

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038227**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.07.27

(21) Номер заявки
201991082

(22) Дата подачи заявки
2017.12.01

(51) Int. Cl. *E21B 36/00* (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01)
H05B 6/62 (2006.01)

(54) **ТРУБЧАТАЯ ЗАЩИТА РАДИОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ДОБЫЧИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

(31) **102016000122488**

(32) **2016.12.02**

(33) **IT**

(43) **2019.12.30**

(86) **PCT/IB2017/057567**

(87) **WO 2018/100545 2018.06.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭНИ С.П.А. (IT)

(72) Изобретатель:
**Буррафато Себастьяно, Мальярди
Альберто, Ди Ренцо Доменико (IT)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В. (RU)**

(56) **WO-A2-2016024197
US-A1-2014216726
US-A1-2008265654
US-A1-2012267095**

(57) Изобретение относится к системе для содействия добыче углеводородов, в частности к трубчатой защите для системы добычи, в которой используется радиочастотный нагрев высоковязких углеводородов на месте при помощи антенны, содержащей коаксиальный массив преобразователей режимов.

B1

038227

038227

B1

Область техники

Данное изобретение относится к системе для содействия добыче углеводородов, в частности к трубчатой защите для системы добычи, в которой используется радиочастотный нагрев высоковязких углеводородов на месте при помощи антенны, содержащей коаксиальный массив преобразователей режимов.

Уровень техники

В заявке на международный патент №2016/024197, поданной заявителем, раскрыта система, содержащая:

радиочастотный генератор, подходящий для генерирования электромагнитного сигнала, коаксиальную передающую линию, присоединенную к генератору и подходящую для передачи сигнала вдоль дренажной трубы, причем указанная коаксиальная линия содержит наружный проводник и внутренний проводник, которые разделены слоем диэлектрического материала,

по меньшей мере один преобразователь режимов, который расположен вдоль коаксиальной передающей линии, прерывает указанную линию внутри дренажной трубы и содержит первый и второй проводники, причем первый проводник преобразователя обеспечивает электрическое соединение между наружным проводником передающей линии в местоположении до преобразователя и наружным проводником передающей линии в местоположении после преобразователя, а второй проводник преобразователя режимов обеспечивает электрическое соединение между внутренним проводником передающей линии в местоположении до преобразователя и внутренним проводником передающей линии в местоположении после преобразователя,

при этом указанный по меньшей мере один преобразователь режимов подходит для обеспечения, в присутствии радиочастотного сигнала вдоль коаксиальной передающей линии, нарушения дифференциального режима распространения сигнала вдоль коаксиальной передающей линии и для наведения тока в наружном проводнике указанной линии и создания электромагнитного поля в окружающей области, что приводит к нагреванию углеводородов внутри резервуара.

В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения система содержит набор преобразователей режимов, распределенных вдоль коаксиальной передающей линии внутри дренажной трубы. В предпочтительном варианте выполнения указанный набор преобразователей представляет собой массив преобразователей режимов, расположенных с равными интервалами вдоль коаксиальной передающей линии. В данном описании слово "нарушение" означает, что каждый преобразователь режимов излучает часть радиочастотной мощности, распространяющейся вдоль коаксиальной передающей линии, при нарушении дифференциального режима распространения, что вызывает распределение излучения вдоль массива преобразователей.

Преобразователи режимов могут относиться к емкостному или индуктивному типу и даже представлять собой комбинацию обоих типов. Преобразователи индуктивного типа вызывают нарушение дифференциального режима распространения сигнала вдоль коаксиальной передающей линии с помощью по меньшей мере одного индуктивного элемента. Емкостные преобразователи вызывают нарушение дифференциального режима распространения сигнала вдоль коаксиальной передающей линии с помощью по меньшей мере одного емкостного элемента.

Система обеспечивает возможность распределения радиочастотного излучения вдоль длинных участков дренажной трубы в горизонтальных, вертикальных или наклонных нефтяных скважинах.

Данная система обеспечивает возможность эффективного увеличения продуктивности скважин для добычи высоковязких углеводородов, в частности тяжелых нефтепродуктов, благодаря ее способности равномерно нагревать резервуар до умеренных температур вдоль всей длины дренажной трубы.

