

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **026872**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.05.31

(51) Int. Cl. *F16L 55/103* (2006.01)
G05D 23/19 (2006.01)

(21) Номер заявки
201300018

(22) Дата подачи заявки
2011.06.15

(54) **СПОСОБЫ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ТЕПЛОПРОВОДЯЩЕГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА**

(31) **61/397,759; 61/399,746; 61/517,070**

(32) **2010.06.15; 2010.07.16; 2011.04.12**

(33) **US**

(43) **2013.08.30**

(86) **PCT/US2011/001083**

(87) **WO 2011/159355 2011.12.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
БАЙОФИЛМ ИП, ЛЛЦ (US)

(56) US-A-4267699
GB-A-1584189
DE-A1-3903009
US-A-6141972
US-A-5836167
US-A-3041850
WO-A1-9711326
US-A-4441328

(72) Изобретатель:
**Врэй Дэниел Х., Врэй Роберт Й.,
Кутбёгс Генри (US)**

(74) Представитель:
Стояченко И.Л. (RU)

(57) В изобретении предложены способы, устройства и системы для управляемого перемещения тепловой энергии от жидкости, находящейся в теплопроводящем металлическом трубопроводе. Система позволяет формирование на месте реверсивной пробки, которая может остановить движение жидкости через трубопровод, без образования термически обусловленных трещин напряжения или нарушений в трубопроводе. Устройства и системы включают устройство передачи тепла, которое может быть адаптировано для того, чтобы находиться в тепловой коммуникации с теплопроводящим металлическим трубопроводом, содержащим жидкость. Устройства и системы позволяют управляемое повторное нагревание трубопровода, не вызывая термически обусловленных трещин напряжения или нарушений в трубопроводе.

B1

026872

026872

B1

Связанные заявки

Заявлен приоритет по американской предварительной заявке № 61/517070 на имя Daniel X. Wray, Robert J. Wray и Henry Cutbirth, озаглавленной "Способы, устройства и системы для получения тепловой энергии из теплопроводящего металлического трубопровода", поданной 12 апреля 2011 г., и по американской предварительной заявке № 61/399746 на имя Daniel X. Wray и Robert J. Wray, озаглавленной "Способы, устройства и системы для получения тепловой энергии из теплопроводящего металлического трубопровода", поданной 16 июля 2010 г., и по американской предварительной заявке № 61/397759 на имя Daniel X. Wray, озаглавленной "Способы, устройства и системы для получения тепловой энергии из теплопроводящего металлического трубопровода", поданной 15 июня 2010 г.

Эта заявка также связана с соответствующей заявкой США, серийный номер 13/161411, поданной в тот же день, озаглавленной "Способы, устройства и системы для получения тепловой энергии из теплопроводящего металлического трубопровода", в которой также заявлен приоритет по американским предварительным заявкам с серийными номерами 61/517070; 61/399746 и 61/397759.

Где разрешено, предмет каждой из вышеупомянутых заявок включен посредством ссылки во всей полноте.

Область применения

Это изобретение имеет отношение к охлаждению материалов. Представлены способы, устройства и системы, которые позволяют осуществлять выделение тепловой энергии из теплопроводящего металлического трубопровода, содержащего жидкий агент, таким образом, что температура трубопровода снижается до температуры, ниже которой по крайней мере часть жидкого агента становится твердым телом, таким образом приводя к обратимому закрыванию трубопровода, не вызывая при этом термически вызванных трещин напряжения или нарушений в трубопроводе.

Область техники

Металлические трубопроводы, такие как газовые, для воды и нефтепроводы, могут приходить в негодность по причине старения, усталости, коррозии, злоупотреблений, пренебрежений к правилам эксплуатации при использовании в окружающей среде, когда существуют естественные силы, которые могут сломать или разорвать трубу. Было много попыток в прошлом разработать эффективный способ, чтобы закрыть или включить сломанный трубопровод, такой как труба для газа, воды или масла, чтобы позволить отремонтировать нарушенный трубопровод. Например, в патенте США № 5778919 описаны надувные пробки, которые могут быть размещены в трубопроводе и раздуты, чтобы остановить газ в перекачивающем трубопроводе при ремонте трубопровода. В патенте США № 6568429 описывают надувные пробки, которые могут использоваться, чтобы изолировать определенные сечения трубопровода. Патент США № 4013097 описывает прибор для того, чтобы замкнуть движение жидкости в трубопроводе, при этом прибор содержит надувной баллон. Устройство размещено в пределах трубы, и баллон раздувают, таким образом герметизируя трубопровод.

В некоторых трубопроводах давление содержимого высокое, и надувные баллоны были бы недостаточны, чтобы привести в действие нарушенную трубу. Например, глубокие морские нефтяные скважины имеют высокое давление. Патент США № 7121344 описывает систему для того, чтобы установить запирающее устройство в источнике, расположенном в морском дне. Патент США № RE36244 описывает прибор для того, чтобы прекратить горение или фонтанирование. Прибор включает полое трубчатое запирающее тело, подходящее по размерам для введения в обсадную трубу. Данное тело вставляют в обсадную трубу и фиксируют на месте, приводя модуль держателя в действие. Затем формируют затвор между периферийной поверхностью тела и обсадной трубой. Полый внутренний проход такого трубчатого тела закрыт вентильной сборкой. Размещение такого тела требует сборки рамы, за которую данное тело закрепляется выше обсадной трубы. В патенте США 7036598 описан модуль для введения для действий с источником, расположенным на морском дне. Недостатки этих и других известных систем включают значительное время для приведения их в действие, относительно высокую стоимость и возможные разрывы или повреждения трубы при нецентрированном размещении описываемого тела.

Соответственно существует потребность в способологиях и устройствах, которые учитывают уплотнение или остановку потока жидкости через трубопровод с минимизированной потерей герметичности трубопровода. Предметом изобретения является разработка таких способологий и устройств и системы для уплотнения или остановки потока жидкости через трубопровод.

Предмет изобретения

Заявлена система для охлаждения или замораживания с целью контролируемого отвода тепловой энергии от теплопроводящего металлического трубопровода и жидкости, содержащейся в нем. Система позволяет формирование на месте обратимой пробки, которая может остановить движение жидкости через трубопровод. Система включает устройство для передачи тепла, которое может быть адаптировано для того, чтобы находиться в тепловой связи с теплопроводящим металлическим трубопроводом, содержащим жидкость. Устройство для передачи тепла может действовать как теплопоглотитель для управляемого отвода тепловой энергии от теплопроводящего металлического трубопровода, содержащего жидкость, таким образом, что температура трубопровода понижается до температуры, ниже которой по крайней мере часть жидкости там становится твердым телом, таким образом запирая трубопровод, не вызывая

термически обусловленных трещин напряжения или нарушений в трубопроводе. Для восстановления потока жидкости через трубопровод устройство позволяет повторное управляемое нагревание трубопровода, не приводя к термически вызванным трещинам напряжения или нарушениям в трубопроводе. В некоторых вариантах конструкции устройство для передачи тепла может содержать жидкий хладагент, такой как раствор CO_2 в спирте, или другие жидкие хладагенты, такие как те, которые содержат жидкий азот, жидкий гелий, жидкий аргон, жидкий неон, жидкий ксенон или жидкую двуокись углерода в комбинации с растворителями. Также предлагаются способы остановки потока жидкости через металлический трубопровод, посредством снижения температуры трубопровода до температуры, при которой или ниже которой жидкость замерзает с образованием твердого тела, таким образом блокируя поток жидкости через трубопровод.

