, камеры, такие как циклонная камера 452, а также выходы 484, 486 системы регулирования соотношения потоков 440, система усиления потока 470 и канальная система регулирования сопротивления 450, по меньшей мере, частично ограничиваются формой внешней поверхности 429 стенки трубопровода 427. Затем на внешнюю поверхность 429 стенки 427 помещается муфта 433, участки внутренней поверхности которой, по меньшей мере частично, создают различные проходные каналы и камеры системы 425, отштампованной в муфте. Как вариант, внутренняя поверхность муфты может быть обработана фрезерованием, при этом муфта размещается так, чтобы закрывать внешнюю поверхность стенки трубопровода. На практике может оказаться предпочтительным, чтобы стенка трубопровода и муфта образовывали только отдельные элементы системы управления потоком. Например, канальная система регулирования сопротивления и система усиления потока могут образовываться стенкой трубопровода, в то время как каналы системы регулирования соотношения потоков - нет. В предпочтительном варианте осуществления изобретения, первый проходной канал системы регулирования соотношения потоков, из-за его сравнительно большой длины, выполняется в виде змеевика, навитого вокруг трубопровода. Навитый проходной канал можно разместить в трубопроводе, по его внешней или внутренней стенке. Так как длина второго проходного канала системы регулирования соотношения потоков не обязательно должна быть такой же, как длина первого проходного канала, второй проходной канал можно не выполнять в виде змеевика.

В одном трубопроводе можно использовать несколько систем управления потоком 525. Например, на Фигуре 9 показано несколько систем управления потоком 525, установленных в стенке 531 одного трубопровода. Каждая система управления потоком 525 принимает флюид из внутреннего проходного канала 532 эксплуатационной насосно-компрессорной колонны. В эксплуатационной насосно-компрессорной колонне может быть один или несколько внутренних проходных каналов, служащих для подачи флюида

к системам управления потоком. В одном варианте осуществления изобретения, в эксплуатационном трубопроводе имеется кольцевое пространство для потока флюидов, которое может представлять собой один кольцевой канал или разделяться на несколько каналов, разнесенных по кольцевому пространству. Как вариант, в трубопроводе может иметься один центральный внутренний проходной канал, откуда флюид поступает к одной или более систем управления потоком. Специалист с соответствующим уровнем технической подготовки может создать собственные схемы установки.

На Фигуре 10 представлен схематический чертеж системы управления потоком, состоящей из системы регулирования соотношения потоков 640, системы усиления потока 670, в которой применен усилитель дифференциального типа с двухпозиционным переключателем, а также из канальной системы регулирования сопротивления 650. Система управления потоком, изображенная на Фигуре 10, предназначена для выделения нефтяного потока и отсечения газового потока. То есть, система создает более высокое обратное давление, если пластовый флюид становится менее вязким, что отмечается, к примеру, тогда, когда в нем содержится сравнительно высокое количество газа; при этом основная часть пластового флюида направляется в вихревую камеру по касательной. Если вязкость пластового флюида повышается, что отмечается, к примеру, тогда, когда в нем содержится сравнительно большое количество нефти, то большая часть флюида направляется в циклонную камеру радиально, и при этом создается незначительное обратное давление. Канальная система регулирования сопротивления 650 расположена ниже по потоку относительно усилителя 670, который, в свою очередь, расположен ниже по потоку относительно системы регулирования соотношения потоков 640. Применяемый в данном документе относительно различных вариантов осуществления устройств выделения флюида, термин "ниже по потоку" означает в направлении движения потока флюидов или далее по направлению такого потока, при работе системы. Аналогично, термин "выше по потоку" означает противоположное направление. Следует отметить, что данные термины могут использоваться и для описания относительного положения элемента в стволе скважины, в значении его нахождения дальше или ближе к поверхности; применение термина в этом значении становится очевидным из контекста.

Система регулирования соотношения потоков 640 вновь показана с двумя каналами: первым (644) и вторым (646). Первый проходной канал 644 представляет собой проходной канал регулирования по вязкости, в котором создается большее сопротивление для флюида с более высокой вязкостью. Первый проходной канал может представлять собой узкий трубчатый канал сравнительно большой длины, как показано на иллюстрации; он также может быть извилистым или иметь иную конструкцию, создающую нужное сопротивление для вязких флюидов. Например, в качестве канала с регулировкой прохождения флюидов в зависимости от их вязкости может использоваться ламинарный канал. В ламинарном канале поток флюидов принудительно распределяется относительно тонким слоем на относительно большой площади поверхности, что приводит к снижению скорости потока флюидов при его преобразовании в ламинарный. Как вариант, в качестве канала с регулировкой прохождения флюидов в зависимости от их вязкости можно применить последовательность каналов разного размера. Также для организации канала может применяться разбухающий материал, который разбухает под воздействием конкретного флюида, сужая при этом канал для его прохождения. Также для организации канала может применяться материал с разной поверхностной энергией, например, гидрофобный, гидрофильный, смачиваемый водой или смачиваемый нефтью; при этом ограничение

потока происходит за счет смачиваемости материала.

Второй проходной канал 646 меньше зависит от вязкости флюида, то есть, при протекании через второй канал флюиды ведут себя сравнительно одинаково, независимо от их относительной вязкости. На иллюстрации показано, что второй проходной канал 646 имеет вихревой вентиль 649, по которому протекает поток флюида. Вихревой вентиль 649 может применяться в качестве альтернативы сопловому каналу 646, описанному в данном документе, например, в отношении схемы на Фигуре 3. Также для организации канала можно применять разбухающий материал или материал со специфическими смачивающими свойствами.

Флюид поступает из системы регулирования соотношения потоков 640 в систему усиления потока 670. Первый проходной канал 644 системы регулирования соотношения потоков гидравлически сообщается с первым входом 674 системы усиления потока. Флюид из второго проходного канала 646 системы регулирования соотношения потоков поступает на второй вход 676 системы усиления потока. Поток флюидов, поступающий на первый и второй входы, смешивается или сливается в один поток в основном канале 680. Система усиления потока 670 в своем составе имеет усилитель потока дифференциального типа 671, аналогичный тому, который описан в варианте осуществления настоящего изобретения, изображенном на Фигуре 7. Благодаря разнице скоростей потоков на первом и втором входе создается перепад давлений. На первом и втором входе, в месте их соединения с отверстиями передачи давления, создается перепад давлений. Например, как уже описано выше, в месте этого соединения или вблизи него можно установить насадки Вентури 690 и 691. Отверстия передачи давления 692 и 693 обеспечивают передачу давления флюида от входов 674 и 676, соответственно, на устройство впрыска флюида в основной канал 680. Отверстие передачи низкого давления, то есть отверстие, соединенное с входом, на котором отмечается более высокая скорость потока, создает эффект всасывания, благодаря которому флюид после впрыска в основной канал 680 направляется мимо нижних по потоку торцов отверстий передачи давления.

В варианте осуществления изобретения, изображенном на Фигуре 10, флюид, протекающий через входы 674 и 676, сливается в один канал до воздействия на отверстия передачи давления. Альтернативная схема, представленная на Фигуре 7, предусматривает регулирование потока на основном входе 377 посредством отверстий отбора давления, при этом поток на основном входе разделяется на два потока, проходящих на первый и второй выходы 384 и 386. Поток, проходящий через первый вход 374, сливается с потоком, проходящим через второй выход 386, расположенный ниже по потоку относительно отверстий передачи давления 392 и 393. Аналогично, поток на втором входе 376 сливается с потоком на первом выходе 384, расположенном ниже по потоку относительно отверстий передачи давления. Как показано на Фигуре 10, весь поток флюидов, проходящий через систему усиления потока 670, сливается в одну струю в основном проходном канале 680 раньше или выше по потоку относительно отверстий передачи давления 692 и 693. Таким образом, отверстия отбора давления воздействуют на комбинированный поток флюидов.

В данном варианте осуществления изобретения, система усиления потока 670 также включает в себя двухпозиционный переключатель 673, а также первый и второй выходы, 684 и 686. Флюид, который перемещается через основной проходной канал 680, разделяется на два потока, которые направляются на первый и второй выходы 684 и 686. Поток флюида из основного проходного канала направляется на выходы под действием давления, нагнетаемого из отверстий передачи давления, при этом

результирующий поток флюида разделяется на потоки, направленные к выходам. Флюид, разделенный между выходами 684 и 686, определяет соотношение потоков; то же соотношение определяется скоростями объемных потоков, проходящих по входам канальной системы регулирования сопротивления 654 и 656, в соответствии с данным вариантом осуществления изобретения. Данное соотношение потоков представляет собой соотношение, усиленное относительно соотношения между потоками на входах 674 и 676.

Система управления потоком, изображенная на Фигуре 10, включает в себя канальную систему регулирования сопротивления 650. В канальной системе регулирования сопротивления имеется первый вход 654, который гидравлически сообщается с первым выходом 684 системы усиления потока 644; второй вход 656, который гидравлически сообщается со вторым проходным каналом 646; циклонная камера 652 и выход 658. От первого входа 654 поток по касательной направляется в циклонную камеру. Второй вход 656 направляет флюид в циклонную камеру 656 радиально. Флюиды, поступающие в циклонную камеру 652 по касательной, спирально огибают ее по стенке и, в конце концов, попадают к выходу 658. Флюид, закрученный в циклонной камере по спирали, набирает скорость, но при этом возрастают и потери от трения. Тангенциальная составляющая скорости создает центробежную силу, препятствующую движению радиального потока. Флюид из второго входа поступает в камеру радиально и протекает по стенке циклонной камеры к ее выходу, не закручиваясь по спирали. Вследствие этого, канальная система регулирования сопротивления создает большее сопротивление для флюидов, поступающих в камеру по касательной, чем для тех флюидов, которые поступают в камеру радиально. Данное сопротивление реализуется в виде обратного давления на верхний по потоку флюид. Возможно выборочное воздействие обратного давления на флюид, в случае, если регулируется пропорциональная доля флюида, поступающего в циклонную камеру по касательной.

Канальная система регулирования сопротивления 650 предназначена создавать сопротивление потоку флюида, в результате чего создается обратное давление, воздействующее на флюид выше по потоку. Сопротивление, воздействующее на поток флюида, зависит и формируется под влиянием структуры потока флюидов, созданной в системе регулирования соотношения потоков и, вследствие этого, оно чувствительно к изменениям вязкости флюида. Система регулирования соотношения потоков выборочно направляет данный поток флюида в канальную систему регулирования сопротивления, исходя из относительной вязкости флюида, которая не изменяется в течение долгого времени. Для канальной системы регулирования сопротивления, структура потока флюидов влияет, по крайней мере частично, на то, какое именно сопротивление будет оказываться потоку флюидов в данной системе. Также в данном документе описана канальная система регулирования сопротивления, в основе работы которой лежит изменение относительной скорости потока с течением времени. Возможно применение канальной системы регулирования сопротивления, имеющей иную конструкцию, но предпочтительной является система, создающая сопротивление движению потока флюидов за счет воздействия на него центростремительной силы.

Следует отметить, что в данном варианте осуществления изобретения выходы 684 и 686 системы усиления потока находятся на противоположных ее сторонах, если сравнивать их расположение с расположением выходов на Фигуре 5. То есть, на Фигуре 10 первый проходной канал системы регулирования соотношения потоков, первый вход системы усиления потока и первый вход канальной системы регулирования

сопротивления находятся на одной продольной стороне системы управления потоком. Это связано с применением усилителя дифференциального типа 671; если применяется усилитель струйного типа, как показано на Фигуре 5, то первый проходной канал системы регулирования соотношения потоков и первый вход циклонной камеры будут располагаться на противоположных сторонах системы. Относительное расположение проходных каналов и входов зависит от типа и количества задействованных усилителей. Критически важным конструктивным моментом является то, что усиленный поток флюидов должен направляться на соответствующий вход циклонной камеры, обеспечивающий движение потока радиально или по касательной.

Вариант осуществления системы управления потоком, представленный на Фигуре 11, также можно модифицировать в сторону использования основного канала в системе регулирования соотношения потоков, а также основного входа в системе усиления потока, в соответствии с пояснениями, приведенными выше для Фигуры 5.

На Фигурах 11A-B представлены расчетные гидродинамические модели, на которых отображены результаты испытаний прохождения системы управления потоком, изображенной на Фигуре 10, потоками флюидов, имеющими различную вязкость. В испытываемой системе применялся канал 644 с регулировкой прохождения флюидов в зависимости от их вязкости, поперечное сечение внутреннего прохода которого составляет 0,04 квадратных дюйма. В канале 646 для прохождения флюидов независимо от их вязкости применен вихревой вентиль 649 диаметром 1,4 дюйма. Также задействован усилитель потока дифференциального типа 671, как показано и описано выше. Задействованный в схеме двухпозиционный переключатель 673 имел длину 13 дюймов при проходных каналах 0,6 дюйма. В канальной системе регулирования сопротивления 650 имелась камера диаметром 3 дюйма, с выходным отверстием 0,5 дюйма.

На Фигуре 11A представлена расчетная гидродинамическая модель системы, где проводилось испытание потоком нефти, вязкость которого составляет 25 сП. Соотношение потоков флюидов, зависящее от скорости объемного потока в первом и втором проходных каналах системы регулирования соотношения потоков, составило 47:53. В усилителе дифференциального типа 671, измерение скоростей потока дало такие результаты: 88,4% проходит через основной канал 680; 6,6% и 5% проходит через первое и второе отверстия отбора давления 692 и 693, соответственно. Соотношение потоков после прохождения системы усиления, выраженное скоростями потоков, проходящих на первом и втором выходах усилителя 684 и 686, составило 70:30. Двухпозиционный переключатель селекторной системы при данном режиме потока находится в открытом положении.

На фигуре 11B представлена расчетная гидродинамическая модель той же системы, но с потоком природного газа, вязкость которого составляет 0,022 сП. Расчетная гидродинамическая модель построена для газа, находящегося под давлением приблизительно 5000 фунтов на квадратный дюйм. Соотношение потоков флюидов, зависящее от скорости объемного потока в первом и втором проходных каналах системы регулирования соотношения потоков, составило 55:45. В усилителе дифференциального типа 671, измерение скоростей потока дало такие результаты: 92,6% проходит через основной канал 680; 2,8% и 4,6% проходит через первое и второе отверстия отбора давления 692 и 693, соответственно. Соотношение потоков после прохождения системы усиления, выраженное скоростями потоков, проходящих на первом и втором выходах усилителя 684 и 686, составило 10:90. Двухпозиционный переключатель селекторной системы при данном режиме потока находится в закрытом положении, так как основной объем флюида направляется на первый вход 654 циклонной

камеры 652 и поступает в нее по касательной, о чем можно судить по структурам потоков в циклонной камере; при этом создается относительно высокое обратное давление на флюид.

На практике, в системе усиления потока может понадобиться последовательная установка нескольких усилителей. Применение нескольких усилителей позволит увеличить дифференциацию флюидов с относительно одинаковой вязкостью; то есть, система будет способна создавать более четкую структуру потоков в случае незначительного изменения общей вязкости флюида. Группа установленных последовательно усилителей обеспечивает более высокое усиление соотношения потоков флюидов, заданного устройством регулирования соотношения потоков. Кроме того, применение нескольких усилителей способствует преодолению собственной устойчивости двухпозиционного переключателя, установленного в системе, что позволяет изменять состояние переключателя, исходя из относительно малого процентного изменения соотношения потоков в системе регулирования соотношения потоков.

На Фигуре 12 представлен схематический чертеж системы управления потоком, выполненной в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения, где задействована система регулирования соотношения потоков 740; система усиления потока 770, в которой имеется два установленных последовательно усилителя 790 и 795; а также канальная система регулирования сопротивления 750. Вариант осуществления изобретения, представленный на Фигуре 12, аналогичен описанным в данном документе системам управления потоком и будет рассмотрен вкратце. В порядке по направлению потока, в системе установлены система регулирования соотношения потоков 740, система усиления потока 770, двухпозиционная система усиления 795, а также канальная система регулирования сопротивления 750.