Применение радиочастот в буровых условиях с использованием антенны значительной длины приводит к возникновению серьезной проблемы, связанной с сохранением надежности с течением времени, если антенна подвергается воздействию добываемых текучих сред, а также тепловым циклам и циклам давления во время работы скважины, что может подвергать опасности электрическую изоляцию и, таким образом, повышать износ системы.

Объем изобретения

Решение, к которому относится данное изобретение, предназначено для по меньшей мере частичного устранения недостатков известного уровня техники.

Сущность изобретения

В соответствии с первым аспектом данного изобретения предложена система для нагревания высоковязких углеводородов в резервуаре, содержащем по меньшей мере одну дренажную трубу, причем указанная система содержит:

антенну, присоединенную к радиочастотному генератору, выполненному с возможностью генерирования электромагнитного сигнала, причем антенна содержит коаксиальную передающую линию, присоединенную к указанному генератору и выполненную с возможностью передачи сигнала вдоль дренажной трубы, по меньшей мере один преобразователь режимов, который расположен вдоль коаксиальной передающей линии внутри дренажной трубы, прерывает указанную линию и выполнен с возможностью внесения нарушения в дифференциальный режим распространения сигнала вдоль коаксиальной пере-

дающей линии, когда вдоль нее присутствует радиочастотный сигнал, и возбуждения в окружающей области электромагнитного поля, которое приводит к нагреванию углеводородов в резервуаре,

трубчатое покрытие из материала, прозрачного для электромагнитных волн, причем указанный трубчатый кожух содержит указанную антенну. Предпочтительно пространство между трубчатым кожухом и антенной заполнено диэлектрической текучей средой.

Диэлектрическая текучая среда предпочтительно содержит диэлектрическое масло с коэффициентом теплового расширения менее $0,001 \text{ л/}^\circ\text{С}$. Предпочтительно трубчатый кожух выполнен из жесткого материала, например стекловолокна.

В предпочтительном варианте выполнения данного изобретения трубчатый кожух содержит объемный компенсатор, выполненный с возможностью размещения увеличенного объема диэлектрической текучей среды при ее расширении вследствие повышения температуры. Данный объемный компенсатор может содержать цилиндрическую камеру, расположенную на конце трубчатого кожуха и отделенную от указанного кожуха закрывающими средствами, выполненными с возможностью открывания, когда давление диэлектрической текучей среды возрастает. Как вариант, объемный компенсатор содержит часть с изменяемым объемом, выполненную с обеспечением увеличения ее объема в результате увеличения давления диэлектрической текучей среды. В последнем случае указанная часть с изменяемым объемом может предпочтительно содержать телескопическую камеру. В одном варианте выполнения часть с изменяемым объемом отделена от трубчатого кожуха закрывающими средствами, выполненными с возможностью открывания при увеличении давления диэлектрической текучей среды. В обоих вышеописанных решениях закрывающие средства предпочтительно содержат диафрагму, имеющую предел прочности, соответствующий заданному пороговому значению давления, и выполненную с обеспечением разрушения, когда диэлектрическая текучая среда достигает заданного порогового значения давления.

Таким образом, благодаря предотвращению контакта с текучей средой в скважине система, к которой относится данное изобретение, предотвращает возможные проблемы с электрической изоляцией антенны, что существенно повышает надежность.

Система, к которой относится данное изобретение, может работать в высокоагрессивной окружающей среде и в случае, когда она снабжена объемным компенсатором, может сдерживать расширение диатермической тяжелой нефти, находящейся внутри системы. Одним из преимуществ, достигаемых с помощью данного изобретения, является возможность защиты антенны от добываемых текучих сред, в частности, когда антенна имеет значительную длину (например, более 400 м) и поэтому подвержена повышенным рискам, связанным с надежностью системы с течением времени.

Краткое описание чертежей

Ниже сделана ссылка на комплект чертежей для облегчения описания некоторых предпочтительных вариантов выполнения данного изобретения.

Фиг. 1 изображает устройство, содержащее расположенную в осевом направлении антенну, к которой присоединен объемный компенсатор.

Фиг. 2 изображает устройство для антенн длиной менее 400 м, к которому присоединен цилиндрический объемный компенсатор.

Фиг. 3 изображает устройство для антенн длиной более 400 м, к которому присоединен трехступенчатый телескопический компенсатор.