Также предлагается система для охлаждения или замерзания система для отвода тепловой энергии из трубопровода, содержащего жидкость. Система включает устройство для передачи тепла, имеющее поверхность теплопередачи, находящуюся в тепловой связи с трубопроводом, и систему управления, адаптированную для регулирования отвод тепла от трубопровода устройством для передачи тепла для достижения заранее заданной температуры в пределах трубопровода. Устройство для передачи тепла может включать устройство Пельтье, магнитное холодильное устройство, содержащий жидкость теплообменник или комбинации этих вариантов. В некоторых вариантах конструкции, в которые устройство для передачи тепла включает содержащий жидкость теплообменник, через который протекает жидкий хладагент, система может обеспечить однонаправленный поток жидкого хладагента к поверхности теплопередачи теплообменника, которая находится в тепловом контакте с трубопроводом для охлаждения трубопровода. Поток жидкости может быть ламинарным или турбулентным или представлять собой их комбинацию. Системы, предложенные здесь, также может включать всасывающий контур, соединенный с модулем подачи жидкого хладагента и адаптированный для того, чтобы обеспечить поток жидкого хладагента к теплообменнику. Система также может включать выпускной контур, включая вентиляционную трубу, приспособленную для удаления газов жидкого хладагента из системы.

Системы, предложенные здесь, могут включать систему управления, адаптированную для того, чтобы приспособить скорости потока жидкого хладагента во всасывающем контуре для обеспечения требуемой температуры теплообменника для желаемой скорости охлаждения трубопровода и требуемой температуры в трубопроводе. Всасывающий контур может включать магистральный смеситель, адаптированный для обеспечения смешения двух или больше жидких хладагентов, чтобы получить изменение температуры жидкого хладагента. В некоторых вариантах конструкции система управления оперативно регулирует скорости потока модулированного жидкого хладагента, чтобы достичь требуемой температуры теплообменника.

В системах, предложенных здесь, в которых устройство передачи тепла представляет собой содержащий жидкость теплообменник, в теплообменнике может использоваться жидкий хладагент. Можно использовать любой жидкий хладагент, известный в технологии. Жидкий хладагент может включать криоген и жидкий растворитель. В некоторых вариантах криоген представляет собой жидкий азот, жидкий кислород, жидкий гелий, жидкий неон, жидкий метан, жидкий природный газ, жидкий аргон, жидкую закись азота, жидкую двуокись углерода или сухой лед или комбинации этих веществ. В некоторых вариантах жидкий растворитель выбран из группы, содержащей тетрахлорметан, м-дихлорбензол, нитрометан, бромбензол, ацетонитрил, хлорбензол, м-ксилол, н-бутиламин, н-октан, хлороформ, трет-бутиламин, трихлорэтилен, бутилацетат, этилацетат, гептан, циклопентан, гексан, метанол, циклогексан, изооктан, искусный альдегид, метилциклогексан, м-пентан, 1,5-гексадиен, изопентан, 3-гептанон, циклогексанон, диэтиловый карбитол, ацетат карбитола, этиловый спирт, ацетон, изопропиловый спирт, этилметилкетон, диэтиловый эфир и комбинации этих веществ. В частности, жидкий хладагент включает жидкий азот или твердую уголекислоту или комбинацию этих веществ с одним или более растворителями, такими как метанол, этиловый спирт, пропанол, ацетон или смеси этих веществ. Температура жидкого хладагента может быть меньше чем -20 , или меньше чем -40 , или меньше чем -50 , или меньше чем -60 , или меньше чем -80 , или меньше чем -100°C . В частности, температура жидкого хладагента находится между -20 и -250°C или между -40 и -60°C . В некоторых вариантах жидкий хладагент - жидкий аргон, у которого температура кипения приблизительно -186°C .

В некоторых вариантах устройство передачи тепла включает поверхность теплопередачи, и поверхность выполнена из теплопроводящего материала, выбранного из меди, латуни, бериллия, кадмия, кобальта, хромоникелевой стали, золота, серебра, иридия, железа, свинца, магния, молибдена, никеля, платины, олова, цинка, углеродистой стали, нержавеющей стали и любой комбинации или сплава этих веществ. Теплопроводящий материал можно изготовить из единственного металлического проводника или ряда металлических проводников. В некоторых вариантах теплопроводящий материал содержит практически чистую медь, медный сплав, практически чистый алюминий, алюминиевый сплав, практически чистое серебро, серебряный сплав, практически чистое золото, золотой сплав и любые смеси или комбинации этих веществ.

Теплообменник также может включать непроводящую часть. Непроводящая часть может быть изготовлена из или включать термически непроводящий материал. Любой термически непроводящий ма-

териал может быть использован. В некоторых вариантах термически непроводящий материал может быть выбран из бутана, криптона, хлороформа, ксенона, 1,1,2-трихлортрифторэтана, 1,2-дихлортetraфторэтана, тетрафторэтана, аргона, двуокиси углерода, диэтилового эфира, изобутана, пентана, перфторциклобутана, пропана, тетрафторметана, CFC-11, HCFC-141b, метанола, этилового спирта, глицерина, эфира, ацетона, этиленгликоля, термически непроводящей силиконовой жидкости, содержащей стекло, такое как стекловолокно или стеклянная дробь, пропиленгликоля, акрилового стекла, битума, цемента, глины, бетона, наполненного керамикой кориана, пробки, изоляции на основе ваты, кизельгура, эпоксидных смол, стекловолокна, стеклопены, стеклянного жемчуга или стеклянной дроби, стекловаты, гипса, магнезита, изоляции на основе оксида магния, минеральной изоляции, нейлона, перлита, изоляция на основе пенопласта, полистирола, полиуретана, фарфора, PTFE, ПВХ, стекла пирекс, песка, аэрогеля кремнезема, стирофома, пенополиуретана, вермикулита, сложного эфира винилового спирта и комбинации этих веществ.

Устройства для передачи тепла, предложенные здесь, содержат частицы, наполнители, тюнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла, включая наполнители, тюнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла, снижающие или устраняющие эффект Лейденфроста. Наполнители, тюнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла внутри теплообменника увеличивают площадь поверхности и могут разбивать поток жидкости на каналы или вызвать турбулентность, что может увеличить эффективность передачи тепла.

Система охлаждения или криотермодинамическая вентиляционная система, представленные здесь, также может включать средство для теплоизоляции, чтобы термически изолировать теплообменник, расположенный ниже трубопровод и по крайней мере часть трубопровода на одном или обеих сторонах от точки крепления теплообменника, от окружающей среды. Средства теплоизоляции охватывают или покрывают теплообменник, расположенный ниже трубопровод и по крайней мере часть трубопровода на одном или обеих сторонах от точки крепления теплообменника. Система также может включать средство теплоизоляции для того, чтобы термически изолировать сливную трубу и/или трубы системы, такие как трубы всасывающего контура и/или выпускного контура, от окружающей среды. В некоторых вариантах конструкции средство теплоизоляции включает изолирующую рубашку. Рубашка может быть присоединена к трубопроводу или вентиляционной трубе, чтобы формировать воздухонепроницаемый затвор, создающий пространство между рубашкой и трубопроводом или между рубашкой и вентиляционной трубой. Любой воздух или вода в пространстве могут быть заменены материалом, имеющим теплопроводность меньше чем вода. Примеры материалов, имеющих теплопроводность меньше чем вода, включают ксенон, дихлордифторметан, бутан, криптон, хлороформ, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый эфир, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан, тетрафторметан, CFC-11, HCFC-141b, метанол, этиловый спирт, глицерин, эфир, ацетон, этиленгликоль, термически непроводящую силиконовую жидкость, содержащую стекло, такое как стекловолокно или стеклянная дробь, пропиленгликоль или комбинацию этих веществ.