Изображенная на иллюстрации система регулирования соотношения потоков 740 имеет первый, второй и основной проходные каналы 744, 746 и 747. В данном случае, как во втором (746), так и в основном (747) каналах задействованы вихревые вентили 749. Применение вихревых вентилей и других устройств регулирования обосновывается, исходя из конструктивных соображений, с учетом предполагаемых изменений относительной вязкости флюида с течением времени; заданной или целевой вязкости, при которой устройство выделения флюида должно отделять его или позволять ему сравнительно беспрепятственно проходить через систему; характеристик окружающей среды, в которой будет использоваться система; а также таких конструктивных соображений, как занимаемое пространство, стоимость, простота системы и т.д. Здесь выход вихревого вентиля 749 в основном проходном канале 747 больше, чем выход такого же вихревого вентиля, установленного во втором проходном канале 746. Вихревой вентиль введен в основной проходной канал 747 для создания необходимой разницы соотношений, особенно если пластовый флюид содержит большую процентную долю природного газа. Например, на основании испытаний, проведенных с применением вихревого вентиля 749 в основном проходном канале 747 или без него, типовая разница соотношений (первый:второй:основной) при прохождении через каналы флюида, состоящего в основном из нефти, составила около 29:38:33. Если же испытательный флюид в основном состоял из природного газа, а вихревой вентиль в основном проходном канале не применялся, разница соотношений составила 35:32:33. При вводе вихревого вентиля в основной проходной канал, соотношение изменилось на 38:33:29. Желательно, чтобы система регулирования соотношения потоков создавала относительно большое соотношение между каналом регулирования потока в зависимости от его вязкости и не зависящим от вязкости каналом (или наоборот, в

зависимости от того, продукцию с какой вязкостью требуется добывать пользователю - с более высокой или более низкой). Применение вихревого вентиля способствует увеличению разницы соотношений. В то время как разница от применения вихревого вентиля может быть относительно малой, это повышает производительность и эффективность системы усиления потока.

Следует отметить, что в данном варианте осуществления изобретения вихревой вентиль 749 установлен в не зависящем от вязкости флюида канале 746 и заменяет собой проходной канал с серией отверстий. Как описано в данном документе, возможно использование различных вариантов осуществления изобретения для организации проходных каналов, пропускная способность которых в некоторой мере зависит или не зависит от вязкости флюида. Применение вихревого вентиля 749 создает меньший перепад давления для таких флюидов как нефть, что является желательным для некоторых случаев применения устройства. Также применение регуляторов потока флюидов в зависимости от его вязкости (вихревой вентиль, серия отверстий и т.д.) улучшает соотношение потоков флюида в проходных каналах в зависимости от сферы применения.

Система усиления потока 770, выполненная в соответствии с вариантом осуществления, изображенным на Фигуре 12, включает в себя два усилителя потока 790 и 795. Усилители установлены последовательно. Первый усилитель (790) является пропорциональным. В первой системе усиления потока 790 имеется первый вход 774, второй вход 776, а также основной вход 777, которые гидравлически сообщаются, соответственно, с первым проходным каналом 746, вторым проходным каналом 746 и основным проходным каналом 747 системы регулирования соотношения потоков. Первый, второй и основной входы соединяются друг с другом, а поток флюида, поступающий через них, сливается, как уже было описано в данном документе. Потоки флюидов объединяются в камере пропорционального усилителя 780. Под воздействием скорости потоков на первом и втором входах, комбинированный поток флюидов поступает на первый (784) и второй (786) выход пропорционального усилителя 790. В системе пропорционального усиления потока 790 имеется два кольцевых сегмента для регулирования вихревых потоков и снижения дезинтеграции потока. Отверстие выравнивания давления 789 обеспечивает гидравлическую связь между двумя кольцевыми сегментами, благодаря чему в данных сегментах, расположенных на каждой стороне усилителя, давление выравнивается.

Также система усиления потока включает в себя вторую систему усиления 795, в данном случае это двухпозиционный усилитель. В усилителе 795 имеется первый вход 794, второй вход 796 и основной вход 797. Первый и второй входы 794 и 796 гидравлически сообщаются, соответственно, с первым и вторым выходами 784 и 786. На иллюстрации показано, что двухпозиционный усилитель 795 имеет основной вход 797, который гидравлически сообщается с внутренним проходным каналом трубопровода. Потоки флюидов с первого и второго входов 794 и 796 образуют комбинированный поток, направленный от входов к первому и второму выходу 798 и 799. Конструкция канальной системы регулирования сопротивления 750 уже описана ранее в данном документе.

Для увеличения коэффициента разделения потоков в зависимости от их скорости, возможна последовательная установка нескольких усилителей. В варианте осуществления изобретения, показанном на иллюстрации, к примеру, для флюида, состоящего в основном из нефти и протекающего через селекторную систему, система регулирования соотношения потоков 740 создает соотношение между потоками в

первом и втором каналах, равное 29:38 (оставшиеся 33 процента потока проходят по основному каналу). Система пропорционального усиления 790 увеличивает разницу соотношений до показателя приблизительно 20:80 (первый:второй выходы системы усиления потока 790). Двухпозиционная система усиления потока 795 затем еще более увеличивает эту разницу, скажем, до показателя 10:90, после чего флюид поступает на первый и второй входы канальной системы регулирования сопротивления. На практике двухпозиционный усилитель демонстрирует достаточно высокую стабильность. То есть, для изменения структуры потока на выходах двухпозиционного переключателя может потребоваться относительно большое изменение структуры потока на входах. Пропорциональный усилитель склонен более равномерно разделять потоки по их соотношению, на основании характеристик потоков на входах. Применение пропорционального усилителя, такого как в системе 790, способствует формированию достаточно значительного изменения структуры потока в двухпозиционном переключателе, позволяющей изменить его состояние (с открытого на закрытое и наоборот).

Группа усилителей в рамках одной системы усиления потока может включать в себя усилители любого известного типа или конструкции, в том числе дифференциальные, струйные, двухпозиционные, пропорциональные и т.д., в любом сочетании. Особо нужно подчеркнуть, что в системе усиления потока можно применять любое количество усилителей любого типа, устанавливая их последовательно или параллельно. Кроме того, в системах усиления потока, по желанию, можно предусмотреть наличие или отсутствие основных входов. Так же, как показано на иллюстрации, подавать флюид на основные входы можно напрямую из внутреннего проходного канала трубопровода либо из другого источника флюида. Система, изображенная на Фигуре 12, самостоятельно обеспечивает обратный ход потока; то есть, направление потока, протекающего слева направо, в самой системе изменяется, и поток в ней протекает справа налево. Этот прием служит для экономии занимаемого пространства и для сути изобретения критичным не является. Специфика относительного пространственного расположения системы регулирования соотношения потоков, системы усиления потока и канальной системы регулирования сопротивления определяется, исходя из конструктивных соображений, таких как, имеющееся свободное пространство, размеры, материалы, системные и производственные сложности.

На Фигурах 13А и 13В приводятся расчетные гидродинамические модели, где показаны структуры потока флюида для варианта осуществления системы управления потоком, показанным на Фигуре 12. На Фигуре 13А приводится модель, где рабочим флюидом был выбран природный газ. Соотношение потоков флюида на первом, втором и основном выходах системы регулирования соотношения потоков составило 38:33:29. Система пропорционального усиления 790 повысила соотношение до показателя приблизительно 60:40 на первом и втором выходах 784 и 786. Данное соотношение еще более увеличилось благодаря второй системе усиления потока 795, где отношение потоков между первым:вторым:основным входами составило приблизительно 40:30:20. Соотношение потоков после прохождения второго усилителя 795, измеренное на первом и втором выходах 798 и 799 или на первом и втором входах канальной системы регулирования сопротивления, составило приблизительно 99:1. Относительно менее вязкий флюид в основном вытеснялся к первому входу канальной системы регулирования сопротивления, а затем - в циклонную камеру, куда он поступал по касательной. Флюид принудительно вращался в циклонной камере, создавая более высокий перепад давления по сравнению с ситуацией, при которой он поступал бы в

камеру радиально. Благодаря данному перепаду в селекторной системе возникло обратное давление, замедляющее добычу данного флюида.

На Фигуре 13B представлена расчетная гидродинамическая модель, где испытываемый флюид состоял из нефти вязкостью 25 сП. Система регулирования соотношения потоков 740 разделила флюид в пропорции 29:38:33. Первая система усиления потока 790 увеличила данное соотношение до показателя приблизительно 40:60. Вторая система усиления потока 795 далее увеличила данное соотношение до показателя приблизительно 10:90. Как видно, флюид принудительно направлялся в канальную систему регулирования сопротивления в основном через второй, практически радиальный, вход 56. И хотя в циклонной камере создавался некоторый завихренный поток, основная его часть протекала радиально. Такая структура потока обеспечивает меньший перепад давления для нефти по сравнению с ситуацией, при которой нефть поступала бы в циклонную камеру по касательной. Как следствие, на флюид в системе действует меньшее обратное давление. Можно сказать, что система управления потоком "выделяет" флюид с более высокой вязкостью (в данном случае - нефть), отсекая флюид с меньшей вязкостью - газ.

На Фигуре 14 представлен перспективный вид в поперечном разрезе на систему управления потоком, выполненную в соответствии с настоящим изобретением, как показано на Фигуре 12,и размещенную в стенке трубопровода, различные участки системы управления потоком 25 сформированы в стенке трубопровода 731. Затем над системой размещается муфта (не показана) или другая оболочка. Муфта (которая используется в данном примере) образует часть стенок различных каналов для прохождения флюида. Каналы и вихревые полости могут выполняться способом фрезерования, литья или как-либо еще. Кроме того, различные участки системы управления потоком могут изготавливаться отдельно, а затем соединяться вместе.

Что касается примеров реализации и результатов испытаний, показанных на Фигурах 10-14, то данные варианты осуществления изобретения предназначены для выделения более вязкого флюида (такого как нефть) и отсечения флюида, имеющего другие характеристики (такого как природный газ). То есть, система управления потоком обеспечивает относительно простую добычу флюида, если он в основном состоит из нефти, и создает более высокие ограничения для добычи флюида, если его состав с течением времени меняется в сторону преобладания в нем природного газа. Следует отметить, что относительная доля нефти необязательно должна составлять большую часть выбранного флюида. Следует однозначно понимать, что описанные здесь системы можно использовать для выделения флюидов с различными характеристиками. Также система может предназначаться для выделения пластового флюида в зависимости от изменения в нем пропорционального количества любых флюидов. Например, в нефтяной скважине, куда флюид поступает из пласта, и где в перспективе предполагается колебание содержания нефти в пределах от десяти до двадцати процентов, данную систему можно применять для выделения флюида и обеспечения его относительно более высокого притока в те моменты, когда флюид содержит двадцать процентов нефти.

В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, систему можно применять для выделения флюида в моменты, когда он имеет относительно меньшую вязкость, и для его отсечения, когда вязкость флюида относительно высокая. То есть система может осуществлять выборочную добычу газа при отсечении нефти или добычу газа при отсечении воды. Такая схема полезна для ограничения добычи нефти или воды на газодобывающей скважине. Данные изменения в конструкцию

можно внести путем видоизменения канальной системы регулирования сопротивления, так чтобы флюид с меньшей вязкостью направлялся в циклонную камеру радиально, в то время как флюид с большей вязкостью направлялся в канальную систему регулирования сопротивления по касательной. Такая система показана на Фигуре 15.

На Фигуре 15 представлен схематический чертеж системы управления потоком, выполненной в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, которая предназначена для выделения флюида с более низкой вязкостью относительно флюида с более высокой вязкостью. Фигура 15 практически аналогична Фигуре 12, поэтому ее подробное описание не приводится. Следует отметить, что входы 854 и 856 циклонной камеры 852 модифицированы или развернуты так, что с входа 854 флюид направляется в циклонную камеру 852 радиально, в то время как со входа 856 флюид направляется в циклонную камеру в основном по касательной. Таким образом, если флюид имеет относительно низкую вязкость (например, в случае, когда флюид в основном состоит из природного газа), то он направляется в циклонную камеру радиально. Происходит выделение флюида, система управления потоком находится в открытом состоянии, на флюид действует низкое сопротивление и обратное давление, и он относительно легко проходит через систему. Напротив, если флюид имеет относительно высокую вязкость (например, в случае, когда флюид содержит высокий процент воды), то он направляется в циклонную камеру по касательной. Выделение флюида с более высокой вязкостью не происходит, система для него закрыта, на флюид действуют высокое сопротивление и обратное давление (по сравнению с ситуацией, когда система в схеме отсутствует), и добыча данного флюида сокращается. Система управления потоком может переключаться между открытым и закрытым положением при заранее заданной вязкости или процентном соотношении компонентов флюида. Например, система может закрываться, если концентрация воды во флюиде достигла 40% (или же достигнут показатель вязкости, соответствующий вязкости флюида, имеющего такой состав). Систему можно применять при эксплуатации месторождений, например, на газодобывающих скважинах, с целью предотвращения добычи воды или нефти, или в нагнетательных системах, для преимущественного закачивания пара по сравнению с водой. Специалист с соответствующим уровнем технической подготовки может разработать другие варианты применения системы, в том числе с опорой на другие характеристики флюида, такие как плотность или скорость потока.

Также систему управления потоком можно применять и в рамках других способов. Например, в нефтепромысловых операциях ремонта и эксплуатации скважин, часто требуется нагнетать флюид (обычно - пар) в скважину.

На Фигуре 16 представлен схематический чертеж, где показано применение системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретением и установленной в нагнетательную и эксплуатационную скважину. В одну или более нагнетательных скважин 1200 закачивается нагнетательный флюид, в то время как желательные пластовые флюиды добываются из одной или более эксплуатационных скважин 1300. Ствол 1302 эксплуатационной скважины 1300 проходит через пласт 1204. Эксплуатационная насосно-компрессорная колонна 1308 проходит по стволу скважины; в ней имеется серия эксплуатационных трубчатых секций 24. Эксплуатационные трубчатые секции 24 могут быть изолированы друг от друга по способу, показанному на Фигуре 1 - с помощью пакеров 26. Системы управления потоком можно использовать на нагнетательной, эксплуатационной, а также на обеих скважинах.

Ствол 1202 нагнетательной скважины 1200 проходит через углеводородсодержащий пласт 1204. Нагнетательная установка включает в себя одну или более линий подачи

пара 1206, которые обычно тянутся с поверхности до места нагнетания по насосно-компрессорной колонне 1208. Способы нагнетания хорошо известны и здесь подробно описываться не будут. Многоточечные системы нагнетания 1210 равномерно распределены по насосно-компрессорной колонне 1208 в местах ее прохождения через целевые зоны пласта. Каждая система нагнетания 1210 включает в себя одну или более автономных систем управления потоком 1225. Системы управления потоком могут быть выполнены по любой из описанных в данном документе схем, например, по схеме, показанной на Фигуре 15, которая является предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения. В процессе закачивания, горячая вода и пар часто перемешиваются и присутствуют в нагнетаемом флюиде в разных соотношениях. Часто в забое скважины осуществляется циркуляция горячей воды, пока температура и давление в системе не достигнет требуемых показателей, обеспечивающих нагнетание пара в пласт. Обычно нагнетать горячую воду в пласт нежелательно.

Вследствие этого, системы управления потоком 1225 применяются для приоритетного нагнетания пара (или другого нагнетательного флюида), с отсечением горячей воды и других нежелательных флюидов. Система регулирования соотношения потоков разделяет нагнетаемый флюид на потоки в соотношении, зависящем от относительных их характеристик, таких как вязкость, по мере их изменения с течением времени. Если нагнетаемый флюид содержит нежелательное пропорциональное количество воды, а, следовательно, имеет относительно высокую вязкость, то система регулирования соотношения потоков разделяет данный поток соответствующим образом, а селекторная система направляет флюид на вход циклонной камеры, обеспечивающий его перемещение в ней по касательной; тем самым, нагнетание воды в пласт перекрывается. По мере изменения состава нагнетаемого флюида в сторону увеличения пропорционального количества пара, вследствие чего его вязкость понижается, селекторная система направляет поток в канальную систему регулирования сопротивления радиально, позволяя тем самым нагнетать пар при воздействии меньшего обратного давления, чем в случае, если бы флюид поступал в данную систему по касательной. Система регулирования соотношения потоков 40 может осуществлять разделение нагнетаемого флюида на основании любой характеристики потока, в том числе вязкости, плотности и скорости.

Кроме того, системы управления потоком 25 можно установить и на эксплуатационной скважине 1300. Получить представление о применении селекторных систем 25 в эксплуатационной скважине можно на основании приведенного в данном документе описания, со ссылкой на Фигуры 1 и 2. По мере продвижения пара через пласт 1204 от нагнетательной скважины 1200, оставшиеся в нем углеводороды (например, нефть) вытесняются по направлению к эксплуатационной скважине 1300 и поступают в нее. Системы управления потоком 25, установленные в эксплуатационной скважине 1300, выделяют из потока добываемый флюид и ограничивают добычу нагнетательного флюида. При прорыве нагнетательного флюида в эксплуатационную скважину и поступлении его на добычу, системы управления потоком ограничивают добычу нагнетательного флюида. Неравномерный прорыв нагнетательного флюида в разные секции ствола эксплуатационной скважины представляет собой типичное явление. Так как системы управления потоком размещаются в изолированных эксплуатационных секциях насосно-компрессорной колонны, то они не препятствуют добыче пластового флюида в тех эксплуатационных секциях насосно-компрессорной колонны, где не происходили прорывы, и при этом ограничивают добычу нагнетаемого флюида из секций, где прорывы имели место. Следует отметить, что поток флюидов

из каждой эксплуатационной секции насосно-компрессорной колонны параллельно соединен с эксплуатационной колонной 302, позволяющей выполнять такое выделение.