Подробное описание предпочтительного варианта выполнения

Система, к которой относится данное изобретение, содержит трубу, которая выполнена из материала, прозрачного для радиочастотного излучения антенны, например из стекловолокна, и в которой содержится указанная антенна, расположенная в осевом направлении. В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения данного изобретения к концу антенны присоединен объемный компенсатор. Другими материалами, подходящими для трубчатого кожуха, могут быть материалы, которые являются прозрачными для электромагнитных волн и имеют механические свойства, позволяющие размещать их в скважине. Диэлектрическая текучая жидкость (например диэлектрическое масло, имеющее низкий коэффициент теплового расширения) подвергается повышению температуры при работе антенны и, как следствие, увеличивается в объеме. По этой причине данная система снабжена объемным компенсатором, способным удерживать объем расширенного масла с учетом размерных ограничений, что обеспечивает возможность ее опускания вниз в скважину и работы в зоне добычи.

В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения объемный компенсатор изначально изолирован от трубы из стекловолокна с помощью диафрагмы, например разрывного диска, который препятствует поступлению диэлектрической текучей среды в компенсатор во время его опускания вниз в скважине. В соответствии с возможным вариантом выполнения разрывной диск раскрывается, когда давление текучей среды в системе превышает заданное пороговое значение. На этом этапе расширенное диэлектрическое масло удерживается внутри объемного компенсатора. Как описано в заявке на международный патент №2016/024197, поданной заявителем, радиочастотная технология может быть удобным образом применена, например, в горизонтальных скважинах длиной до 1000 м. В этих условиях особенно предпочтительным является покрытие антенны трубчатым кожухом, таким как описанный в данном изобретении. Функция такого кожуха заключается, главным образом, в изоляции антенны и преобразова-

телей режимов от окружающей среды, содержащей текучие среды (нефть, метан и воду), которые с течением времени могут проникать внутрь электрических компонентов и приводить к коротким замыканиям. Диэлектрическое масло, содержащееся в трубе, в которой размещена антенна, служит для уравнивания давления между внутренним пространством антенны и внешним пространством, т.е. скважиной, в которой в результате добычи динамика давления может значительно изменяться. Масло вместе с расширительной камерой и любым соответствующим поршнем обеспечивает возможность поддержания равновесия между давлением внутри и снаружи контейнера с предотвращением, таким образом, проникновения добываемых текучих сред внутрь контейнера, даже когда радиочастотная система выключена, с повышением наружного давления и уменьшением внутреннего давления вследствие охлаждения диэлектрического масла.

В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения данного изобретения пространство между антенной и трубчатым кожухом заполнено текучей средой, которая обладает изолирующими свойствами, для предотвращения коротких замыканий между антенной и преобразователями режимов. В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения указанная текучая среда представляет собой диэлектрическое масло, имеющее низкий коэффициент теплового расширения. Как вариант, возможно использование любой диэлектрической текучей среды при условии, что она обеспечивает образование расширительной камеры, которая подходит для разницы температур, создаваемой радиочастотной системой при ее работе.

Во время работы антенны образуется значительное количество тепла, что приводит к расширению диэлектрической текучей среды. Это расширение очевидно вызывает увеличение объема, которое таким образом должно быть скомпенсировано. Другими словами, необходимо обеспечить изменяемый объем (а лучше емкость внутри контейнера), способный разместить увеличенный объем диэлектрической текучей среды.

В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения данного изобретения, который является особенно подходящим для случаев, когда длина антенны не превышает 400 м, на конце трубчатого кожуха имеется неподвижное цилиндрическое пространство.

Как вариант, в частности для антенн длиной более 400 м, предусмотрен телескопический объемный компенсатор, дополнительная емкость которого изменяется при изменении объема нагретой диэлектрической текучей среды так, что давления внутри и снаружи всегда уравновешены.

Для оперативной установки антенны с соответствующей защитой в одном решении согласно предпочтительному варианту выполнения данного изобретения предусмотрено продвижение трубы контейнера вниз по скважине. Затем антенну опускают внутрь контейнера, после чего его весь заполняют диэлектрической текучей средой. На последнем этапе устанавливают "крышку", которая закрывает контейнер и обеспечивает возможность прохождения силового кабеля и, соответственно, его перемещения к поверхности вместе с трубой для добычи для подачи мощности к антенне.