Рубашка также может включать на ее поверхности, соседней с внешним окружением, слой или покрытие из теплоизолирующего материала. Теплоизолирующий слой или покрытие могут включать любой материал, который является теплонепроводящим, таким как битум, цемент, глина, бетон, наполненный керамикой кориан, пробку, изоляционную вату, кизельгур, эпоксидные смолы, стекловолокно, стеклопены, стеклянные жемчуга или стеклянную дробь, стекловату, гипс, магнезит, изоляцию на основе оксида магния, минеральную изоляцию, нейлон, перлит, изоляцию на основе пенопласта, полистирол, полиуретан, фарфор, ПТФЭ, ПВХ, стекло пирекс, песок, аэрогель на основе кремнезема, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный эфир винилового спирта, нетеплопроводящие газы, у которых есть более низкая теплопроводность чем воздух, такие как бутан, криптон, хлороформ, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый эфир, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан, и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как CFC-11, HCFC-141b, метанол, этиловый спирт, глицерин, эфир, ацетон, этиленгликоль, теплонепроводящая силиконовая жидкость, содержащая стекло, такое как стекловолокно или стеклянная дробь, и пропиленгликоль, и комбинации этих веществ.

Система охлаждения или криотермодинамическая вентиляционная система, представленные здесь, также могут включать один или более нагревательных элементов. Например, нагревательный элемент может быть расположен в дистальном конце трубопровода или вентиляционной, чтобы минимизировать или предотвратить образование льда. Один или более нагревателей могут быть расположены вдоль выходного контура и вентиляционной трубы, чтобы поднять температуру жидкого хладагента, с которого удаляют газы, по крайней мере, до температуры окружающей среды перед вентилярованием системы. Система охлаждения или криотермодинамическая вентиляционная система также могут включать насос для прокачивания жидкого хладагента через систему. В вариантах, в которых устройство для передачи тепла включает жидкий хладагент, система включает модуль подачи хладагента, который может содержать жидкий хладагент и может содержать источник криогена и источник одного или более растворителей и смеситель для смешения криогена с одним или более растворителями, чтобы получать жидкий хладагент, имеющий требуемую температуру. Подготовка жидкого хладагента с использованием модуля по-

дачи хладагента может управляться компьютером. Компьютерный модуль может быть связан с модулем подачи хладагента, чтобы готовить жидкие хладагенты, имеющие различные температуры, изменяя содержание и тип растворителя, смешанного с криогеном. Система также может включать один или более дозирующих клапанов регулирования расхода, чтобы управлять или модулировать поток жидкого хладагента через систему. Компьютерный модуль с компьютерным процессором может быть связан с один или больше вентилей, чтобы управлять или модулировать операциями одного или больше дозирующих клапанов регулирования расхода системы.

Система охлаждения или криотермодинамическая вентильная система также могут включать приборы контроля тепла. Приборы контроля тепла могут быть присоединены к одной или более точкам трубопровода, чтобы контролировать перепад температур, или тепловые контрольные приборы могут быть присоединены к интерфейсу между устройством передачи тепла и трубопроводом, чтобы контролировать температуру в интерфейсе. Компьютерный модуль системы может управлять или быть в связи с приборами контроля тепла.

Система охлаждения или криотермодинамическая вентильная система также могут включать модуль Пелтье как устройство для теплообмена или его компонент. В таких случаях система также включает систему для подачи электроэнергии к модулю Пелтье, охлаждающую головку, имеющую тепловое соединение с холодной стороной модуля Пелтье, при этом охлаждающая головка есть вогнутая кривая поверхность; элемент рассеяния тепла термически соединен с горячей стороне модуля Пелтье, и резервуар для теплопроводящей жидкости имеет тепловое соединение с элементом рассеяния тепла.

Также предлагается способ управления замораживанием или охлаждением теплопроводящего трубопровода, содержащего жидкость, включая стадии присоединения устройства для передачи тепла к трубопроводу; и активации устройства для передачи тепла, чтобы извлечь тепловую энергию из трубопровода и жидкости, содержащейся в нем, с контролируемой скоростью, и таким образом минимизировать тепловые напряжения в трубопроводе. Устройство передачи тепла может включать термоэлектрический модуль, устройство Пелтье, магнитное устройство передачи тепла, магнитное устройство охлаждения, содержащее жидкость устройство теплообмена или их комбинации.

В способах, где устройство передачи тепла включает содержащее жидкость устройство теплообмена, содержащее жидкий хладагент, устройство теплообмена находится в тепловом контакте с трубопроводом. Способ, кроме того, включает смешивание криогена с растворителем, чтобы получить жидкий хладагент при выбранной температуре. Любой криоген может использоваться. Например, криоген может быть выбран из жидкого азота, жидкого кислорода, жидкого гелия, жидкого неона, жидкого аргона, жидкой закиси азота, жидкой двуокиси углерода или сухого льда или комбинаций этих веществ. В предложенных способах теплота извлекается из трубопровода при желаемой скорости охлаждения, подавая однонаправленный поток подобранного жидкого хладагента требуемой температуры к теплообменнику, и быстро удаляя жидкий хладагент от теплообменника. Поток хладагента может быть ламинарным или турбулентным или комбинацией этих двух режимов, способ также может включать стадию модуляции давления и скорости потока жидкого хладагента перед подачей однонаправленного потока через теплообменник.

Также предлагается способ замораживания с управляемой скоростью трубопровода, содержащего жидкость, при этом способ содержит стадии: (i) приведения теплообменника в тепловой контакт с трубопроводом, содержащим жидкость; (ii) активацию теплообменника так, чтобы тепловая энергия была бы извлечена из трубопровода и жидкости, находящейся в нем, и передачи ее к теплообменнику; и (iii) быстрое рассеивание тепла, поглощенного теплообменником, чтобы предотвратить рециркуляцию тепла от теплообменника назад к трубопроводу.

Также предлагается способ замораживания с управляемой скоростью трубопровода, содержащего жидкость, при этом способ содержит стадии: (i) приведение теплообменника с жидким хладагентом в тепловой контакт с трубопроводом, содержащим жидкость; (ii) получение жидкого хладагента смешением жидкого криогена с растворителем для получения холодного жидкого хладагента для выбранного температурного интервала, соответствующего желаемой скорости охлаждения трубопровода и жидкости в трубопроводе; (iii) подача однонаправленного потока жидкого хладагента с подобранной температурой через теплообменник, чтобы охладить трубопровод и его содержимое; и (iv) быстрый выпуск жидкого хладагента из теплообменника, чтобы предотвратить рециркуляцию жидкого хладагента в замкнутой системе в пределах теплообменника. Поток хладагента может быть ламинарным или турбулентным или комбинацией этих режимов.

Также предлагается полная, с принудительной циркуляцией, система жидкостного охлаждения для охлаждения или замораживания трубопровода, содержащего жидкость. Система включает один или более теплообменников, соединенных тепловым контактом с трубопроводом для того, чтобы получить охлажденный жидкий хладагент и получать нагретый жидкий хладагент переводом теплоты от трубопровода к жидкому хладагенту; модуль подачи жидкого хладагента; канал для подачи жидкого хладагента от модуля подачи жидкого хладагента до теплообменника; канал вентилирования для подачи жидкого хладагента от теплообменника к выходу; и средства для принудительной циркуляции, расположенные между теплообменником и модуль подачи жидкого хладагента с форсированной подачей при повышенных

скоростях охлажденного жидкого хладагента от модуля подачи жидкого хладагента до теплообменника и нагретого жидкого хладагента от теплообменника до канала вентилирования; при этом давление и скорость потока жидкого хладагента модулированы для обеспечения однонаправленного движения через теплообменник. Поток может быть ламинарным или турбулентным или представлять собой комбинацию двух режимов. В некоторых вариантах у одного или более устройств для передачи тепла есть вход для получения жидкого хладагента от модуля подачи хладагента и выход для выпуска нагретого жидкого хладагента из теплообменника для транспортировки его вентиляционному каналу, причем вход расположен ниже выхода для усиления конвективной циркуляции жидкого хладагента.