В вышеописанных способах нагнетания рабочим флюидом является пар. Следует понимать, что возможно применение двуокиси углерода или другого нагнетаемого флюида. Селекторная система обеспечивает ограничение потока нежелательного нагнетательного флюида, например, воды, при этом не создавая высокого сопротивления потоку желательного нагнетательного флюида, например, пара или двуокиси углерода. По своей базовой конструкции, система управления потоком, предназначенная для применения по способам нагнетания флюидов, представляет собой описанную в данном документе систему управления потоком для применения на эксплуатационной скважине, но работающую в обратном направлении. То есть, нагнетаемый флюид проходит по линиям подачи, через систему управления потоком (систему регулирования соотношения потоков, систему усиления потока и канальную систему регулирования сопротивления), а затем подается в пласт. Система управления потоком предназначена для выделения предпочтительного нагнетательного флюида; то есть, она направляет нагнетаемый флюид в канальную систему регулирования сопротивления радиально. Нежелательный флюид, такой как вода, не выделяется из потока; то есть, он направляется в канальную систему регулирования сопротивления по касательной. Таким образом, если в системе присутствует нежелательный флюид, то для него создается более высокое обратное давление, и поток такого флюида ограничивается. Следует отметить, что на флюид, поступающий в систему по касательной, воздействует более высокое обратное давление, чем в случае, если бы селекторная система не использовалась. При этом не требуется, чтобы на не подлежащий выделению флюид обязательно воздействовало более высокое обратное давление, чем на флюид, подлежащий выделению, хотя такое решение является более предпочтительным.

Свойства такого двухпозиционного переключателя, как позиция 170 на Фигуре 5 и позиция 795 на Фигуре 12, позволяют использовать его для регулирования потока даже без применения системы регулирования соотношения потоков. Производительность двухпозиционного переключателя 795 зависит от расхода или скорости потока. То есть, при малых скоростях или расходе потока переключатель 795 обладает недостаточной бистабильностью, и поток поступает на выходы 798 и 799 приблизительно в равном объеме. По мере повышения скорости потока в двухпозиционном переключателе 795, образуется бистабильность.

Для обеспечения селективной добычи флюида на основании колебаний скорости его потока можно применять, по меньшей мере, один двухпозиционный переключатель. В такой системе флюид выделяется, или система управления потоком открывается, если скорость потока соответствует заранее установленной величине. Поток флюида, имеющий низкую скорость, будет проходить через систему, испытывая относительно малое сопротивление. Если скорость потока превышает заранее установленное значение, переключатель "перебрасывается" в закрытое положение и создает противодействие потоку флюида. При закрытом клапане, конечно, скорость потока в системе снижается. При активации двухпозиционного переключателя 170, показанного на Фигуре 5, создает воздействие на поток флюида за счет эффекта Коанда. Эффект Коанда заключается в том, что флюид притягивается к близлежащей поверхности. Данный термин применяется для описания явления, при котором струя флюида, покидающего систему регулирования соотношения потоков, при ее направлении на выход переключателя (например, выход 184), стремится сохранить данное направление, даже если соотношение возвращается

к своей предыдущей величине, что происходит вследствие близости стенки переключателя потока флюида. При низкой скорости потока, двухпозиционный переключатель недостаточно бистабилен, и флюид поступает в приблизительно равных объемах на выходы 184 и 186, а затем, практически в одинаковых объемах на входы 154 и 156 циклонной камеры. Вследствие этого, на флюид воздействует незначительное обратное давление, и система управления потоком эффективно открыта. По мере увеличения скорости потока в двухпозиционном переключателе 170, образуется бистабильность, а переключатель работает, как и предполагалось, - направляет основную часть потока флюида на выход 84 и по касательной в циклонную камеру 152 через вход 154, тем самым закрывая клапан. Конечно, под действием обратного давления скорость потока снижается, но благодаря эффекту Коанда поток флюида продолжает поступать на выход переключателя 184 даже при падении его скорости. В конечном итоге, скорость потока снижается до уровня, достаточного для преодоления эффекта Коанда, и поток вновь начинает поступать на выходы переключателя в приблизительно равных объемах, тем самым повторно открывая клапан.

В системе управления потоком в зависимости от его скорости могут использоваться усилители потока, описанные выше для селекторных систем потока в зависимости от его вязкости, например, такие, как показаны на Фигуре 12.

Еще в одном варианте осуществления изобретения автономной системы управления потоком в зависимости от его вязкости или скорости, применяется система регулирования соотношения потоков, аналогичная системе 140,. показанной на Фигуре 5. Проходные каналы 144 и 146 системы регулирования соотношения потоков при необходимости модифицируются так, чтобы поток флюида разделялся, исходя из его относительной скорости (а не вязкости). При необходимости можно задействовать основной проходной канал 147. Система регулирования соотношения потоков в данном варианте осуществления изобретения разделяет поток пропорционально вязкости флюида. Если соотношение скоростей превышает заранее заданное значение (скажем, 1.0), система управления потоком закрывается и препятствует прохождению потока. Если отношение скоростей ниже заранее заданного значения, система открывается и поток проходит через нее относительно беспрепятственно. По мере изменения скорости потока флюида с течением времени, клапан соответственно откроется или закроется. Конструкция канала регулирования соотношения потоков может предусматривать создание более высокого сопротивления потоку в зависимости от того, насколько превысила скорость флюида целевое значение, по сравнению с другим проходным каналом. Как вариант, конструкция канала регулирования соотношения потоков может предусматривать создание менее высокого сопротивления потоку в зависимости от того, насколько превысила скорость флюида целевое значение, по сравнению с другим проходным каналом.

Еще один вариант осуществления гидравлического клапана, срабатывающего в зависимости от вязкости флюида, приводится на Фигурах 17A-C; здесь канальная система регулирования сопротивления 950 исполняет роль двухпозиционного переключателя. В данном варианте осуществления изобретения предпочтительно, чтобы канальная система регулирования сопротивления 950 имела только один вход 954 и один выход 958, хотя возможно введение других входов и выходов для регулирования потока, его направления, устранения вихревых потоков и т.д. Если скорость потока ниже заранее заданного значения, то он стремится просто пройти через выход 958 циклонной камеры 952, не подвергаясь в ней завихрению и не создавая значительного перепада давления в канальной системе регулирования сопротивления

50, как показано на Фигуре 17A. По мере увеличения скорости потока и при превышении ею заранее установленного значения, как показано на Фигуре 17B, флюид завихряется в циклонной камере 952, а затем поступает на выход 958, тем самым создавая более высокий перепад давления в системе. Тогда двухпозиционный вихревой переключатель закрывается. По мере уменьшения скорости потока, как показано на Фигуре 17C, он продолжает вращаться в циклонной камере 952, и значительный перепад давления сохраняется. Перепад давления в системе создает соответствующее обратное давление на флюид выше по потоку. Когда скорость потока снижается достаточно сильно, поток флюида вновь обретает структуру, показанную на Фигуре 17A, в переключатель повторно открывается. Предполагается возникновение эффекта гистерезиса.

Такое применение двухпозиционного переключателя позволяет осуществлять регулирование пот ока флюида на основании изменений характеристик его скорости или расхода. Данный тип регулирования полезен для вариантов применения, где желательно поддерживать скорость добычи или нагнетания флюида на заданном значении или ниже него. Специалист с соответствующим уровнем технической подготовки может определиться с дальнейшими способами применения данной системы.

Системы управления потоком, описанные в данном документе, могут также регулировать поток флюида на основании изменения его плотности с течением времени. Автономные системы и клапаны, описанные в данном документе, в своей работе опираются на изменение какой-либо характеристики потока флюида. Как описано выше, в качестве характеристик, служащих для регулирования потока, могут выступать вязкость и скорость флюида. В примере системы, предназначенной для регулирования потока на основании изменения характеристики плотности флюида, система управления потоком, показанная на Фигуре 3, состоит из системы регулирования соотношения потоков 40, где имеется, по меньшей мере, два проходных канала (44 и 46), и где характеристики одного канала больше зависят от плотности флюида, чем характеристики другого. То есть, проходной канал 44 создает более высокое сопротивление потоку флюида с большей плотностью, в то время как пропускная способность другого канала 46 либо не зависит от плотности флюида, либо имеет обратную зависимость от плотности. Таким образом, по мере изменения плотности флюида до заранее заданного значения, он выделяется из потока на добычу и проходит через систему 25, испытывая относительно слабое сопротивление, при воздействии меньшего обратного давления; то есть, система или клапан открываются. Напротив, по мере изменения плотности флюида с течением времени в нежелательную сторону, система регулирования соотношения потоков 40 изменяет соотношение потоков на выходе, а система 25 создает противодействие за счет относительно более высокого обратного давления; то есть, клапан закрывается.

Для варианта осуществления изобретения по схеме зависимости от плотности возможно использование и других схем систем управления потоком. К таким решениям относятся ввод в общую схему систем усиления потока, канальных систем регулирования сопротивления и других систем, как уже описывалось в данном документе ранее. Также в системах регулирования в зависимости от плотности могут применяться двухпозиционные переключатели и другие регуляторы потока, упомянутые в данном документе.

В такой системе флюид выделяется или клапан отбора флюида открывается, если его плотность больше или меньше заранее установленного для нее значения. Например, система, предназначенная для выделения флюида на добычу, где он содержит относительно более высокую процентную долю нефти, отделяет данный флюид или

открывается в случае, если его плотность превышает заданное значение. Напротив, если плотность флюида падает ниже заданного значения, система закрывается. Если плотность потока становится меньше заранее установленного для нее значения, переключатель "перебрасывается" в закрытое положение и создает противодействие потоку флюида.

В системе управления потоком в зависимости от его плотности могут применяться усилители потока, как уже описывалось для систем управления потоком в зависимости от его вязкости, см. Фигуру 12. В одном варианте осуществления автономной системы управления потоком в зависимости от его плотности, применяется система, включающая в себя систему регулирования соотношения потоков, аналогичную позиции 140 на Фигуре 5. Проходные каналы 144 и 146 системы регулирования соотношения потоков при необходимости модифицируются так, чтобы поток флюида разделялся, исходя из его относительной плотности (а не вязкости). При необходимости можно задействовать основной проходной канал 147. Система регулирования соотношения потоков в данном варианте осуществления изобретения разделяет поток пропорционально плотности флюида. Если соотношение плотностей выше (или ниже) заранее заданной величины, селекторная система закрывается и препятствует прохождению потока. По мере изменения плотности потока флюида с течением времени, клапан соответственно откроется или закроется.

Системы управления потоком в зависимости от его скорости, описанные в данном документе, можно использовать по способу нагнетания пара, в рамках которого пар поступает от одной линии подачи пара к группе нагнетательных отверстий. В процессе нагнетания пара часто образуются зоны поглощения, через которые непропорционально большие объемы нагнетаемого пара уходят из системы. Количество пара, нагнетаемого в зону поглощения, желательно ограничить, так чтобы все зоны, в которые нагнетается пар, получали его в соответствующих объемах.

Возвращаясь вновь к Фигуре 16, нужно отметить, что применяется схема, где имеются нагнетательная скважина 1200 с источником пара 1201 и линией (линиями) подачи пара 1206, по которой пар подается в многоточечные системы нагнетания 1210. Системы управления потоком 1225 являются системами регулирования потока в зависимости от его скорости, которые описаны выше. Нагнетаемый пар поступает из линии подачи 1206 на отверстия 1210, а оттуда - в пласт 1204. Нагнетание пара производится через систему управления потоком в зависимости от его скорости, такую как двухпозиционный переключатель 170, см. Фигуру 5; пар подается с заранее заданной "низкой" скоростью, при которой не отмечается бистабильности. Пар поступает на выходы 184 и 186 в одинаковой пропорции. Выходы 184 и 186 гидравлически сообщаются с входами 154 и 156 канальной системы регулирования сопротивления. Канальная система регулирования сопротивления 150, таким образом, не создает значительного обратного давления для пара, который относительно беспрепятственно поступает в пласт.

Если обнаруживается зона поглощения, то скорость потока пара в системе управления потоком увеличивается, и ее заранее заданное низкое значение изменяется на относительно высокое. Повышение скорости потока пара в двухпозиционном переключателе ведет к тому, что переключатель переходит в бистабильное состояние. То есть, переключатель 170 принудительно направляет непропорциональное количество пара на выход 184 и в канальную систему регулирования сопротивления 150 через вход 154, ориентированный для подачи потока по касательной. Таким образом, автономные устройства выделения флюидов ограничивают скорость нагнетания пара в зону поглощения. (Как вариант, в системах управления потоком в зависимости от его

скорости возможно применение канальной системы регулирования сопротивления, показанной на Фигуре 17, либо других систем управления потоком в зависимости от его скорости, которые обеспечивают сходное воздействие).

Предполагается возникновение эффекта гистерезиса. По мере увеличения скорости потока пара и образования бистабильности в переключателе 170, скорость потока в системе управления потоком 125 ограничивается за счет действия обратного давления, которое создает канальная система регулирования сопротивления 140. Благодаря этому, в свою очередь, скорость потока снижается до заранее заданного значения; в этот момент двухпозиционный переключатель перестает функционировать, а пар снова беспрепятственно и относительно равномерно подается в пласт, проходя через входы циклонной камеры.

Эффект гистерезиса может проявляться при нагнетании в виде пульсирования. Пульсирование в процессе нагнетания может способствовать лучшему проникновению в поровое пространство, так как кратковременные пульсации помогают преодолевать инерцию окружающего флюида, а сопротивление каналов, ведущих в относительно герметичное поровое пространство, снизится. Это является дополнительным преимуществом конструкции, если пульсирование происходит с соответствующей скоростью.

Чтобы сбросить систему или вернуть ее к работе по исходной структуре потока, оператору нужно снизить или перекрыть поток пара в линии подачи. Затем поток пара возобновляется, а двухпозиционные переключатели переходят в исходное состояние, при котором бистабильность не отмечается. При необходимости процесс можно повторить.

В некоторых местах может понадобиться размещение автономной системы управления потоком или клапана, которые ограничивали бы добычу или нагнетание флюида при его прорыве в эксплуатационную скважину, однако, если прорыв произошел по всей скважине, автономный клапан выделения флюида из потока отключается. Другими словами, автономный клапан выделения флюида из потока ограничивает добычу воды через эксплуатационную скважину до тех пор, пока данное ограничение не сказывается отрицательно на добыче нефти из пласта. Как только такая точка будет достигнута, система управления потоком прекращает ограничение добычи на эксплуатационной скважине.

На Фигуре 16 показана эксплуатационная скважина 1300, где в эксплуатационной насосно-компрессорной колонне 1308 имеется группа эксплуатационных трубчатых секций 24, в каждой из которых установлена, по меньшей мере, одна система управления потоком 25.

В одном варианте осуществления изобретения, автономная система управления потоком работает в качестве двухпозиционного переключателя, как, например, показано на Фигуре 17 (двухпозиционный переключатель 950). Двухпозиционный переключатель потока флюидов 950 образует область перепада давлений при одной и той же скорости потока. На Фигуре 18 представлен график зависимости давления P от скорости потока Q, отображающий поток в двухпозиционном переключателе, канальной системе регулирования сопротивления 950. При повышении скорости потока в области A, перепад давления в системе постепенно повышается, если скорость потока повышается до заранее заданного значения, давление скачкообразно повысится, см. область B на графике. Так как повышение давления ведет к снижению скорости потока, то оно остается относительно высоким, см. область C на графике. Если скорость потока достаточно сильно снижается, то давление также значительно упадет, и весь цикл может

начинаться сначала. Практическая польза от данного эффекта гистерезиса заключается в том, что, если оператор знает, в каком окончательном положении должен быть переключатель, он может управлять им, либо подавая поток сначала с очень малой скоростью, а затем постепенно повышая ее до требуемого уровня, либо подавая поток с очень высокой скоростью, а затем постепенно снижая ее до требуемого уровня.