Этот общий способ оптимизируется/изменяется в соответствии со скважиной, длиной антенны и другими рабочими факторами. Фактически, когда длина антенны должна быть значительной, так что антенна не может поддерживать собственный вес, будучи подвешенной в вертикальной части скважины, должны быть предусмотрены системы подвеса, прикрепленные к трубе контейнера, для принятия на себя веса антенны, которая разделена на части.

В каждом из вышеописанных двух вариантов выполнения объемного компенсатора должна быть предусмотрена дополнительная емкость, обеспечиваемая компенсатором и отделяемая от основной емкости кожуха на этапе установке антенны и защитного кожуха. Это обусловлено тем, что при установочной температуре диэлектрическая текучая среда, заливаемая в соответствии с вышеописанным способом, имеет минимальный объем и ее количество должно по существу соответствовать основной емкости трубчатого кожуха (то есть без учета дополнительной емкости компенсатора). Емкость компенсатора задействуется только тогда, когда диэлектрическая текучая среда нагревается в процессе работы антенны.

В соответствии с предпочтительным вариантом выполнения данного изобретения предусмотрена диафрагма, которая отделяет трубчатый кожух от компенсатора. Данная диафрагма может, например, содержать калиброванный металлический диск, который разрушается при заданном давлении. Разрушающее давление зависит от давления разрушения указанного контейнера: свойства диафрагмы вызывают ее разрушение в результате давления, оказываемого вследствие расширения диэлектрической текучей среды при ее нагревании. Таким образом, увеличенный объем диэлектрической текучей среды находит необходимый выход.

Антенна и вся система, которая содержит контейнер и к которой относится данное изобретение, выполнены с размерами, основанными на характеристиках скважины и добываемых текучих сред. Внутренний диаметр контейнера задан на основании диаметра антенны и пространства между антенной и контейнером. Диаметр антенны может варьироваться исходя из электрической мощности, требуемой в соответствии с длиной дренажной трубы в резервуаре, и температурой, которую необходимо достичь для добычи тяжелых нефтепродуктов.

В случае когда антенна имеет длину от 400 до 1000 м, а диаметр горизонтальной добывающей дре-

нажной трубы составляет около 0,15 м, может иметь место расширение объема от 80 до 200 л. При таких условиях может использоваться телескопический цилиндрический объемный компенсатор (см. фиг. 3). Указанный компенсатор должен иметь длину около 7 м в сложенном состоянии и максимальную длину около 28 м в раздвинутом состоянии, при этом наружный диаметр первой трубы составляет 0,11 м, а другие трубы имеют уменьшающийся диаметр, как того требует телескопическое соотношение размеров.

Антенну и соответствующие компоненты устанавливают внутри контейнера с использованием способов, которые могут изменяться в зависимости от длины указанной антенны и характеристик скважины, в которую устанавливается радиочастотная система в целом.

Типичный способ включает опускание контейнера с системой, обеспечивающей возможность расширения диэлектрической текучей среды, установку антенны внутри трубы контейнера, наполнение системы диэлектрической текучей средой и последующую установку крышки, которая обеспечивает возможность выведения электрического силового кабеля.

Устройство в целом продвигают вниз по скважине с использованием следующего способа: расширительную систему с разрывным диском, который предотвращает поступление диэлектрического масла в надлежащим образом установленный компенсатор, опускают вниз по скважине, после чего опускают всю длину стекловолоконного контейнера антенны.

Когда последний элемент контейнера антенны находится в скважине, опускают всю длину антенны с выполнением при необходимости любых соединений между различными компонентами.

После этого "крышку" механически и электрически присоединяют к антенне и затем привинчивают к трубе контейнера.

Систему, трубу контейнера со вставленной антенной, полностью заполняют диэлектрической текучей средой, а затем устанавливают "крышку" с проходом для силового кабеля, присоединенного к антенне, на трубу контейнера.

Система в целом может продвигаться вниз по скважине.