Также предложена снабженная КривоПлаг, криотермодинамическая вентильная система, для того, чтобы получать замороженную пробку в трубопроводе, замораживая по крайней мере часть жидкости, содержащейся в нем. Криотермодинамическая вентильная система включает тепловое устройство для передачи тепла, содержащее, теплообменник, имеющий тепловую поверхность для передачи тепла, находящуюся в тепловой связи с трубопроводом; устройство инжекции криогена для того, чтобы подавать криоген в жидкость, находящуюся в трубопроводе; и система управления, чтобы приспособить поток хладагента к устройству для передачи тепла и/или поток криогена через инжектор. Система может подавать однонаправленный поток жидкого хладагента к поверхности передачи тепла теплообменника, которая находится в тепловом контакте с трубопроводом, чтобы охладить трубопровод. Поток хладагента может быть ламинарным или турбулентным или представлять собой комбинацию этих двух режимов. Система также может включать всасывающий (входной) контур, соединенный с модулем подачи жидкого хладагента и адаптированный для того, чтобы обеспечивать поток жидкого хладагента к теплообменнику. Система может включать выпускной (выходной) контур, включая вентиляционную трубу, адаптированную, чтобы удалить жидкий хладагент из системы после того, как он поглотил тепловую энергию от трубопровода. Система также может включать контур рециркуляции, который направляет жидкий хладагент от системы после того, как он поглотил тепловую энергию из трубопровода, до системы охлаждения, которая перемещает поглощенную тепловую энергию, и вновь направляет хладагент назад к модулю подачи хладагента.

Входной контур системы может содержать магистральный смеситель, адаптированный для того, чтобы смешать два или больше жидких хладагента, чтобы получить температуру модулированного жидкого хладагента. Хладагент криотермодинамической вентильной системы КривоПлаг может включать криоген и жидкий растворитель. Криоген может быть жидким азотом, жидким кислородом, жидким гелием, жидким неоном, жидким метаном, жидким природным газом, жидким аргоном, жидкой закисью азота, жидкой двуокисью углерода или комбинациями этих веществ. Растворитель может быть отобран из тетрахлорметана, м-дихлорбензола, нитрометана, бромбензола, ацетонитрила, хлорбензола, м-ксилола, амина н-бутила, н-октана, хлороформа, амина т-бутила, трихлорэтилена, бутилового эфира уксусной кислоты, этилацетата, гептана, циклопентана, гексана, метанола, циклогексана, 2,2,4-триметилпентана, уксусного альдегида, метилциклогексана, т-пентана, 1,5-гексадиена, изопентана, 3-гептанона, циклогексанона, диэтилкарбита, ацетата карбита, этилового спирта, ацетона, изопропилового спирта, этилметилкетона, диэтилового эфира и комбинаций этих веществ.

В некоторых вариантах криотермодинамическая вентильная система может включать устройство передачи тепла, которое включает поверхность передачи тепла. Эта поверхность может быть изготовлена от теплопроводящего материала, такого как медь, латунь, бериллий, кадмий, кобальт, хромоникелевая сталь, золото, серебро, иридий, железо, свинец, магний, молибден, никель, платина, олово, цинк, углеродистая сталь, нержавеющая сталь и любая комбинация или сплав этих веществ.

В некоторых вариантах криотермодинамическая вентильная система может включать трубопровод, содержащий канал для подачи криогена к инжектору криогена. Канал для подачи криогена может быть расположен в пределах внутреннего кольца обсадной трубы или в канале в обсадной трубе. В вариантах криотермодинамической вентильной системы, которые включают систему охлаждения, чтобы восстановить использованный хладагент, система охлаждения может включать один или более теплообменников. Система охлаждения может быть системой охлаждения замкнутой системы. Система также может включать ультранизкотемпературную систему охлаждения. Система охлаждения может включать компрессор, конденсатор, сушилку фильтра и/или теплообменник. В некоторых вариантах система охлаждения включает поршневой компрессор, ротационный компрессор, шнековый компрессор, спиральный компрессор или комбинацию любых двух из этих компрессоров.

Криотермодинамическая вентильная система может включать насос для подкачки жидкого хладагента от модуля подачи хладагента до теплообменника. Модуль подачи хладагента может включать источник криогена и источник одного или более растворителей и смеситель, чтобы смешать криоген с одним или более растворителями.

Криотермодинамическая вентильная система также может включать компьютерный модуль. Компьютерный модуль может быть связан с модулем подачи хладагента и может управлять модулем подачи хладагента, чтобы подготовить жидкости для хладагента, имеющие различные температуры при изменении соотношений и типов растворителей, смешанных с криогеном. Криотермодинамическая вентильная система КривоПлаг может включать один или более дозирующих клапанов регулирования расхода, чтобы

управлять или модулировать поток жидкости хладагента через теплообменник или поток криогена к инжектору криогена. Компьютерный модуль системы, который включает компьютерный процессор, может быть связан с одним или более дозирующих клапанов, чтобы управлять или модулировать действиями этих клапанов. Система также может содержать тепловые контрольные приборы, и компьютерный модуль может управлять ими или находится в связи с ними.

Также система снабжена способами для временного предотвращения потока нефти в трубопроводе. Способы включают присоединение устройства для передачи тепла к трубопроводу так, чтобы оно было бы в тепловом контакте по крайней мере с одной частью трубопровода; и монтаж модуля инжектора криогена, который после активации подает криоген в жидкость, находящуюся в трубопроводе, откуда устройство для передачи тепла и инжектор криогена перемещают достаточную тепловую энергию, чтобы заставить нефть в трубопроводе замерзнуть и образовать замороженную пробку из нефти, которая препятствует течению нефти через трубопровод. В этих способах инжектор криогена может быть установлен ближе к источнику жидкости, текущей через перекачивающий трубопровод, относительно устройства для передачи тепла так, чтобы инжекция криогена в жидкость охладила бы жидкость прежде, чем жидкость достигнет области трубопровода, к которой присоединено устройство для передачи тепла. В некоторых вариантах устройство для передачи тепла может быть активизировано в течение достаточного количества времени, чтобы образовать замороженную пробку из жидкости, которая предотвращает поток жидкости через трубопровод. Как только замороженная пробка сформирована, устройство для передачи тепла может остаться активизированным в течение достаточного количества времени, чтобы поддерживать замороженную пробку из жидкости надежно присоединенной к внутренней стене трубопровода, таким образом предотвращая движение жидкости, через трубопровод.

В некоторых способах криотермодинамическая вентильная система КριοПлаг присоединена к неповрежденному трубопроводу и активируется как запасный механизм выключения трубопровода в случае отказа или нарушения трубопровода выше точки крепления криотермодинамической вентильной системы. В таких способах криотермодинамическая вентильная система может быть присоединена к нарушенному или сломанному трубопроводу. В этих способах способы дополнительно содержат идентификацию местонахождения нарушения в трубопроводе; присоединение устройства передачи тепла к неповрежденной области трубопровода ниже нарушения; присоединение ниже устройства передачи тепла инжектора криогена; активацию устройства передачи тепла и инжектора криогена или инжектора, осуществляя таким образом перевод криотермодинамической вентильной системы в активный режим на время достаточное, чтобы образовать замороженную пробку из жидкости, которая предотвращает поток жидкости через трубопровод. Таким образом, криотермодинамическая вентильная система КριοПлаг может быть поддержана в активном режиме до осуществления ремонта трубопровода.