На Фигуре 19 представлен схематический чертеж, где показана система управления потоком, выполненная в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения, где имеется система регулирования соотношения потоков, система усиления и канальная система регулирования сопротивления, которую можно, например, использовать вместо регулятора притока. В качестве регуляторов притока (ICD), например, применяются устройства, которые серийно выпускает компания Halliburton Energy Services, Inc. под торговым наименованием EquiFlow, например. Объем притока из нефтеносного пласта изменчив, иногда происходит преждевременный прорыв, а в других случаях отмечается его замедление. Для полной добычи всех запасов ценного сырья требуется учесть все условия. В некоторых скважинах отмечается внутрипластовый эффект разницы характеристик между носком и пяткой скважины, различия в проницаемости, проблемы с водой, особенно в запасах нефти с высокой вязкостью. Регулятор притока пытается сбалансировать приток или добычу в колонне завершения, повышая продуктивность, производительность и результативность работы путем создания согласованного потока на каждом продуктивном интервале. Регулятор притока обычно сдерживает поток из зон высокой продуктивности и стимулирует поток из зон с меньшей продуктивности. Типовой регулятор притока устанавливается в сочетании с песчаным фильтром в несцементированном продуктивном пласте. Пластовый флюид поступает из пласта через песчаный фильтр в проточную камеру, где он проходит по одной или более трубам. Длина и внутренний диаметр труб подобраны таким образом, чтобы создавать соответствующий перепад давлений, способствующий перемещению флюида по трубе с постоянной скоростью. Регулятор притока уравнивает перепад давлений, обеспечивая более эффективное добуривание и увеличивая период эксплуатации путем отсрочки момента образования газо-водяного конуса в пласте. Также возрастает уровень добычи на единицу длины.

Система управления потоком, представленная на Фигуре 19 аналогична системе, изображенной на Фигурах 5, 10 и 12, поэтому ее подробное описание не приводится. Система управления потоком, представленная на Фигуре 19, является системой регулирования потока в зависимости от его скорости. В системе регулирования соотношения потоков 1040 имеется первый проходной канал 1044 с первым ограничителем потока флюида 1041, а также второй входной канал 1046 со вторым ограничителем потока 1043. Также можно задействовать основной проходной канал 1047, где можно установить ограничитель потока 1048. Ограничители, установленные в проходных каналах, предназначены для создания различных перепадов давления по мере изменения скорости потока флюида со временем. Ограничитель потока в основном канале может обеспечивать такой же перепад давления при таких же скоростях потока, что и ограничители в первом и втором каналах.

На Фигуре 20 представлен график, выражающий зависимость давления (P) от скорости потока (Q), даны кривые для первого 1044 (#1) и второго 1046 (#2) каналов, в каждом из которых установлены ограничители потока. При низком вытесняющем давлении (линия A), отмечается больший поток флюида в первом канале 1044 и пропорционально меньший поток флюида во втором канале 1046. Вследствие этого, поток флюида на выходе с системы усиления отклоняется по направлению к выходу

1086 и поступает в циклонную камеру 1052 через радиальный вход 1056. Флюид в циклонной камере не завихряется, клапан открыт, позволяя потоку протекать далее, не испытывая воздействия обратного давления. При высоком вытесняющем давлении, как в линии B, пропорциональный поток флюида через первый и второй каналы восстанавливается, а флюид направляется в циклонную камеру по касательной, создавая относительно большой перепад давления, препятствующий протеканию флюида и закрывающий клапан.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения, где добычу нужно ограничить в пределах высоких вытесняющих давлений, ограничитель основного канала предпочтительно должен повторять режим работы ограничителя, установленного в первом проходном канале 1044. В случае, если режимы работы ограничителей 1041 и 1048 одинаковы, то ограничитель 1048 пропускает меньший объем флюида при высоком перепаде давления, таким образом, перекрывая прохождение потока флюида через систему.

В качестве ограничителей потока могут выступать дроссельные отверстия, вязкостные трубки, вихревые вентили и т.д. Как вариант, ограничители могут выполняться в виде подпружиненных элементов или реагирующих на изменение давления компонентов, известных на данном уровне техники. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, ограничитель 1041 в первом проходном канале 1044 имеет гибкие усики, блокирующие поток при низком вытесняющем давлении, которые при повышении вытесняющего давления отгибаются и позволяют потоку проходить далее.

Такая конструкция регулятора притока обеспечивает создание более высокого сопротивления для потока по достижении им заданной скорости, что позволяет проектировщику устанавливать пиковую скорость перемещения флюида через секцию насосно-компрессорной колонны.

На Фигуре 21 представлен схематический чертеж варианта осуществления системы управления потоком, выполненной в соответствии с настоящим изобретением и включающей в себя серию последовательно установленных клапанов, вспомогательный проходной канал для потока и вспомогательную канальную систему регулирования сопротивления.

Первая клапанная система выделения флюида 1100 установлена последовательно со второй клапанной системой выделения флюида 1102. Первая система управления потоком 1100 аналогична по устройству системам, описанным в данном документе, поэтому подробное ее описание здесь не приводится. Первая клапанная система выделения флюида включает в себя систему регулирования соотношения потоков 1140 с первым, вторым и основным каналами 1144, 1146 и 1147, систему усиления потока 1170, а также канальную систему регулирования сопротивления 1150, а именно - канальную систему регулирования сопротивления с циклонной камерой 1152 и выходом 1158. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, во второй клапанной системе выделения флюида 1102 имеется избирательная система регулирования сопротивления 1110, в данном случае это канальная система регулирования сопротивления. В канальной системе регулирования сопротивления 1110 имеются радиальный вход 1104 и тангенциальный вход 1106, а также выход 1108.

Если флюид, имеющий предпочтительные характеристики вязкости (или скорости потока), подлежащий выделению, протекает через систему, то первая система управления потоком будет работать в открытом режиме, позволяя потоку флюида проходить далее и не испытывать значительное обратное давление; при этом флюид радиально проходит через канальную систему регулирования сопротивления 1150 первой клапанной системы.

Таким образом, на первой клапанной системе отмечается минимальный перепад давления. Также флюид, покидающий первую клапанную систему и поступающий во вторую клапанную систему через радиальный вход 1104, создает радиальный поток радиальной структуры в циклонной камере 1112 второй клапанной системы. Во второй клапанной системе также отмечается минимальный перепад давления. Данная двухступенчатая серия автономных клапанных систем выделения флюида позволяет принять большой допуск и применить более широкое отверстие в канальной системе регулирования сопротивления 1150 первой клапанной системы 1100.

На вход 1104 флюид поступает из вспомогательного проходного канала 1197, который гидравлически сообщается с тем же источником флюида 1142, что и первая автономная клапанная система 1100. Как вариант, вспомогательный проходной канал 1197 может гидравлически сообщаться с другим источником флюида, например, из отдельной эксплуатационной зоны эксплуатационного трубопровода. Такая схема позволяет регулировать поток флюида в отдельной зоне, исходя из скорости потока. Как вариант, флюид во вспомогательный проходной канал может поступать из горизонтального ствола, в то время как в качестве источника флюида для первой клапанной системы 1100 служит промысловый трубопровод, ведущий к поверхности. Возможна реализация других схем. Очевидно, что вспомогательный проходной канал можно использовать в качестве управляющего входа; также можно обратить направление работы тангенциального и радиального входов циклонной камеры. Возможно применение других альтернатив, подобных описанным в данном документе схемам, например, можно добавлять или удалять системы усиления потока, модифицировать средства регулирования соотношения потоков, циклонные камеры или переводники и т.д.

На Фигуре 22 представлен схематический чертеж системы обратного цементирования 1200. Ствол скважины 1202 проходит через подземный пласт 1204. Цементировочная колонна 1206 проходит по стволу скважины 1202, обычно внутри обсадной колонны. Цементировочная колонна 1206 может быть любого известного или разработанного позднее типа; она должна быть пригодна для цементирования в стволе скважины в рамках процедуры обратного цементирования. При обратном цементировании, цемент 1208 закачивается в кольцевое пространство 1210, образовавшееся между стенками ствола скважины 1202 и цементировочной колонны 1206. Цемент, поток которого показан стрелками 1208, закачивается в кольцевое пространство 1210 сверху вниз, по направлению к забою скважины. Таким образом, кольцевое пространство заполняется по направлению сверху вниз. При выполнении данной процедуры, поток цемента и нагнетаемый флюид 1208 (обычно вода или соляной раствор) циркулирует вниз по кольцевому пространству по направлению к нижней части цементировочной колонны, а затем обратно, по внутреннему проходному каналу 1218 колонны.

На Фигуре 22 показана система управления потоком 25, установленная поблизости или в нижней части цементировочной колонны 1206, которая позволяет выборочно выделять поток флюида, поступающего в цементировочную колонну извне, во внутренний ее канал 1218. Конструкция системы управления потоком 25 аналогична системе, описанной в данном документе и изображенной на Фигуре 3, Фигуре 5, Фигуре 10 или Фигуре 12. Система управления потоком 25 включает в себя систему регулирования соотношения потоков 40 и канальную систему регулирования сопротивления 50. Предпочтительно, чтобы система 25 включала в себя, по меньшей мере, одну систему усиления потока 70. Пробка 1222 препятствует перемещению потока по другим каналам, кроме каналов автономного клапана выделения флюида.

Система управления потоком 25 открывается, направляя флюид в основном на радиальный вход канальной системы регулирования сопротивления 50, если через систему 25 протекает нагнетательный флюид с низкой вязкостью, например, соляной раствор.

По мере изменения вязкости флюида, цемент опускается к забою скважины и начинает проходить через систему управления потоком 25; селекторная система закрывается, направляя теперь уже флюид с более высокой вязкостью (цемент) на тангенциальный вход канальной системы регулирования сопротивления 50. Соляной раствор и вода беспрепятственно проходят через селекторную систему, так как клапан при поступлении таких флюидов открывается. Цемент (или другой нежелательный флюид), имеющий более высокую вязкость, заставляет клапан закрываться и значительно увеличивать давление, регистрируемое на поверхности.

В альтернативном варианте осуществления изобретения применяется несколько систем управления потоком, установленных параллельно. Также, хотя в соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения, весь флюид направляется через одну систему управления потоком, некоторую часть потока, поступившего снаружи цементировочной колонны, можно направить через устройство выделения флюида.

С целью дополнительного повышения давления, на механизм уплотнения или запирания, обеспечивающий герметизацию конца цементировочной колонны, можно установить заглушку 1222, тогда поток цемента создает повышенный перепад давления на заглушке. Например, систему или системы управления потоком можно установить на механизме уплотнения или запирания, таком как цилиндропоршневая система, створчатый клапан, шаровой клапан или аналогичные устройства, в которых компоненты механизма запираются при повышении давления. Как уже было описано выше, клапан выделения флюида открыт в случае, если флюид имеет соответствующую заданную вязкость, например, для соляного раствора, поэтому на заглушке отмечается незначительный перепад давления. Если механизм запирания изначально находится в открытом положении, то флюид проходит через него и далее вверх, по внутреннему каналу колонны. При переходе механизма запирания в закрытое положение, флюид снаружи колонны не допускается в ее внутренний канал. Если механизм находится в закрытом положении, то весь объем нагнетаемого флюида или цемента направляется в систему управления потоком 25.

Если вязкость флюида повышается, то на флюид, находящийся ниже системы управления потоком 25, воздействует более высокое обратное давление. Это давление затем сообщается механизму запирания. Под действием данного повышенного давления, механизм запирания переходит в закрытое положение. Тем самым, поток цемента не допускается во внутренний проходной канал цементировочной колонны.

По другой альтернативной схеме возможно применение системы с датчиком давления, если вязкость флюида, проходящего через систему усиления потока, увеличивается вследствие присутствия в нем цемента, система управления потоком создает более высокое обратное давление, воздействующее на флюид, как это описано выше. Данное повышение давления измеряется системой с датчиком давления и считывается на поверхности. Тогда оператор останавливает нагнетание цемента, так как ему известно, что цемент заполнил кольцевое пространство и достиг нижней части цементировочной колонны.

На Фигуре 23 приводятся схематические разрезы для предпочтительного варианта осуществления настоящего изобретения. Следует отметить, что один из входов 54 и 56

циклонной камеры 52 не совмещен абсолютно точно для направления потока флюида по касательной (т.е., он не образует угол 90 градусов относительно радиальной линии, идущей от центра), а второй вход не является точно радиальным (т.е., не направлен прямо к центру циклонной камеры), соответственно. Вместо этого, входы 54 и 56 направлены в канал повышения и в канал понижения завихрения, соответственно. Во многих отношениях, Фигура 23 аналогична Фигуре 12, поэтому подробно здесь не описывается. Здесь используются те же числовые обозначения, что и на Фигуре 12. Оптимизация положений входов циклонной камеры может быть выполнена с применением, например, расчетных гидродинамических моделей.

На Фигурах 24A-D показаны другие варианты осуществления канальной системы регулирования сопротивления, воплощающей настоящее изобретение. На Фигуре 24A показана канальная система регулирования сопротивления, имеющая всего один проходной канал 1354, входящий в циклонную камеру. Система управления 1340 изменяет угол входа флюида при его попадании в камеру 1352 из этого проходного канала. Поток флюида F, проходящий через каналы 1344 и 1346 регулятора соотношения флюида, приводит к изменению направления струи флюида на выходе 1380 регулятора соотношения потоков 1340. В зависимости от угла струи, завихрение в циклонной камере 1350, соответственно, увеличивается или уменьшается до момента, когда флюид покидает камеру через выход 1358.

На Фигуре 24B-C приводится еще один вариант осуществления канальной системы регулирования сопротивления 1450, где имеется два входных канала, оба из которых входят в циклонную камеру по касательной. Если поток сбалансирован между каналами 1454 и 1456, как показано на Фигуре 24B, то результирующий поток в циклонной камере 1452 испытывает минимальное завихрение до попадания на выход 1458. Если поток в одном из проходных каналов превышает по объему поток в другом проходном канале, как показано на Фигуре 24C, то результирующий поток в циклонной камере 1452 испытывает значительное завихрение перед тем, как поступить на выход 1458. Благодаря завихрению потока, на флюид, находящийся выше по потоку, действует обратное давление. Благодаря применению поверхностей с различными особенностями, изменению ориентации выходных каналов и корректировке других особенностей линии прохождения флюида, можно увеличить сопротивление для завихрения потока в одном направлении (например, против часовой стрелки) по сравнению с другим направлением (например, по часовой стрелке).

На Фигуре 24D задействовано несколько тангенциальных входов 1554 и несколько радиальных входов 1556, благодаря которым сводится к минимуму интерференция струй потока на входе циклонной камеры 1552 канальной системы регулирования сопротивления 1550. Таким образом, радиальный канал может быть разделен на несколько радиальных входов, направленных в циклонную камеру 1552. Аналогично, на несколько тангенциальных входов может быть разделен тангенциальный канал. Характеристики суммарного потока флюида в циклонной камере 1552, по крайней мере частично, определяются углами входа группы входов в камеру. Систему можно спроектировать так, чтобы она выборочно создавала большее или меньшее завихрение флюида в камере 1552 до момента его попадания на выход 1558.

Следует отметить, что в описанных здесь системах управления потоком флюид разделяется и сливается в разные струи, но флюид не разделяется на составляющие компоненты; то есть, системы управления потоком не являются сепараторами флюидов.

Например, в случае если флюид в основном состоит из природного газа, соотношение потоков в первом и втором проходных каналах может достигать 2:1, так как первый

проходной канал создает относительно слабое сопротивление потоку природного газа. Соотношение потоков снижается или даже может стать обратным по мере изменения пропорциональных объемов флюидов-компонентов. Для тех же проходных каналов, соотношение потоков может составлять 1:1 или даже 1:2, если флюид в основном состоит из нефти. Если флюид содержит как нефть, так и природный газ, соотношение потоков будет находиться в пределах между ранее приведенными крайними значениями. По мере изменения пропорциональной доли компонентов во флюиде в течение периода эксплуатации скважины, соотношение потоков в системе регулирования их соотношения будет изменяться. Аналогично, данное соотношение будет изменяться, если флюид содержит воду и нефть, на основании относительных характеристик воды и нефти. Вследствие этого, система регулирования соотношения потоков может обеспечивать требуемое соотношение потоков.

Система управления потоком предназначена для направления потока флюида, состоящего в основном из нежелательного компонента, такого как газ или вода, в циклонную камеру по касательной, тем самым создавая более высокое обратное давление на флюид, по сравнению с ситуацией, если бы поток протекал вверх, не проходя через циклонную камеру. В результате воздействия обратного давления скорость добычи флюида из пласта снижается на продуктивном интервале по сравнению с другими участками скважины.

Например, в нефтяной скважине нежелательна добыча природного газа. По мере возрастания пропорциональной доли природного газа во флюиде, что влечет снижение его вязкости, большая пропорциональная доля флюида направляется в циклонную камеру по тангенциальному входу. В циклонной камере на флюид воздействует обратное давление, тем самым ограничивая его поток. По мере изменения пропорциональной доли добываемых флюидов-компонентов в сторону повышения содержания нефти (например, в результате отбора газа и поступления в забой нефти), вязкость флюида повысится. Система регулирования соотношения потоков, в ответ на изменение характеристики, понижает или изменяет соотношение потоков в первом и втором каналах на противоположное. В результате, большая часть флюида направляется в циклонную камеру радиально. Циклонная камера создает меньшее сопротивление для флюида, поступающего в нее радиально; также на поток флюида воздействует меньшее обратное давление.