Если антенна должна иметь значительную длину, так что она не может поддерживать собственный вес, будучи подвешенной в вертикальной части скважины, должны быть предусмотрены системы подвеса, которые при их прикреплении к трубе контейнера обеспечивают распределение веса с антенны, которая разделена на части. Компоненты, обеспечивающие возможность установки антенны по частям, должны поддерживать вес антенны, расположенной выше, и иметь отверстия для возможности теплового расширения диэлектрической текучей среде в системе в целом.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для нагрева высоковязких углеводородов в резервуаре, содержащем по меньшей мере одну дренажную трубу, содержащая

антенну, присоединенную к радиочастотному генератору, выполненному с возможностью генерирования электромагнитного сигнала, причем антенна содержит коаксиальную передающую линию, присоединенную к указанному генератору и выполненную с возможностью передачи сигнала вдоль дренажной трубы, по меньшей мере один преобразователь режимов, который расположен вдоль коаксиальной передающей линии внутри дренажной трубы, прерывает указанную линию и выполнен с возможностью внесения нарушения в дифференциальный режим распространения сигнала вдоль коаксиальной передающей линии, когда вдоль нее присутствует радиочастотный сигнал, и возбуждения в окружающем пространстве электромагнитного поля, которое приводит к нагреванию углеводородов в резервуаре,

отличающаяся тем, что она содержит

трубчатый кожух из материала, прозрачного для электромагнитных волн, причем указанный трубчатый кожух содержит указанную антенну, заполнен диэлектрической текучей средой и содержит объемный компенсатор, выполненный с возможностью размещения увеличивающегося объема диэлектрической текучей среды в результате ее расширения при повышении температуры.

2. Система по п.1, в которой диэлектрическая текучая среда содержит диэлектрическое масло с коэффициентом теплового расширения менее 0,001 л/°С.

3. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой трубчатый кожух является жестким.

4. Система по п.3, в которой указанный материал представляет собой стекловолокно.

5. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой объемный компенсатор содержит цилиндрическую камеру, расположенную на конце трубчатого кожуха и отделенную от указанного кожуха закрывающими средствами, выполненными с возможностью открывания при увеличении давления диэлектрической текучей среды.

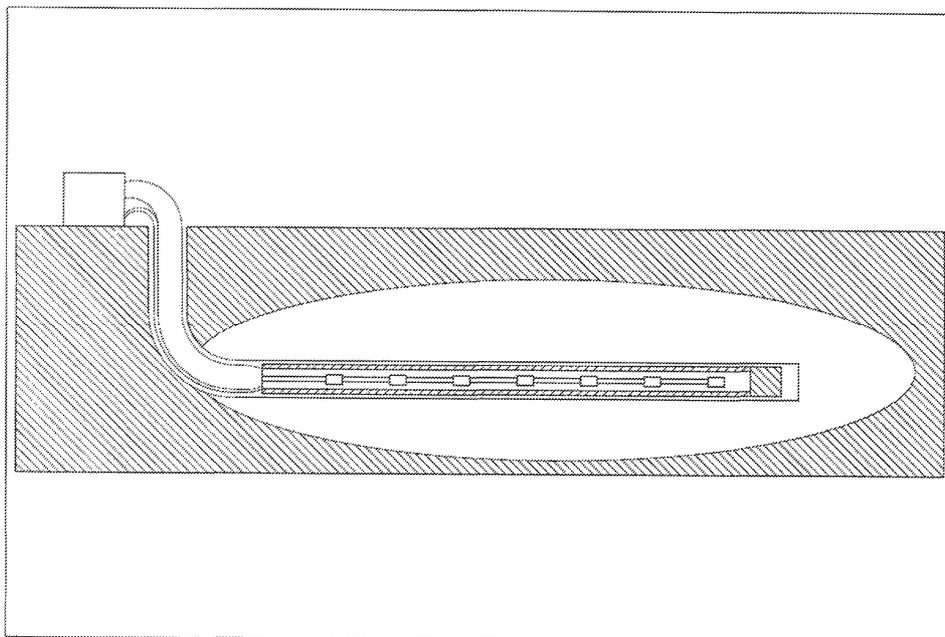
6. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой объемный компенсатор содержит часть с изменяемым объемом, выполненную с возможностью увеличения ее объема в результате увеличения давления диэлектрической текучей среды.

7. Система по п.6, в которой часть с изменяемым объемом содержит телескопическую камеру.