В этих способах закупорка может быть ликвидирована (заменена на противоположное), так что нефтяной поток через трубопровод мог бы возобновиться. Для достижения этого способ дополнительно включает как действие, увеличение температуры устройства передачи тепла или его части, чтобы оно передало тепловую энергию пробке, находящейся в пределах трубопровода, таким образом увеличивая температуру по крайней мере части замороженной пробки и плавя замороженную пробку и восстанавливая тем самым поток жидкости через трубу. В некоторых вариантах конструкции теплообменник содержит один или более каналов для нагрева, которые пересекают частично или полностью теплообменник. Канал(ы) для нагрева включает средство для нагрева канала, которые подают теплоту односторонне или направленно к замороженной пробке, сформированной в пределах трубопровода. Это направленное приложение тепловой энергии к пробке вызывает направленное плавление пробки, например образование канала через пробку, через который может течь жидкость. Это предотвращает сброс замороженной пробки через трубопровод и позволяет осуществлять управляемое восстановление потока через трубопровод.

Также предлагаются способы временной изоляции нефтяной скважины. Способы включают присоединение устройства для передачи тепла к части обсадной трубы в нефтяной скважине так, чтобы оно было бы в тепловом контакте по крайней мере с одной частью обсадной трубы; и установку модуля инжектора криогена к части обсадной трубы, так что при активации модуль инжектора впрыснул бы криоген в нефть в обсадной трубе, где инжекция криогенной смеси в масло снижает температуру нефти прежде, чем она войдет в контакт с областью обсадной трубы, к которой присоединено устройство передачи тепла, и устройство передачи тепла извлекает достаточно тепловой энергии из нефти, чтобы она замерзла и образовалась бы пробка из замороженной нефти, которая обратимо присоединяется к боковым стенам обсадной трубы. В некоторых вариантах устройство передачи тепла включено в обсадную трубу или другую трубу. В некоторых способах криоген может быть жидким азотом, жидким кислородом, жидким гелием, жидким неонем, жидким метаном, жидким природным газом, жидким аргоном, жидкой закисью азота, жидкой двуокисью углерода, сухим льдом или комбинациями этих веществ. Тепловое устройство передачи может включать теплообменник на основе жидкости, который содержит хладагент.

В предложенных способах хладагент может включать криоген и растворитель. В некоторых способах хладагент включает (а) жидкий азот, жидкий кислород, жидкий гелий, жидкий неон, жидкий метан, жидкий природный газ, жидкий аргон, жидкую закись азота, жидкую двуокись углерода или сухой лед

или комбинации этих веществ и (b) растворитель, выбранный из числа тетрахлолрметана, м-дихлолрбензола, нитрометана, бромбензола, ацетонитрила, хлорбензола, м-ксилола, амина н-бутила, п-октана, хлороформа, амина т-бутила, трихлорэтилена, бутилового эфира уксусной кислоты, этилацетата, гептана, циклопентана, гексана, метанола, циклогексана, 2,2,4-триметилпентана, уксусного альдегида, метилциклогексана, т-пентана, 1,5-гексадиена, изопентана, 3-гептанона, циклогексанона, диэтилкарбитола, ацетата карбитола, этилового спирта, ацетона, изопропилового спирта, этилметилкетона, диэтилового эфира и комбинаций этих веществ.

В некоторых вариантах способ включает подачу хладагента или криогена к теплообменнику и удаление использованного хладагента или криогена в окружающую среду. В некоторых способах, хладагент или криоген подается к теплообменнику, и использованный хладагент или криоген рециркулируется, и использованный хладагент или криоген восстанавливается, проходя это через систему охлаждения замкнутой системы. В некоторых способах система охлаждения представляет собой ультранизкотемпературную систему охлаждения. В некоторых способах система охлаждения включает компрессор, конденсатор, сушилку фильтра и/или теплообменник. В некоторых способах компрессор может быть поршневым компрессором, ротационным компрессором, шнековым компрессором, компрессором спирали или комбинацией любых двух из этих компрессоров.

В некоторых способах инжектор криогена или инжектор могут включать дрель, приспособленную для работы с полый буровой головкой. В этих способах активация инжектора криогена включает включение дрели так, чтобы она прошла через обсадную трубу так, чтобы конец полый буровой головки вошел в жидкостную связь с нефтью в обсадной трубе. Как только полый буровая головка войдет в жидкостную связь с нефтью в обсадной трубе, подача криогена может быть осуществлена прямо или непрямо к полый буровой головке, так чтобы впрыснуть криоген в нефть.

Также предлагаются способы осуществления замораживания жидкости, которая содержится в теплопроводящем металлическом трубопроводе, с контролируемой скоростью. Способ включает: (a) монтаж инжектора криогена, который после активации подает (впрыскивает) криоген в жидкость; (b) монтаж теплообменника, в тепловом контакте с трубопроводом, содержащим жидкость в точке, находящейся книзу от инжектора криогена или инжектора; (c) активацию инжектора криогена или инжектора, чтобы впрыснуть криоген в жидкость и таким образом понизить температуру жидкости; (d) активацию теплообменника, чтобы поглотить тепловую энергию хладагентом, с образованием при этом использованного хладагента, таким образом, извлекая тепловую энергию из трубопровода и жидкости, находящейся в нем, и перенос к теплообменнику; и (e) рассеивание теплоты, поглощенной теплообменником. В этих способах тепло, поглощенное теплообменником, может быть рассеяно посредством, удаления использованного хладагента в окружающую среду.

В некоторых способах использованный хладагент может быть восстановлен посредством пропуска его через систему охлаждения, чтобы удалить тепловую энергию, которую использованный хладагент получил от теплообменника, находясь в тепловой связи с трубопроводом.

Также предлагаются способы для того, чтобы получить обратимую пробку в жидкости, которая содержится в теплопроводящем металлическом трубопроводе. Способы включают: (a), установку одного или более инжекторов, которые при активации впрыскивают материал в жидкость, находящуюся в пределах трубопровода, при этом под инжектором понимается инжектор криогена смеси, который при активации впрыскивает криоген; инжектор может включать также вспомогательный инжектор, который впрыскивает композицию, содержащую вспомогательную жидкость или поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ; (b) монтаж теплообменника в тепловом контакте с трубопроводом, содержащим внутри в точке, находящейся ниже по направлению потока от инжектора криогена; (c) активацию теплообменника для поглощения тепловой энергии от трубопровода и жидкости, находящейся в нем, криогеном, с образованием использованного криогена, таким образом, происходит извлечение тепловой энергии из трубопровода и жидкости, и тепловую энергию переносят от жидкости до теплообменника; и (d) активацию одного или более инжекторов, чтобы впрыснуть криоген и вспомогательную жидкость или поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ в жидкость, чтобы создать в ней пробку. Жидкость в трубопроводе может быть любой жидкостью, включая жидкости, такие как углеводород или вода, или газ, такие как природный газ. В данных способах вспомогательный инжектор может впрыснуть поверхностно-активное вещество, которое может привести к формированию более однородной замороженной пробки и поддерживает лучшую адгезию замороженной пробки к трубопроводу. Поверхностно-активное вещество может быть любым средством с поверхностной активностью, такое как анионное, катионное, цвиттеррионное, неионное или кремнийорганическое поверхностно-активное вещество или комбинация этих веществ. Также предлагаются способы, в которых вспомогательный инжектор впрыскивает вспомогательную (шунтирующую) жидкость. Любая шунтирующая жидкость, известная в технологии, может быть использована. Шунтирующие жидкости включают воду, метанол, этиловый спирт, изопропиловый спирт и их смеси. В предлагаемых способах устройство передачи тепла содержит частицы, наполнители, тюрнинги, шавинги, нити, таблетки или бусины из теплопроводящего металла.