В приведенном выше примере предпочтение отдается добыче нефти, на фоне ограничения добычи природного газа. Изобретение также можно применить для ограничения добычи воды при добыче нефти, либо для ограничения добычи воды при добыче природного газа.

Преимуществом системы управления потоком является ее автономное функционирование в скважине. Также в системе отсутствуют подвижные детали, а следовательно, она не подвержена засорению, в отличие от систем управления потоком, в составе которых имеются механические клапаны и аналогичные приспособления. Также система управления потоком может функционировать независимо от ее ориентации в скважине, поэтому следить за правильной ориентацией в стволе скважины секции трубопровода с установленной внутри нее системой необязательно. Система может функционировать в вертикальной или наклонной скважине.

В то время как полностью автономная система управления потоком является предпочтительной, необязательно использовать предложенную в изобретении систему управления потоком или канальную систему регулирования сопротивления друг с другом. Поэтому одна или вторая система может иметь подвижные детали или

электронные средства регулирования и т.д.

Например, хотя основным элементом канальной системы регулирования сопротивления является циклонная камера, в ее составе могут быть подвижные детали, которые нужны для ее работы с системой регулирования соотношения потоков. А именно, два выхода системы регулирования соотношения потоков можно подключать к одной из сторон цилиндра выравнивания давления, в результате чего цилиндр сможет перемещаться из одного положения в другое. В одном положении, к примеру, он будет перекрывать выходное отверстие, а в другом - нет. Таким образом, в системе регулирования соотношения потоков необязательно применять циклонную камеру, что не мешает использовать все остальные ее преимущества. Аналогично, предложенная в изобретении канальная система регулирования сопротивления может использоваться в сочетании с более традиционной исполнительной системой, включающей в себя датчики и клапаны. Системы, предложенные в настоящем изобретении, также могут включать в себя подсистемы вывода данных, которые служат для отправки данных на поверхность, благодаря чему оператор имеет наглядное представление о состоянии системы.

Изобретение также можно применять наряду с другими системами управления потоком, такими как регуляторы притока, скользящие муфты и другие устройства регулирования, хорошо известные в отрасли. Предложенная в изобретении система может устанавливаться параллельно либо последовательно с указанными другими типами систем управления потоком.

В то время как описание настоящего изобретения дано на основании проиллюстрированных вариантов его осуществления, не следует толковать его как исчерпывающее весь объем данного изобретения. Специалист с соответствующим уровнем технической подготовки может создавать различные модификации и по-разному комбинировать варианты осуществления настоящего изобретения, как 5 описанные здесь, так и другие. Вследствие этого предполагается, что любые такие модификации или варианты осуществления настоящего изобретения описаны в прилагаемых патентных формулах.

(57) Формула изобретения

1. Скважинное устройство для установки в стволе скважины в подземном участке, содержащее:

по существу трубчатую стенку корпуса, отделяющую внутреннюю часть скважинного устройства от внешней его части, проходящей в радиальном направлении наружу от указанной внутренней части и образующей при установке в стволе скважины совместно с указанным стволом скважины кольцевое пространство; и

струйный диод, находящийся в гидравлическом сообщении между внутренней частью скважинного устройства и внешней частью скважинного устройства сквозь стенку корпуса,

причем указанный струйный диод содержит внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности; первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей; и второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия.

2. Устройство по п. 1, в котором указанный струйный диод выполнен с возможностью обеспечения гидравлического сообщения между указанными внутренней и внешней частями скважинного устройства для подачи добываемого флюида из наружной части

скважинного устройства внутрь скважинного устройства.

3. Устройство по п. 2, дополнительно содержащее секцию колонны завершения.

4. Устройство по п. 1, в котором указанный струйный диод выполнен с возможностью обеспечения гидравлического сообщения между указанными внутренней и внешней частями скважинного устройства для подачи нагнетательного флюида из внутренней части скважинного устройства в наружную часть скважинного устройства.

5. Устройство по п. 4, дополнительно содержащее секцию рабочей колонны.

6. Устройство по п. 1, в котором боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью направления потока флюида от второго отверстия для его вращения вокруг первого отверстия.

7. Устройство по п. 6, в котором наибольшее расстояние между противоположными торцевыми поверхностями меньше наибольшего измерения противоположных торцевых поверхностей.

8. Устройство по п. 7, в котором первое отверстие представляет собой выход внутренней камеры, а второе отверстие представляет собой вход внутренней камеры.

9. Устройство по п. 1, в котором струйный диод содержит цилиндрическую камеру для приема потока флюида через вход камеры и направления указанного потока к выходу камеры.

10. Устройство по п. 9, в котором цилиндрическая камера выполнена с возможностью способствования вращению потока флюида вокруг указанного выхода камеры, причем скорость вращения основана на характеристике притока флюида через указанный вход.

11. Устройство по п. 10, в котором наибольшее осевое измерение цилиндрической камеры меньше наибольшего диаметрального измерения цилиндрической камеры.

12. Скважинное устройство для установки в стволе скважины в подземном пласте для сообщения потока флюида с подземным пластом, когда указанное скважинное устройство установлено в стволе скважины, содержащее:

корпус, задающий внутреннюю часть и наружную кольцевую часть указанного скважинного устройства;

струйный диод, расположенный в протоке, проходящем через корпус скважинного устройства и между внутренней и наружной частями скважинного устройства, для приема потока флюида, проходящего между внутренней и наружной частями скважинного устройства, причем указанный струйный диод содержит:

внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности;

причем наибольшее расстояние между противоположными торцевыми поверхностями меньше наибольшего измерения противоположных торцевых поверхностей;

первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей; и

второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия;

причем боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью направления потока флюида от второго отверстия для его вращения вокруг первого отверстия.

13. Устройство по п. 12, в котором струйный диод размещен в протоке, проходящем от внутренней к наружной части скважинного устройства, для приема потока нагнетательного флюида.

14. Устройство по п. 12, в котором струйный диод размещен в протоке, проходящем от наружной к внутренней части скважинного устройства, для приема потока добываемого флюида.

15. Устройство по п. 12, в котором первое отверстие представляет собой выход

внутренней камеры, а второе отверстие представляет собой вход внутренней камеры.

16. Устройство по п. 12, в котором первое отверстие представляет собой вход во внутреннюю камеру, а второе отверстие представляет собой выход из внутренней камеры.

17. Устройство для регулирования потока, предназначенное для установки на скважинной трубе в подземном стволе скважины и содержащее:

внутреннюю поверхность, образующую внутреннюю камеру и включающую в себя боковую периметровую поверхность и противоположные торцевые поверхности, причем наибольшее расстояние между противоположными торцевыми поверхностями меньше наибольшего измерения противоположных торцевых поверхностей;

первое отверстие, выполненное в одной из указанных торцевых поверхностей для вывода потока флюида в скважинную трубу или ствол скважины или для приема потока флюида из скважинной трубы или ствола скважины;

второе отверстие, выполненное в указанной внутренней поверхности на расстоянии от указанного первого отверстия для вывода потока флюида в другую скважинную трубу или другой ствол скважины или для приема потока флюида из другой скважинной трубы или другого ствола скважины, причем боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью направления потока флюида от второго отверстия для его вращения вокруг первого отверстия;

первый проток, выполненный с возможностью направления потока флюида через второе отверстие во внутреннюю камеру под первым углом; и

второй проток, выполненный с возможностью направления потока флюида через второе отверстие во внутреннюю камеру под вторым углом, отличным от указанного первого угла;

причем между указанными первым и вторым протоками задано соотношение потоков, автономно изменяемое в ответ на изменения характеристики потока флюида, поступающего в устройство регулирования.

18. Устройство по п. 17, в котором первое отверстие представляет собой выход из внутренней камеры, а второе отверстие представляет собой вход во внутреннюю камеру.

19. Устройство по п. 18, в котором первый проток выполнен с возможностью направления потока флюида через вход по существу в направлении под углом к выходу и вдоль боковой периметровой поверхности.

20. Устройство по п. 18, в котором второй проток выполнен с возможностью направления потока флюида через вход по существу в радиальном направлении относительно выхода и перпендикулярно боковой периметровой поверхности.

21. Устройство по п. 18, в котором боковая периметровая поверхность выполнена с возможностью способствования вращению потока флюида из первого протока вокруг выхода.

22. Устройство по п. 18, в котором внутренняя камера выполнена с возможностью поддержания по существу отсутствия вращения потока флюида, направленного из второго протока к выходу.

23. Способ автономного направления потока флюида в подземный ствол скважины, содержащий этапы, на которых:

принимают первичный поток флюида в скважинном устройстве, и затем разделяют первичный поток флюида на первый поток и отдельный от него второй поток;

устанавливают соотношение между указанными первым и вторым потоками;

автономно изменяют указанное соотношение в ответ на изменения характеристики флюида;

принимают указанные первый и второй потоки флюида, причем первый поток меньше второго потока и протекает в первом направлении, отличном от второго направления, в котором протекает второй поток;

воссоединяют указанные первый и второй потоки в комбинированный поток;

направляют полученный комбинированный поток в сторону от второго направления в направлении первого направления; и

создают для потока условия, при которых происходит автономное усиление стремления комбинированного потока протекать в первом направлении.

24. Способ по п. 23, в котором этап создания для потока условий включает в себя направление комбинированного потока в поверхность, проходящую в первом направлении, что усиливает стремление комбинированного потока протекать вдоль указанной поверхности в первом направлении.

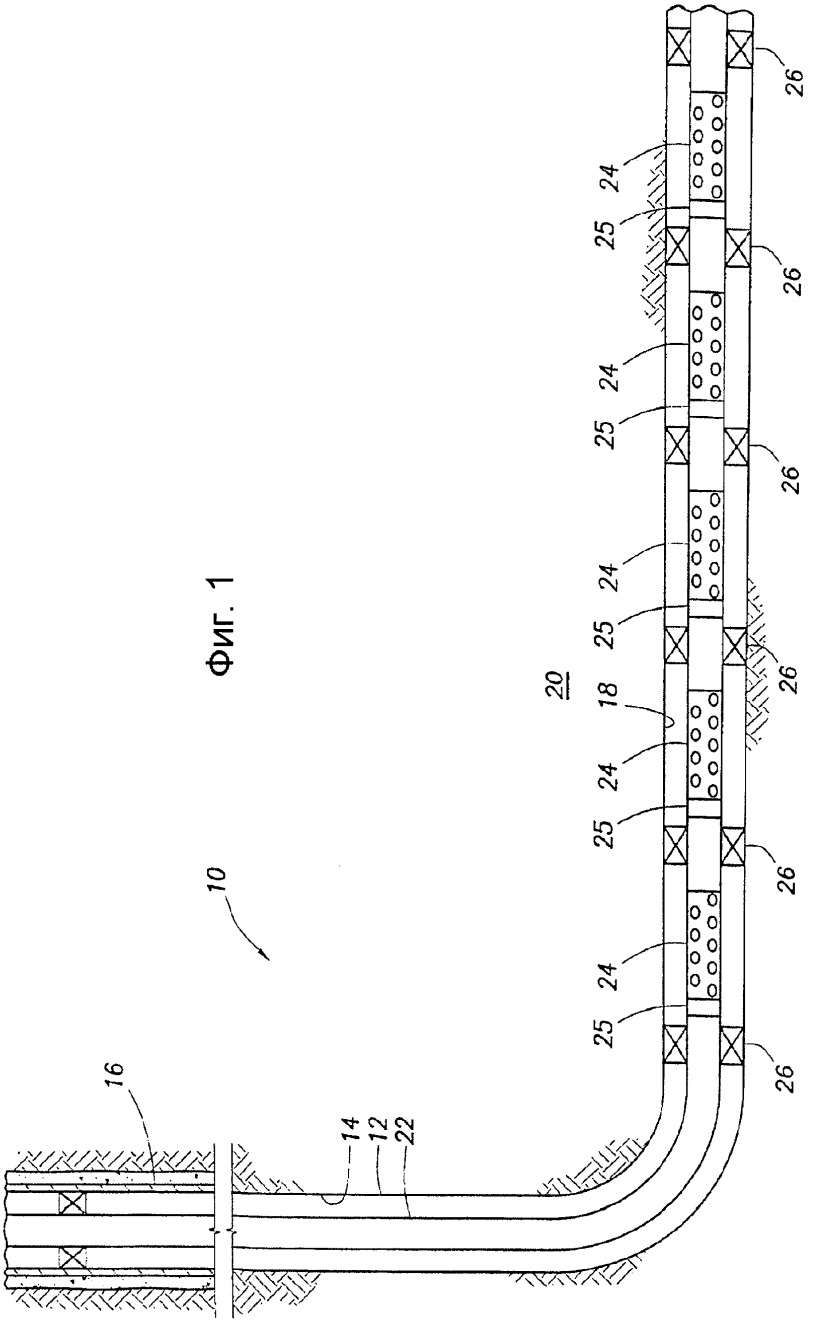
25. Способ по п. 23, в котором характеристика потока представляет собой по меньшей мере одно из следующего: плотность флюида, вязкость флюида или скорость потока флюида.

26. Способ по п. 23, в котором поток флюида имеет два устойчивых состояния для устойчивого протекания в первом или втором направлении, причем этап создания для потока условий включает в себя создание таких условий, при которых происходит усиление стремления комбинированного потока устойчиво протекать в первом направлении.

27. Способ по п. 23, в котором скважинное устройство содержит пропорциональный усилитель, причем этап создания для потока условий включает в себя пропорциональное разделение потока между первым и вторым направлениями на основе потока флюида.