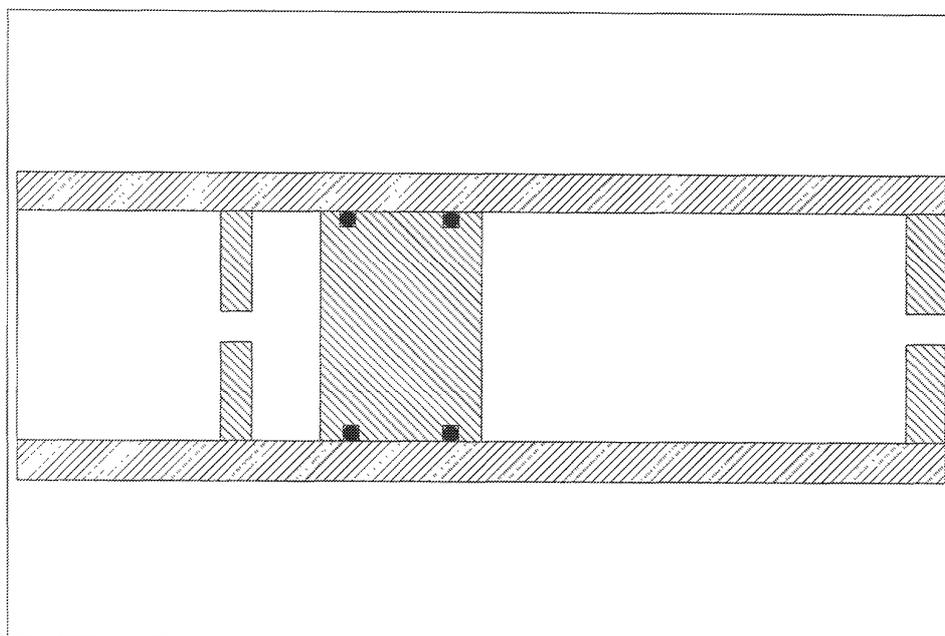
8. Система по п.6 или 7, в которой часть с изменяемым объемом отделена от трубчатого кожуха закрывающими средствами, выполненными с возможностью открывания при увеличении давления диэлек-

трической текучей среды.

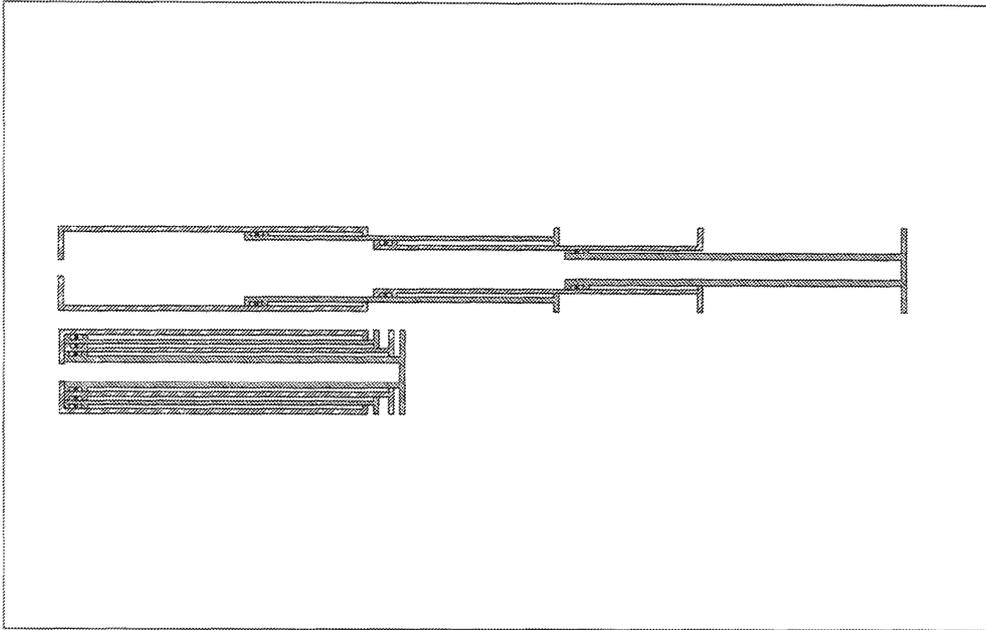
9. Система по п.5 или 8, в которой закрывающие средства содержат диафрагму, имеющую предел прочности, соответствующий заданному пороговому значению давления, и выполненную с возможностью разрыва при достижении диэлектрической текучей средой заданного порогового значения давления.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3