В устройствах, системах и способах, приведенных здесь, длина теплообменника может меняться и

может иметь любую длину, спроектированную специалистом. Теплообменник можно выполнить из цельной трубы, или можно соединить несколько теплообменников, чтобы получить теплообменник желаемой длины. Например, теплообменник может иметь длину между 2 и 5000 футов. В устройствах, системах и способах, приведенных здесь, теплообменник может быть ориентирован горизонтально, или может быть ориентирован между 1 и 89° по отношению к горизонтали, или может быть ориентирован вертикально.

Также предлагаются системы, в которых два или больше теплообменников связаны вместе. В некоторых конфигурациях два или больше теплообменников связаны последовательно, и хладагент, или криоген вытекает из одного теплообменника к следующему прежде, чем они будут выведены из системы или отвентилированы. В некоторых конфигурациях два или больше теплообменника связаны последовательно, и каждый теплообменник связан с отдельным модулем подачи хладагента или криогена.

Размер канала, который сформирован между внутренней поверхностью и наружной поверхностью теплообменника, предложенного здесь, может быть любой, который может быть определен квалифицированным специалистом. В некоторых вариантах выполнения у канала может быть ширина, составляющая приблизительно между 0.05 и 500 дюймами. Размер канала между внутренней поверхностью и наружной поверхностью теплообменников, предложенных здесь, также может быть основан на отношении размера наружной поверхности к размеру внутренней поверхности. Например, ширина канала между внутренней поверхностью и наружной поверхностью теплообменника, может составлять приблизительно между 10 и 500% внутреннего диаметра теплообменника.

Теплообменник, предложенный здесь, может включать один или более нагревающих каналов, которые пересекают теплообменник по части длины, или по всей его длине. Нагревающие каналы расположены так, чтобы тепловая энергия, введенная в теплообменник через нагревающий канал, была перенесена к или направлена на пробку из замороженной жидкости в пределах трубопровода, с которым связан теплообменник. Нагревающие каналы могут быть сформированы таким образом, чтобы содержать жидкость, такую как горячая жидкость или газ. Нагревающие каналы также могут быть сформированы таким образом, чтобы содержать один или более нагревательных элементов. Примеры нагревательных элементов включают нагреватель до температуры Кюри, нагреватель с ограничением температуры, источник тепла в трубопроводе, являющийся проводником, ленточный нагреватель, резистивную полосу нагревания, керамический нагреватель с положительным температурным коэффициентом, пленочный керамический нагреватель в виде толстой пленки, провод высокого сопротивления или устройство для нагревания с проводом или лентой высокого сопротивления.

Также предлагаются здесь теплообменники, которые содержат внутренний трубопровод 2 с диаметром D_2 ; внешний трубопровод 2с с диаметром D_{c2} ; днище 3; днище 4; впускное отверстие 12 для того, чтобы вводить криоген или хладагент в устройство для теплообмена; и выходное отверстие 13 для того, чтобы удалить криоген или хладагент из устройства теплообмена, где внутренний трубопровод 2 включает трубу 2f с наружным диаметром 2fD; трубу 2a_{left} в левом дистальном конце ребристой трубы 2f и трубы 2a_{right} в правом дистальном конце трубы 2f; у днища 3 есть отверстие, через которое проходит часть трубопровода 2a_{left}; у днища 4 есть отверстие, через которое проходит часть трубопровода 2a_{right}; днище 3 присоединено слева от внешнего трубопровода 2с и вокруг трубопровода 2a_{left}; днище 4 присоединено справа от внешнего трубопровода 2с и вокруг трубопровода 2a_{right}; внутренний трубопровод 2 и внешний трубопровод 2с формируют полость, имеющую ширину D_{c2} минус D_2 ; полость между внутренним трубопроводом 2 и внешним трубопроводом 2с заполнена частицами, наполнителем, шавингами, таблетками или бусинами из теплопроводящего металла; труба 2f находится в тепловой связи с одним или более из частиц, наполнителей, шавингов, таблеток или бусин из теплопроводящего металла. В некоторых вариантах конструкции труба 2f включает теплопроводящие ребра. Ребра могут быть сконфигурированы в любой геометрии или положении. Ребра ребристой трубы 2f могут быть сформированы радиально или продольно. Ребра можно формировать так, чтобы они имели одинаковую длину или две или больше различные длины.

В некоторых вариантах выполнения ребра могут быть зубчатыми и/или перфорированными для минимизации образования пузырьков или их сбора в одном месте и минимизации образования мертвой зоны. В некоторых вариантах два или больше из ребер ребристой трубы 2f могут быть расположены по ширине или длине полости внутри теплообменника, создавая один или более каналов. Если сформированы множественные каналы, каналы могут быть смежными друг другу или располагаться вокруг радиуса внутреннего трубопровода 2 или по длине внутреннего трубопровода 2. Индивидуальные инжекторы криогена могут быть присоединены к теплообменнику, чтобы впрыскивать криоген в каждый из каналов, сформированных ребрами ребристой трубы 2f. Теплообменники, предложенные здесь, также могут включать один или более дефлекторов, которые модулируют поток криогенной смеси или хладагента в пределах теплообменника.

Теплообменники, предложенные здесь, также могут включать один или более нагревающих каналов, пересекающих часть длины или всю длину теплообменника и находящихся в тепловой связи с внутренним трубопроводом 2, при этом нагревающие каналы выполнены таким образом, чтобы содержать жидкость или один или более нагревательных элементов, таких как нагреватель до температуры Кюри,

нагреватель с ограничением температуры, источник тепла в трубопроводе, являющийся проводником, ленточный нагреватель, резистивную полосу нагревания, керамический нагреватель с положительным температурным коэффициентом, толстый пленочный керамический нагреватель, провод высокого сопротивления или устройство для нагревания с лентой высокого сопротивления.

Теплообменники, предложенные здесь, могут включать входной трубопровод, присоединенный к 2 или более отверстиям в теплообменнике для того, чтобы распределить криоген или хладагент к двум или больше местам инъекции в теплообменнике. Входной трубопровод может быть сконфигурирован таким образом, чтобы распределить криоген или хладагент к двум или больше местам инъекции, радиально расположенным в теплообменнике, или к двум или больше инъекционным местам, продольно расположенным в теплообменнике или в любой комбинации таких способов расположения. Теплообменники, предложенные здесь, также могут включать выпускной трубопровод, который удаляет криоген или хладагент из теплообменника в двух или больше точках (местах) выпуска теплообменника.

Также предложено криотермодинамическое вентильное устройство, которое включает предложенный здесь теплообменник и один или более инжекторов криогенной смеси, установленный вверх по течению по отношению к теплообменнику. Когда присутствуют два или больше инжекторов криогена, они могут быть установлены радиально по отношению к трубопроводу, или они могут быть установлены продольно, или в любой комбинации этих расположений. Криотермодинамические вентильные устройства, предложенные здесь, также могут включать вспомогательный инжектор, установленный вверх по течению по отношению к инжектору криогенной смеси. В криотермодинамических вентильных устройствах, предложенных здесь, теплообменник содержит частицы, наполнители, тюрнинги, шавинги, нити, таблетки или бусины из теплопроводящего металла и содержит один или более нагревающих каналов, которые пересекают часть длины или полную длину теплообменника. Нагревающие каналы могут быть сконфигурированы таким образом, чтобы содержать жидкость или содержать один или более нагревательных элементов. Криотермодинамические вентильные устройства также могут включать другие устройства, которые могут контролировать условия в теплообменнике и/или трубопроводе, такие как тепловые контрольные приборы, контрольные приборы потока и контрольные приборы давления. Криотермодинамические вентильные устройства также могут включать компьютер. Компьютер можно использовать, чтобы автоматизировать криотермодинамическое вентильное устройство, такое как устройство, связанное с устройствами, контролирующими условия в теплообменнике и/или трубопроводе, такие как тепловые контрольные приборы, контрольные приборы потока и контрольные приборы давления, или в коммуникации с адресуемыми лампами, которые могут управляться компьютером.