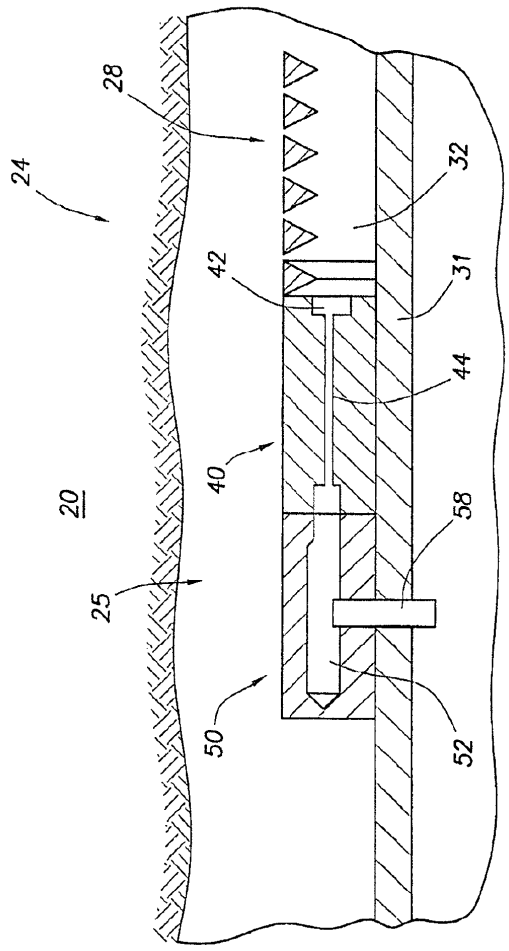
1

1



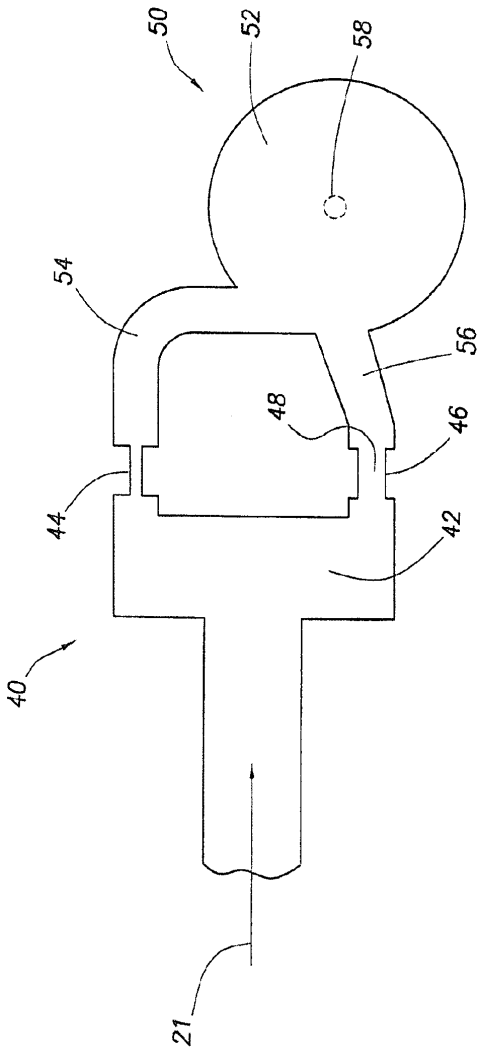
Фиг. 1

2

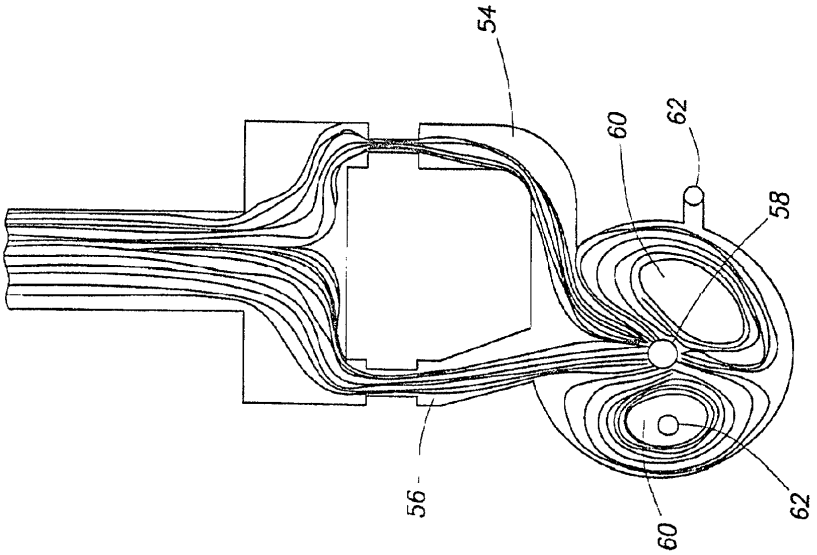


Фиг. 2

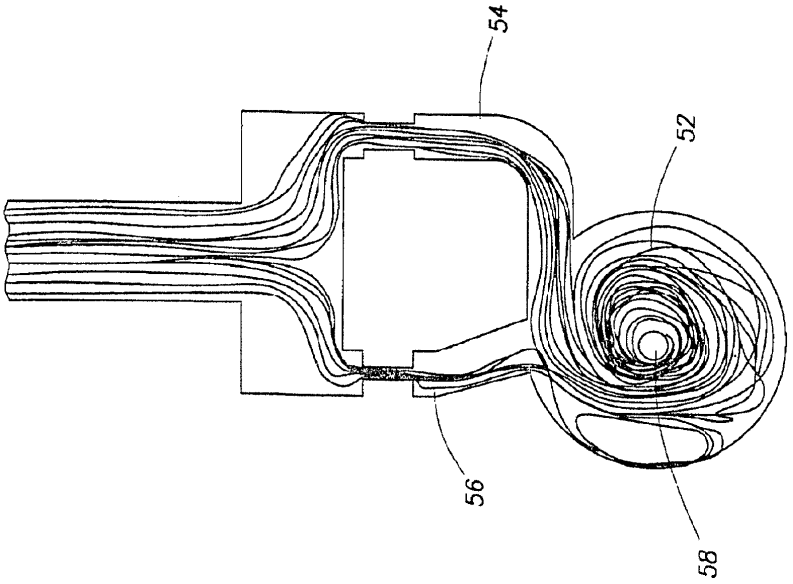
3



Фиг. 3

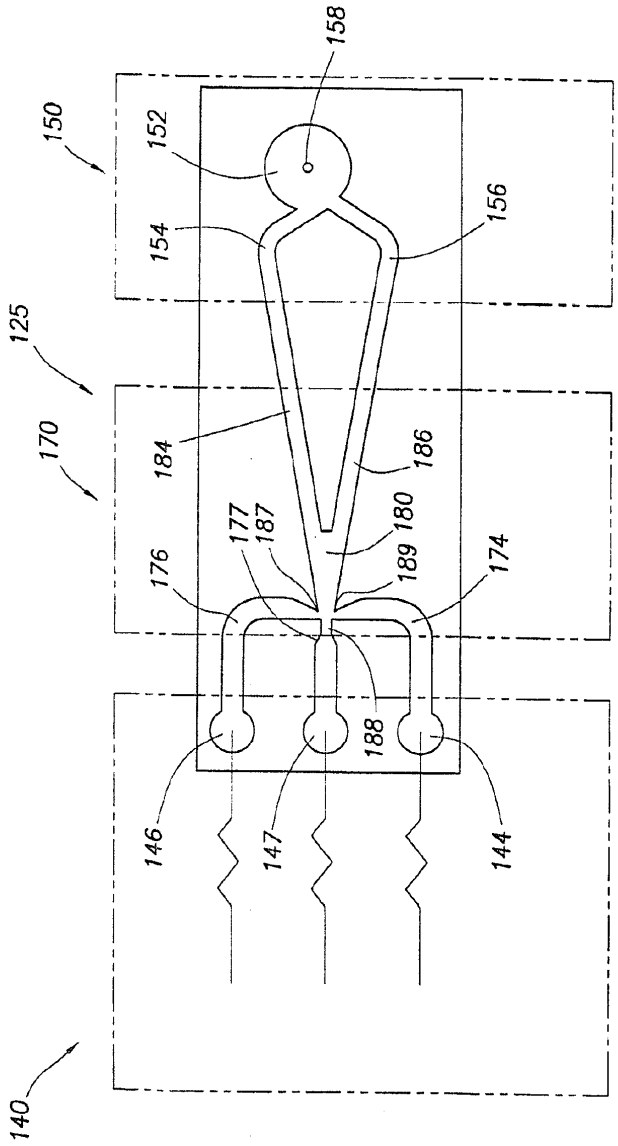


Фиг. 4B

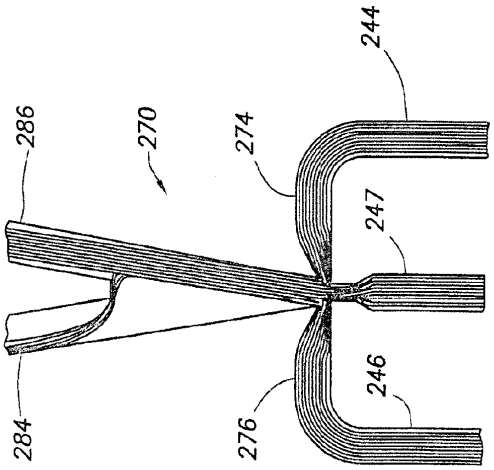


Фиг. 4A

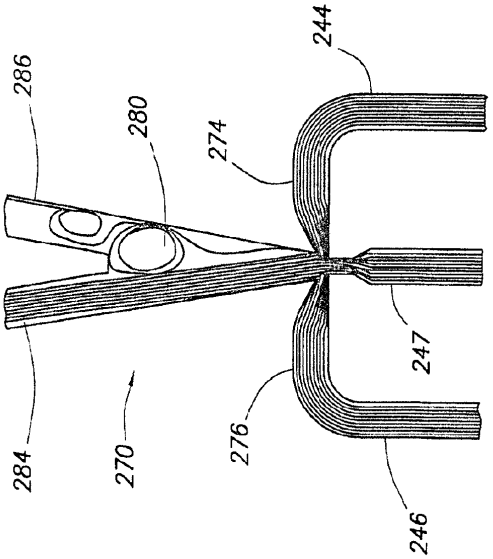
5


158
150
152
154
156
125
170
184
186
177
187
180
189
176
174
188
146
147
144
140

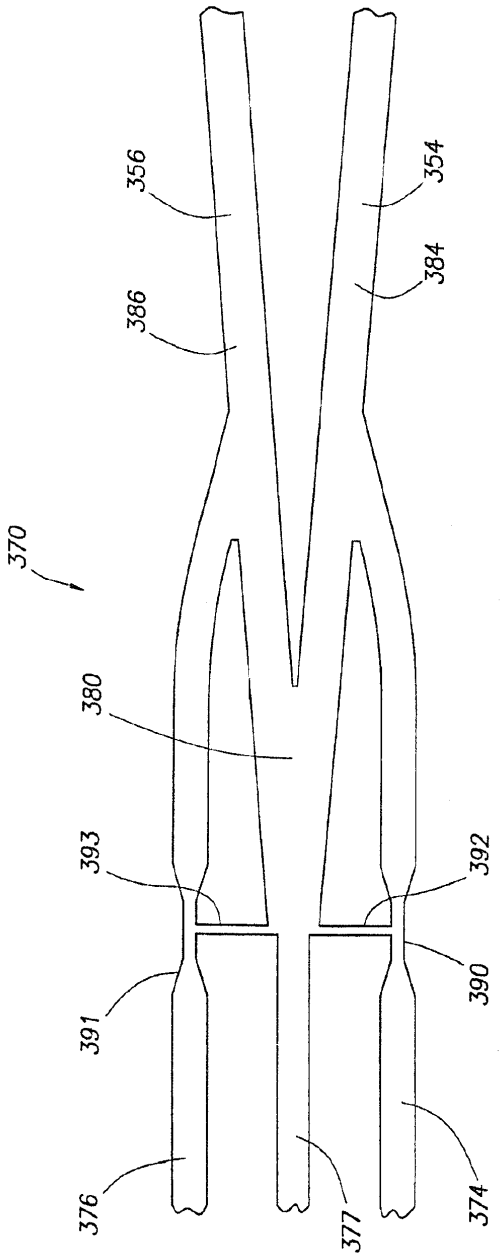
Фиг. 5


244
286
270
274
247
284
276
246

Фиг. 6B

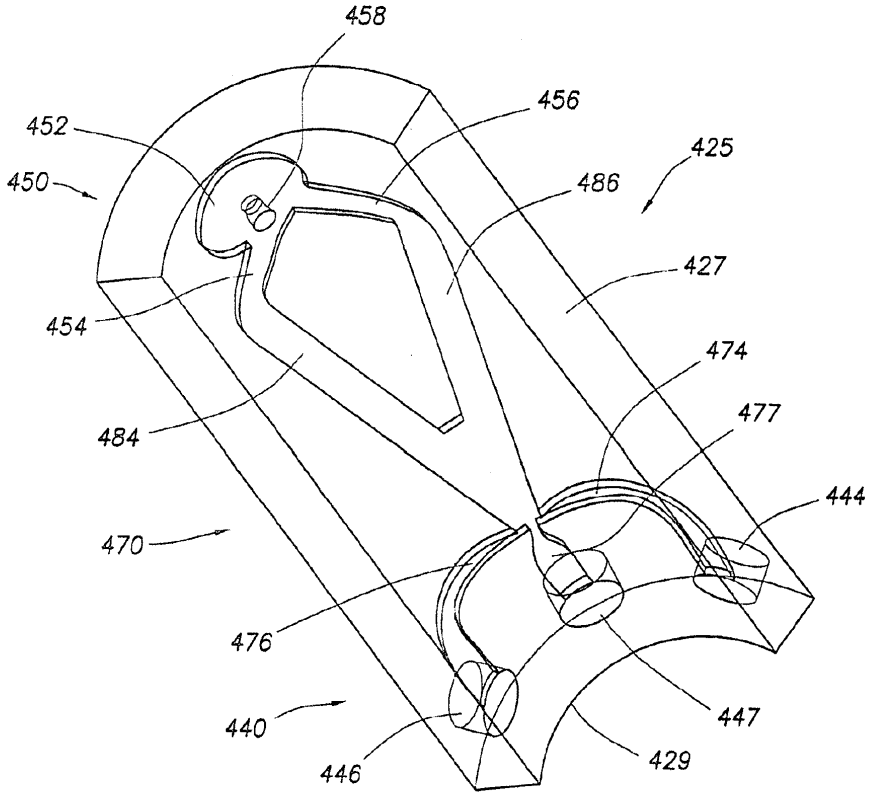

244
286
280
274
284
270
276
247
246

Фиг. 6A



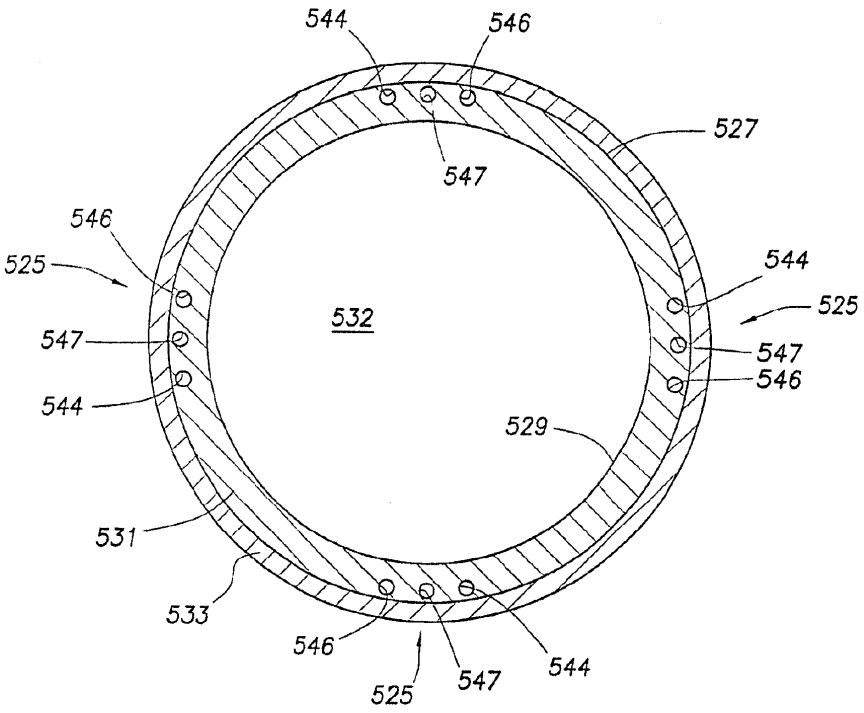
Фиг. 7

8


458
456
452
425
450
486
427
454
474
484
477
444
470
476
447
440
429
446

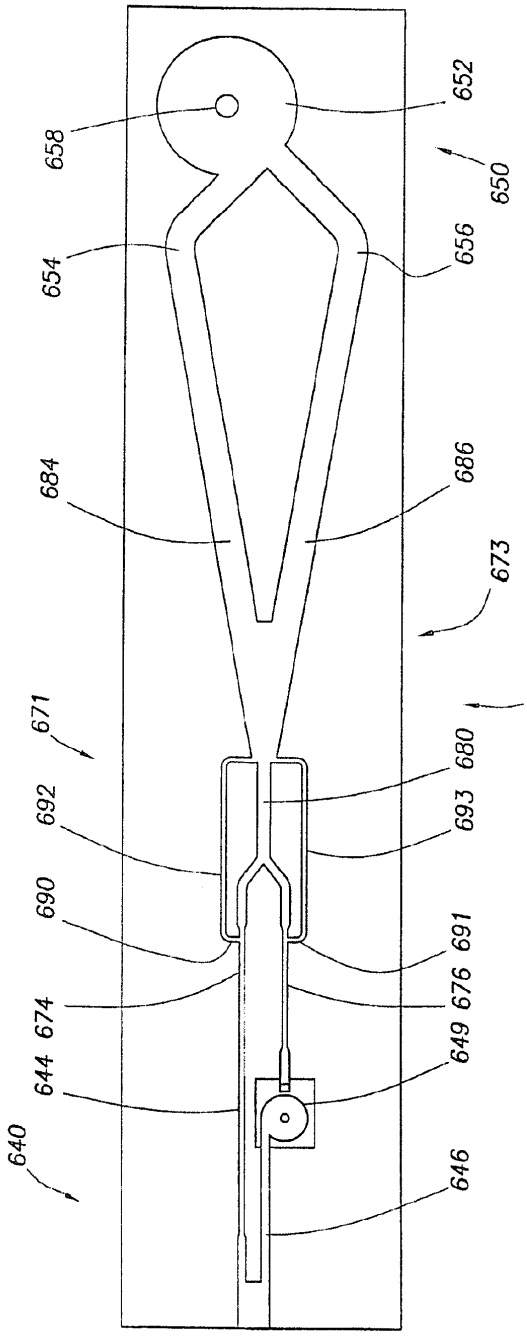
Фиг. 8

9


544
546
527
547
546
525
544
525
532
547
547
546
544
529
531
533
546
525
547
544

Фиг. 9

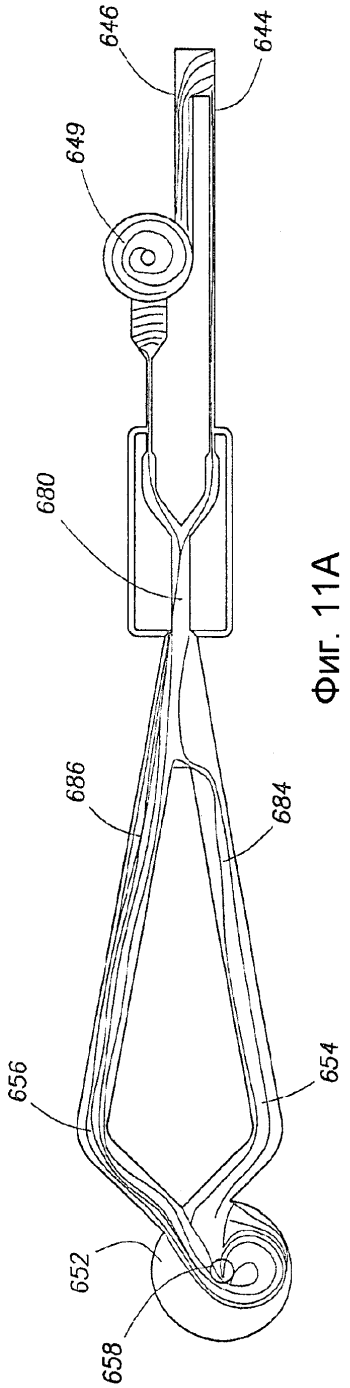
10


658
652
650
654
656
684
686
673
671
670
680
692
693
690
691
676
674
649
644
640
646

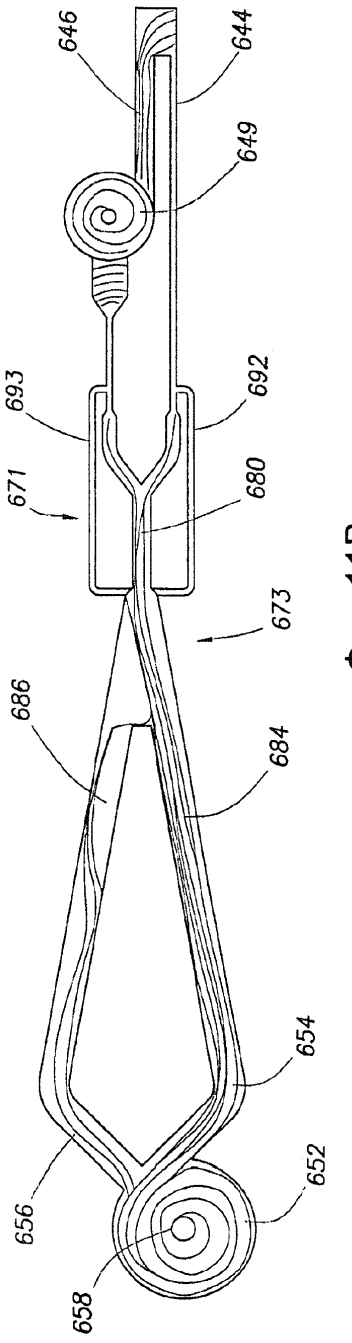
Фиг. 10

11

11



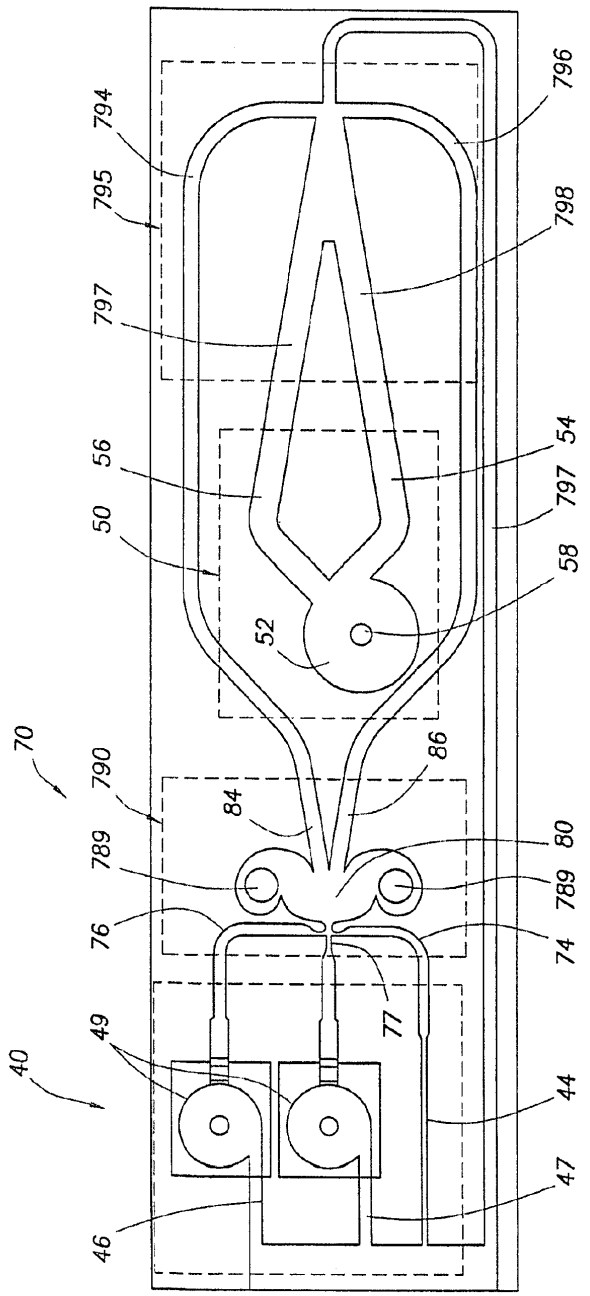
Фиг. 11A



Фиг. 11B

12

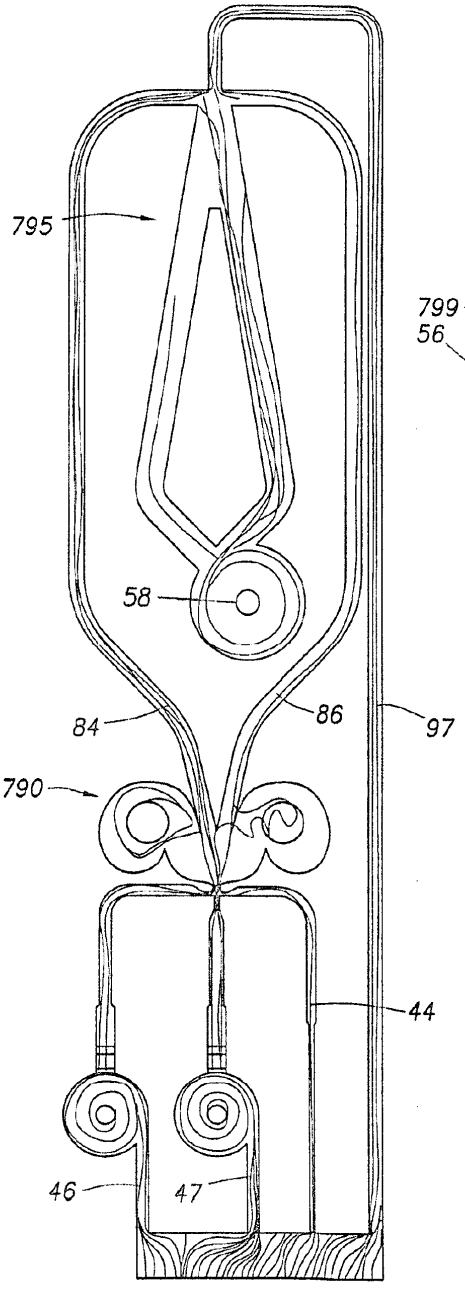
12


794
795
797
796
798
56
54
797
50
58
52
70
790
86
84
789
80
789
76
74
77
49
40
44
47
46

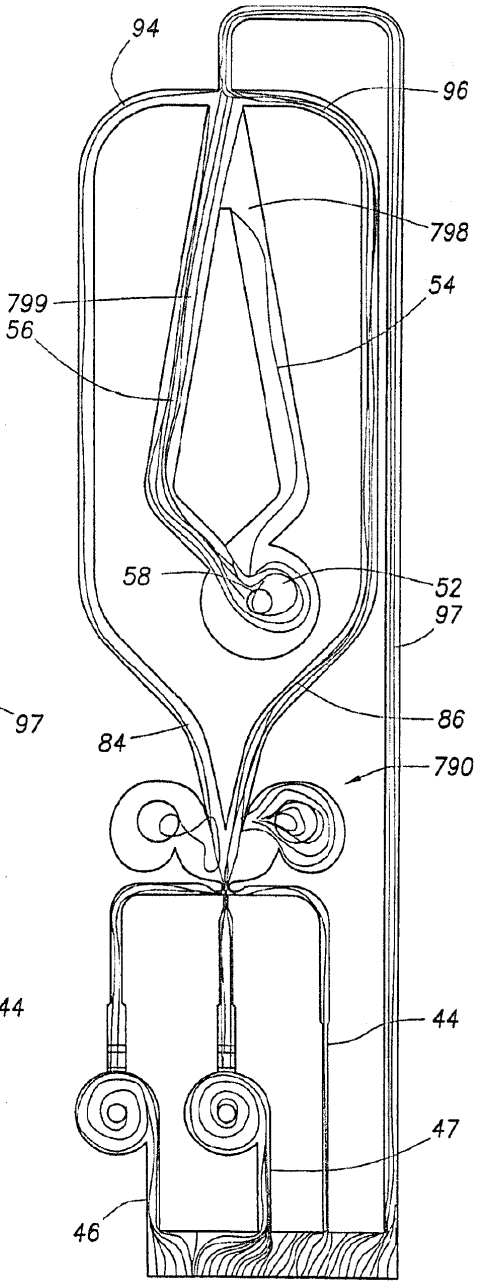
Фиг. 12

13

13

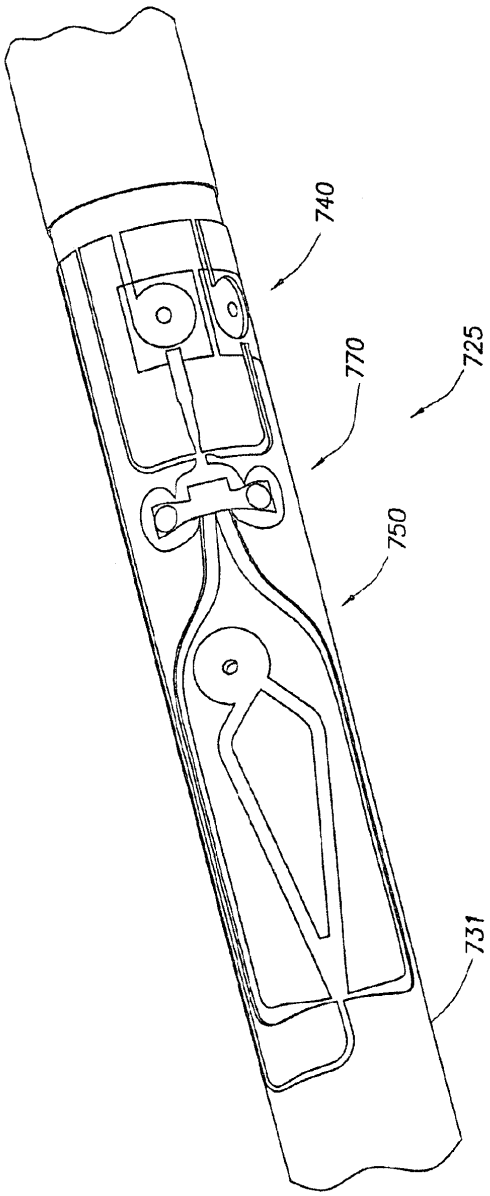


Фиг. 13A



Фиг. 13B

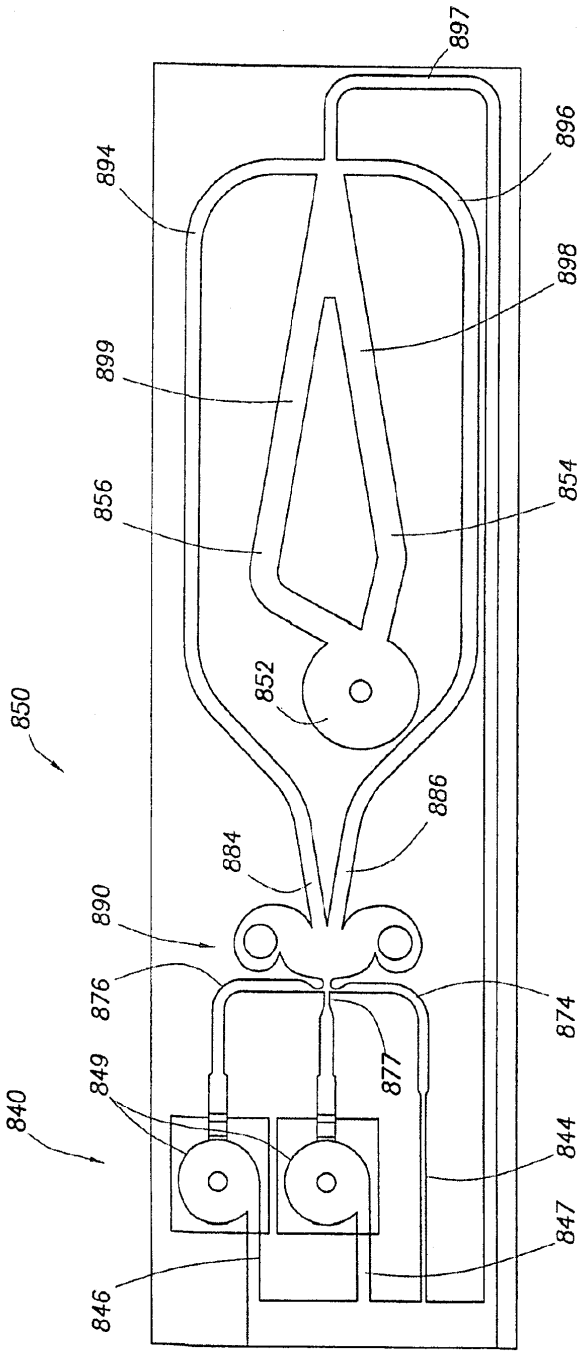
14



Фиг. 14

15

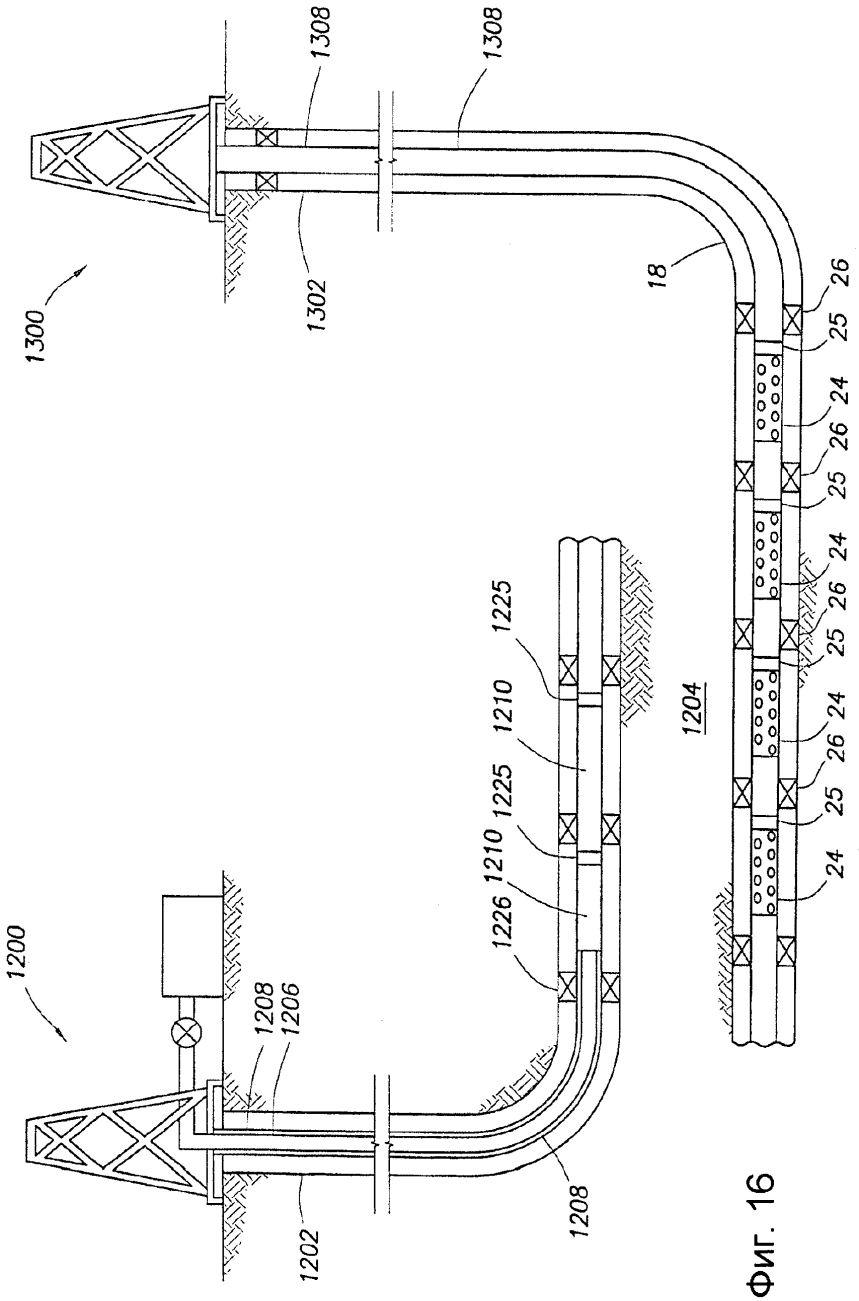
15


897
896
894
898
899
856
854
852
850
886
884
890
876
874
877
849
840
844
847
846

Фиг. 15

16

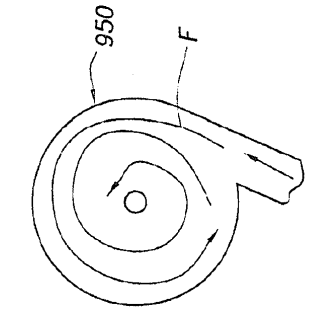
16


1308
1308
1300
1302
18
26
25
24
26
25
24
26
25
24
26
25
24
1225
1210
1225
1210
1226
1204
1200
1208
1206
1202
1208