Также предложены устройства передачи тепла для того, чтобы модулировать тепловую энергию теплопроводящего трубопровода, содержащего жидкость, которые включают поверхность передачи тепла и частицы теплопроводящего материала, в которых, когда устройство передачи тепла присоединено к трубопроводу, поверхность передачи тепла и частицы в пределах устройства передачи тепла находятся в тепловой связи с трубопроводом. Устройство может включать устройство Пелтье, магнитное холодильное устройство, содержащий жидкости теплообменник или комбинации этих устройств.

В некоторых вариантах конструкции устройство включает теплообменник, через который протекает жидкий хладагент, такой как криоген, причем жидкий хладагент течет через поверхность частиц теплопроводящего материала и поверхность передачи тепла теплообменника. Поверхность передачи тепла или частицы или оба могут содержать теплопроводящий материал, выбранный из меди, латуни, бериллия, кадмия, кобальта, хромоникелевой стали, золота, серебра, иридия, железа, свинца, магния, молибдена, никеля, платины, олова, цинка, углеродистой стали, нержавеющей стали, алюминия и любой их комбинации или их сплава. Устройства также могут включать инжекторы криогена для того, чтобы впрыснуть криоген через инжектор в жидкость в трубопроводе, и/или вспомогательное инжекционное устройство для того, чтобы впрыснуть поверхностно-активное вещество или соединяющую (шунтирующую) жидкость или комбинацию этих веществ через инжектор в жидкость, находящуюся в трубопроводе.

Устройство может включать первую стенку, имеющую наружную поверхность, находящуюся в тепловом контакте с трубопроводом и внутренней поверхностью; вторую стенку, направленную к внешнему окружению и внутренней поверхности; и пространство между внутренней поверхностью первой стенки и внутренней поверхностью второй стенки, при этом ширина пространства составляет приблизительно от 0.05 до 500 дюймов; или приблизительно между 10 и 500% внутреннего диаметра теплообменника. Теплообменник также может включать один или более нагревающих каналов, которые пересекают часть длины или полную длину теплообменника, и нагревающие каналы могут быть сконфигурированы так, что они содержат жидкость или включают один или более нагревательных элементов. Нагревательный элемент может быть любым нагревательным элементом, известным в технологии, таким как нагреватель Кюри, нагреватель с ограничением по температуре, источник тепла проводника в трубопроводе, ленточный нагреватель, полоса нагревания, имеющую сопротивление, керамический нагреватель с положительной тепловой скоростью, толстый пленочный керамический нагреватель, нагреватель с проволокой или лентой, обладающими достаточным сопротивлением.

Также предложены криотермодинамические вентильные устройства, которые содержат устройство теплообмена, как описано выше, и инжектор криогена, установленный вверх по течению по отношению

к устройству теплообмена, и опционально вспомогательный инжектор, установленный вверх по течению по отношению к инжектору криогена. Также предложенные системы содержат устройство передачи тепла, описанное выше и термически присоединенное к трубопроводу, при этом устройство передачи тепла получает охлажденный жидкий хладагент и создает нагретый жидкий хладагент переводом теплоты от трубопровода и жидкости в трубопроводе к жидкому хладагенту. Система также может включать модуль подачи жидкого хладагента; канал для подачи жидкого хладагента от модуля подачи жидкого хладагента к теплообменнику; канал для подачи жидкого хладагента от теплообменника до дренажа выхода и средства принудительной циркуляции, расположенные между теплообменником и модулем подачи жидкого хладагента, средства принудительной транспортировки охлажденного жидкого хладагента от модуля подачи жидкого до устройства для передачи тепла и нагретого жидкого хладагента от теплообменника до вентиляционного канала; при этом средства циркуляции обеспечивают давление и объемную скорость потока; и давление, и объемная скорость потока жидкого хладагента могут быть модулированы, для обеспечения однонаправленного течения через теплообменник.

Также предложены криотермодинамические вентиляльные системы для того, чтобы формировать пробки в теплопроводящем трубопроводе, содержащем жидкость, система содержит устройство передачи тепла, как описано выше, находящееся в тепловой связи с трубопроводом; инжектор криогена для того, чтобы впрыснуть криоген через инжектор в жидкость, находящуюся в трубопроводе; модуль подачи криогенной смеси и систему управления, чтобы обеспечить поток криогенной смеси с модуля подачи на устройство передачи тепла или обеспечить поток криогена через инжектор или обеспечить оба потока. Система также может включать один или более компонентов, отобранных из числа: один или более дозирующих клапанов регулирования расхода, чтобы управлять или модулировать поток криогенной смеси через теплообменник или поток криогенной смеси к инжектору криогенной смеси или оба потока; один или более тепловых контрольных приборов; вспомогательный инжектор, который впрыскивает в жидкость в трубопроводе композицию, включающую шунтирующую жидкость или поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ; выпускной контур, включая вентиляционную трубу, адаптированную для того, чтобы удалять криоген из системы после того, как он абсорбировал тепловую энергию из трубопровода; или рециркулирующий контур, который направляет криоген из системы после того, как она абсорбировала тепловую энергию из трубопровода, до системы охлаждения, которая перемещает поглощенную тепловую энергию от криогена и рециркулирует криоген назад к модулю подачи криогена; и компьютерный модуль с компьютерным процессором, находящимися в связи с компонентами системы.

В некоторых вариантах выполнения устройств и предложенных здесь систем, устройство передачи тепла включает поверхность передачи тепла и содержит частицы теплопроводящего материала, и когда устройство передачи тепла присоединено к трубопроводу, поверхность передачи тепла находится в тепловой связи с трубопроводом, и по крайней мере часть частиц находится в тепловой связи с поверхностью передачи тепла. Частицы в пределах устройства также находятся в тепловой связи друг с другом и могут служить в качестве теплопоглотителя.

Также предложены способы для временного предотвращения потока жидкости в трубопроводе, включая присоединение устройства передачи тепла, как описано выше, к трубопроводу так, чтобы оно было бы в тепловом контакте по крайней мере с одной частью трубопровода; монтаж модуля инжектора криогена, который после активации впрыскивает криоген в жидкость в трубопроводе; и активацию устройства теплообмена и инжектора криогена, при этом устройство передачи тепла и инжектор криогена удаляют достаточную тепловую энергию, чтобы заставить жидкость в трубопроводе формировать пробку, которая препятствует тому, чтобы жидкость протекала бы в трубопроводе.

Также предложены способы для того, чтобы временно предотвратить поток жидкости в производственном трубопроводе, включая стадии присоединения устройства передачи тепла к части производственного трубопровода так, чтобы оно было в тепловом контакте по крайней мере с одной частью производственного трубопровода; и установку модуля инжектора криогенной смеси на части производственного трубопровода так, чтобы после активации модуль инжектора впрыснул бы криоген в нефть в обсадной трубе, причем инъекция криогена в жидкость снижает температуру жидкости прежде, чем он войдет в контакт с областью производственного трубопровода, к которому устройство передачи тепла присоединено, и устройство передачи тепла извлекает достаточную тепловую энергию из жидкости, чтобы она была заморожена, и формирует пробку из замороженной жидкости, которая обратимо присоединяется к боковым стенам производственного трубопровода.