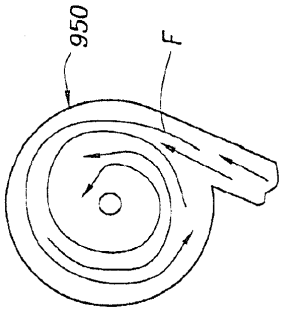
Фиг. 16

17

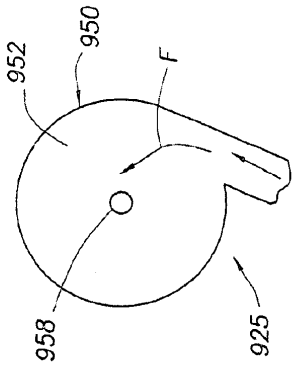
17



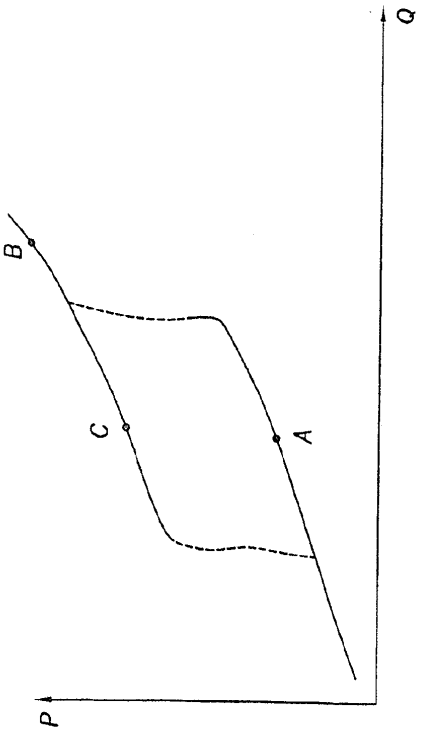
Фиг. 17C



Фиг. 17B

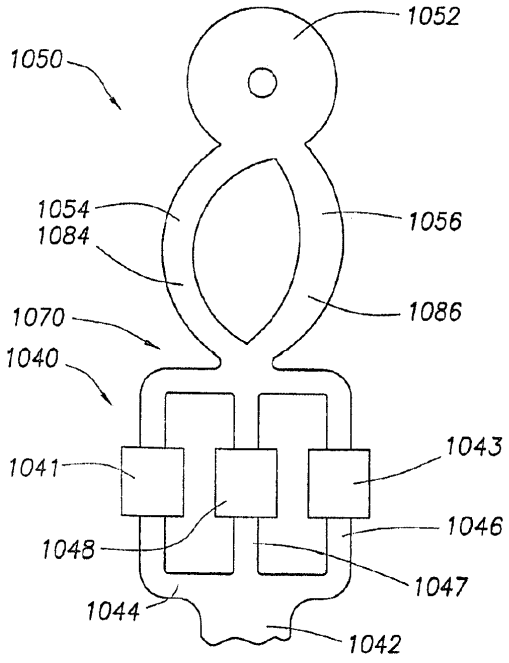


Фиг. 17A

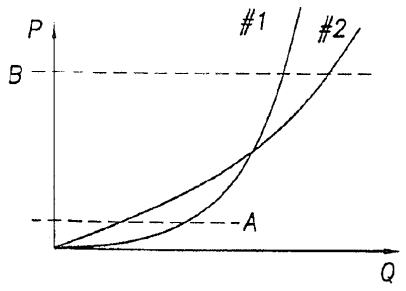


Фиг. 18

18

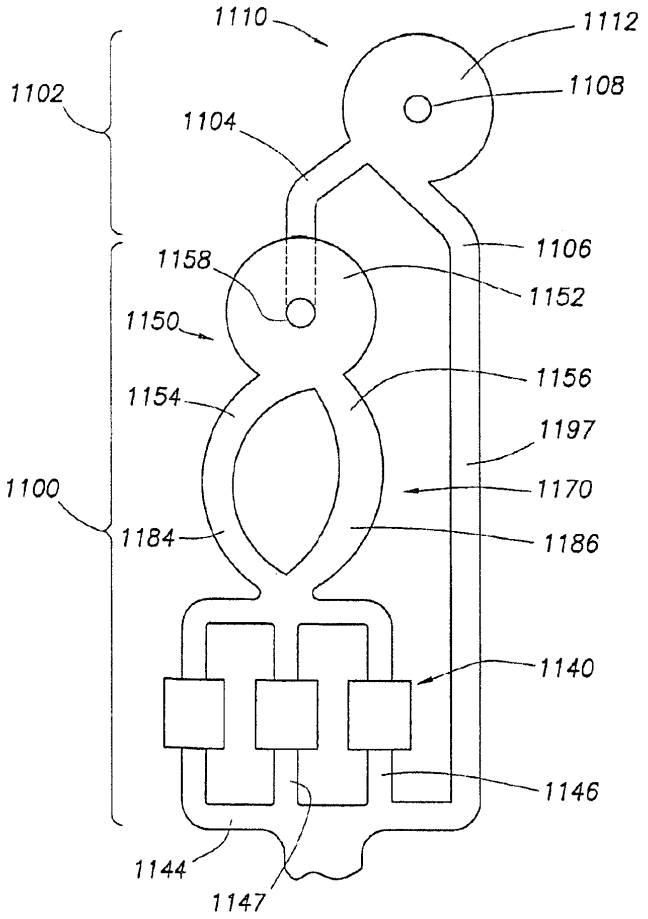


Фиг. 19

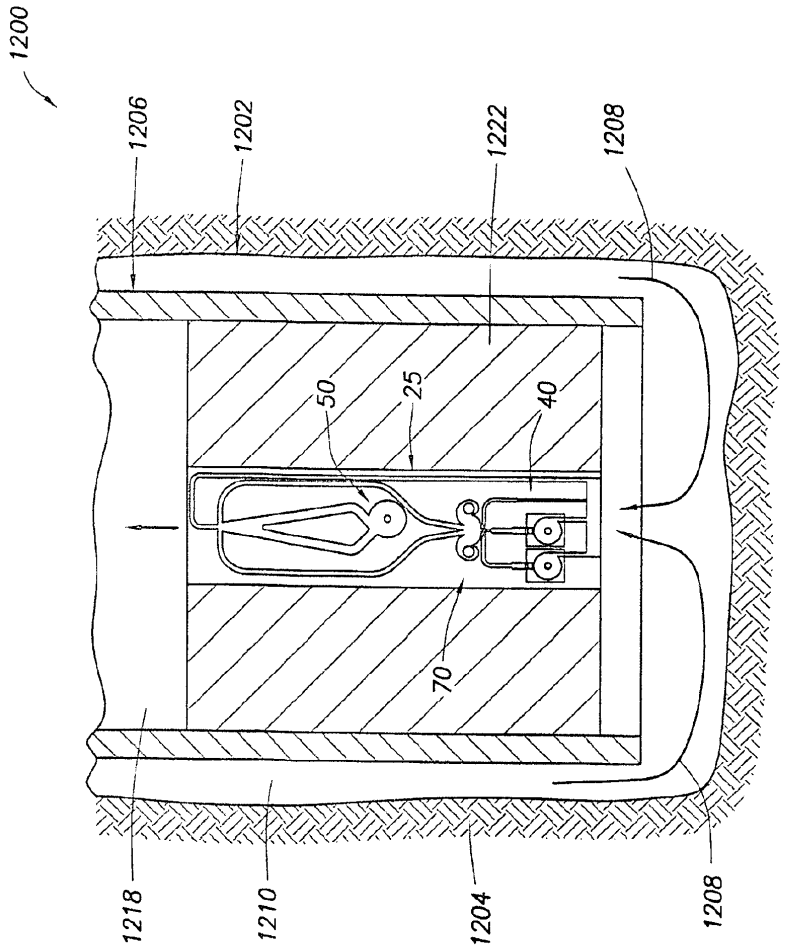


Фиг. 20

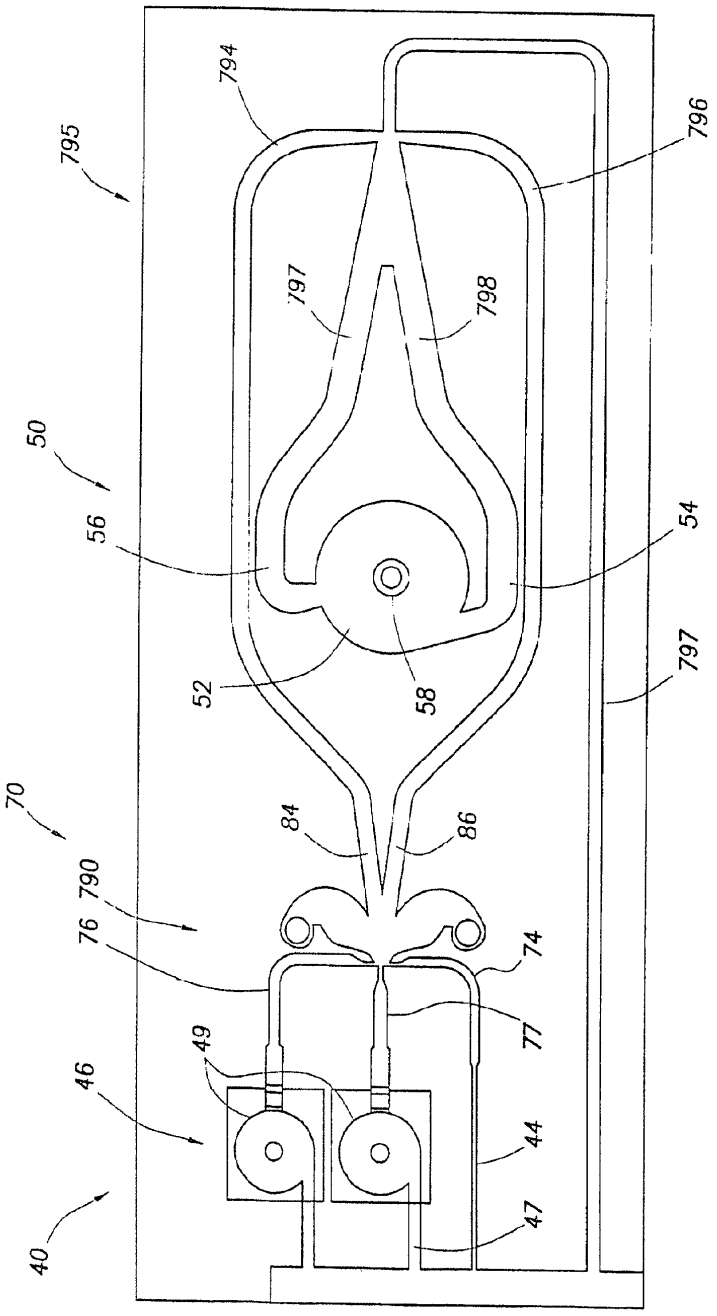
19


1110
1112
1102
1108
1104
1106
1158
1152
1150
1156
1154
1197
1100
1170
1184
1186
1140
1146
1144
1147

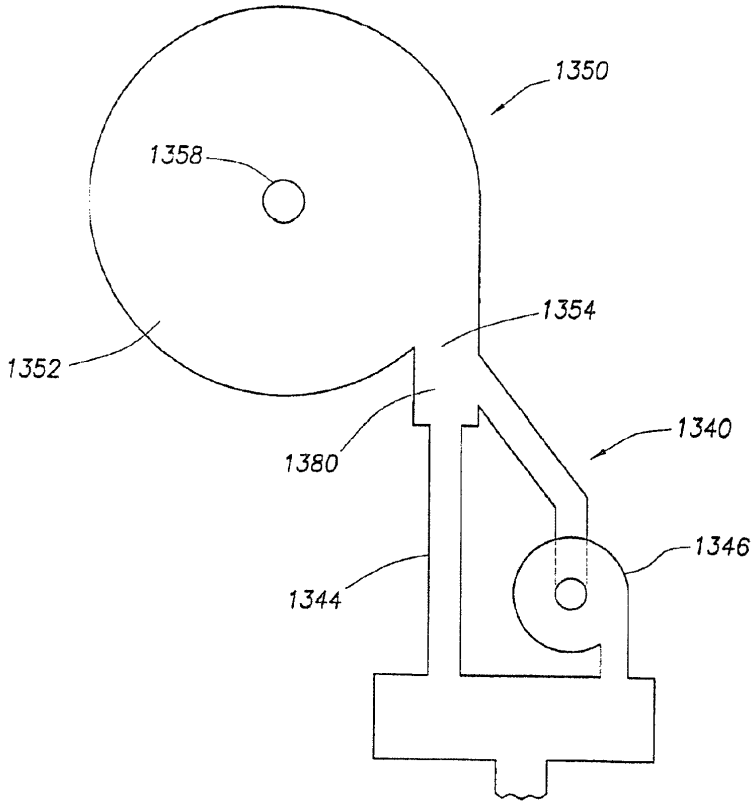
Фиг. 21



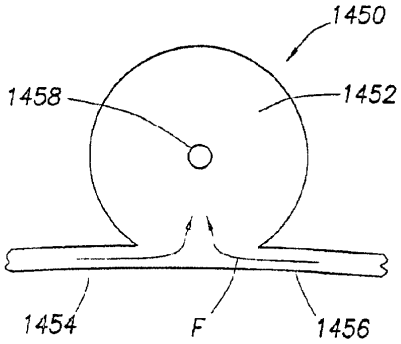
Фиг. 22


794
795
796
797
798
50
56
54
52
58
797
70
84
86
790
76
74
77
49
46
44
47
40

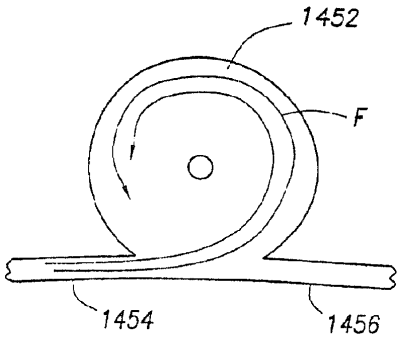
Фиг. 23



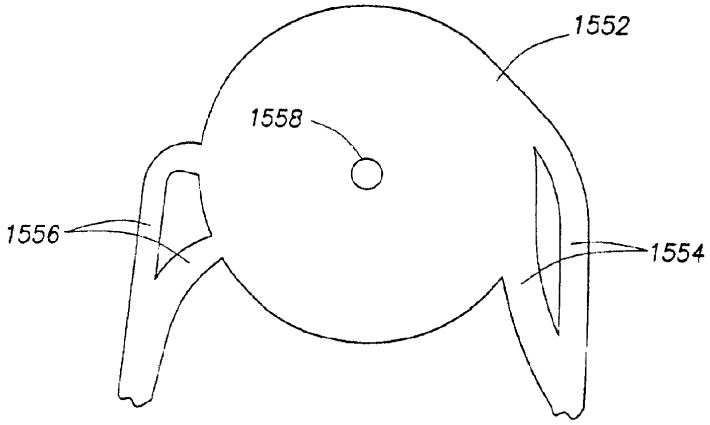
Фиг. 24A



Фиг. 24B



Фиг. 24C



Фиг. 24D