Также предложены способы, позволяющие произвести замораживание с управляемой скоростью жидкости, которая содержится в теплопроводящем металлическом трубопроводе, включая следующие стадии:

- (a) монтаж инжектора криогена, который после активации впрыскивает криоген в жидкость;
- (b) монтаж теплообменника, описанного выше, в тепловом контакте с трубопроводом, содержащим жидкость в нем в точке, расположенной ниже по потоку по отношению к инжектору криогена;
- (c) активацию инжектора криогена, чтобы впрыснуть криоген в жидкость;
- (d) активацию теплообменника, чтобы абсорбировать тепловую энергию от трубопровода и жидко-

сти в трубопроводе, и перенос энергии к теплообменнику;

(е) рассеивание теплоты, поглощенной теплообменником.

Также предложены способы для того, чтобы получить реверсивную пробку в жидкости, содержащейся в теплопроводящем металлическом трубопроводе, в способах, включая стадии: (а) монтаж одного или более инжекторов, которые после активации впрыскивают материал в жидкость, находящуюся в трубопроводе, где i) инжектор представляет собой инжектор криогенной смеси, который после активации впрыскивает криоген; и ii) инжектор включает вспомогательный инжектор, который впрыскивает композицию, включающую шунтирующую жидкость или поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ; (b) монтаж теплообменника в тепловом контакте с трубопроводом, содержащим жидкость в трубопроводе, в точке, расположенной ниже по потоку по отношению к инжектору криогена; (с) активацию теплообменника, чтобы абсорбировать тепловую энергию из трубопровода и жидкости, находящейся в нем, криогеном, с образованием использованного криогена, таким образом, извлекая тепловую энергию из трубопровода и жидкости, находящейся в нем, а тепловую энергию переносят от жидкости до теплообменника; и (d), активация одного или более инжекторов, чтобы впрыснуть криоген и шунтирующую жидкость или поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ в жидкость, чтобы сформировать в ней пробку.

Другие объекты, особенности и преимущества систем и способов, описанных здесь, станут очевидными для квалифицированных специалистов из следующего детализированного описания. Нужно подразумевать, однако, что детализированное описание, указывая определенные варианты выполнения устройств, систем и способов, описанных здесь, дано как иллюстрация и не ограничивает объем притязаний. Много изменений и модификаций в рамках данного изобретения могут быть сделаны, не отступая от его сущности.

Детализированное описание **Краткое описание фигур**

Фиг. 1 - схематическая иллюстрация варианта конструкции системы транспортировки тепловой энергии.

Фиг. 2 - схематическая иллюстрация варианта конструкции системы транспортировки тепловой энергии, которая включает содержащий жидкость теплообменник.

Фиг. 3 - вид сверху теплообменника, изображенного на фиг. 2.

Фиг. 4А и 4В показывают детализированный вид сверху части разреза теплообменника, изображенного на фиг. 2, показывающий взаимосвязь двух сегментов теплообменника с использованием соединителя. Фиг. 4В показывает теплообменник, содержащий теплопроводящую дробь.

Фиг. 5А и 5В показывают детализированный вид сверху части разреза теплообменника изображенного на фиг. 2, изображающего прямую взаимосвязь двух сегментов теплообменника. Фиг. 5В изображает теплообменник, содержащий теплопроводящую дробь.

Фиг. 6 содержит схематическую иллюстрацию варианта конструкции содержащего жидкость теплообменника, который изготовлен из концентрических труб.

Фиг. 7 - детализированный вид сбоку части разреза теплообменника, изображенного на фиг. 2, изображающий прямую взаимосвязь двух сегментов теплообменника.

Фиг. 8 - схематическая иллюстрация теплообменника, изображенного на фиг. 2, изображающая взаимосвязь двух сегментов теплообменника с использованием соединителя.

Фиг. 9 - вид сбоку примера вертикального варианта выполнения конструкции модуля инжектора криогена.

Фиг. 10 - вид сбоку примера вертикального варианта выполнения конструкции с профилактической криотермодинамической вентильной системой, которая удаляет хладагента в окружающую среду.

Фиг. 11 - вид сбоку примера вертикального варианта конструкции с профилактической криотермодинамической вентильной системой, которая рециркулирует хладагент.

Фиг. 12А-12F изображают примеры вентильных конфигураций.

Фиг. 13 - вид сбоку примера вертикального варианта конструкции криотермодинамической вентильной системы.

Фиг. 14А и 14В показывают виды сбоку примеров горизонтальных вариантов конструкции криотермодинамической вентильной системы.

Подробное описание

A. Определения.

B. Система транспортировки тепловой энергии (охлаждающая система).

1. Устройство передачи тепла.

a. Содержащий жидкость теплообменник.

b. Термоэлектрический модуль или устройство Пелтье.

c. Магнитное устройство передачи тепла.

2. Средства теплоизоляции.

3. Компьютерный модуль.

4. Модуль инжектора криогена.

C. Профилактическая криотермодинамическая вентильная система.

D. Способы.

E. Примеры.

A. Определения.

Если не определено иначе, у всех технических и научных терминов, использованных здесь, имеется то же самое значение, как обычно понимается квалифицированным специалистом, которому принадлежат изобретения. Все патенты, заявки на патент, опубликованные заявки и публикации, веб-сайты и другие изданные материалы, упомянутые в течение всего раскрытия в данной заявке, если не указано иное, включены ссылкой в их полноте. Когда есть множество определений для какого-либо термина, преимущество имеет то, которое указано в данной главе. Если ссылка сделана на URL или другой подобный идентификатор или адрес, подразумевается, что такие идентификаторы могут измениться, и конкретная информация в Интернете может появиться и исчезнуть, но эквивалентная информация может быть найдена посредством поиска в Интернете. Ссылка доказывает доступность и общественное распространение такой информации.

Используемый здесь термин "частица" относится к малой массе, которая может быть составлена из любого материала, такого как медь, железо, золото, оксид алюминия, стекло, кремнезем, латекс, пластмасса, агароза, полиакриламид, метакрилат или любой полимерный материал, и иметь любой размер и форму. Обычно у частиц есть по крайней мере один размер 5-10 мкм или меньше, такой как меньше чем 50 мкм или меньше чем 10 мкм. Такие частицы, упомянутые здесь все вместе как "дробь" здесь, часто, но не обязательно, сферические. Ссылка на "дробь", однако, не ограничивает геометрию материальной точки, которая может быть любой формой, включая случайные формы, игольчатые кристаллы, волокна, и удлиненные сфероиды. "Дробь" также охватывает микросферы, такие как сферы, которые меньше чем 5 мкм в диаметре.

Используемые здесь интервалы значений и количественные значения могут быть выражены со словом "about - примерно". "Примерно" также включает точное количество. Следовательно "Примерно 5%" означают "Примерно 5%" и также "5%." "Примерно" подразумевает типичную ошибку эксперимента.

Как использовано здесь, термины "опционально" или "опциональный" означают, что впоследствии описанное явление или обстоятельство происходит или не происходит и что описание включает примеры, где указанное явление или обстоятельство происходит и примеры, где оно не происходит. Например, дополнительное изделие в системе означает, что изделие может присутствовать или, возможно, не присутствовать.

Как использовано здесь, термин "по существу, чистый" или "в основном чистый" относится к соединению, содержащему по крайней мере приблизительно 95% активного вещества в расчете на сухой вес, или, по крайней мере, чистого на 95%.

Как используется здесь, термин "теплопроводность," λ , определяется как количество теплоты, которая проходит через среду на единицу толщины и площади поперечного сечения за единицу времени под влиянием примененного температурного градиента. Значения λ обычно находятся в пределах $250-400 \times 10^{-6}$ калорий/см·К, но некоторые жидкости с высокой степенью ассоциации, такие как существующие с образованием водородной связи, имеют более высокую теплопроводность. Устройства для измерения теплопроводности известны в технологии (например, см. патент США № 4283935). Теплопроводность представляет собой количество переданной теплоты на единицу температурного градиента, в единицу времени при установившихся условиях направлении, нормальном к поверхности единичной площади.

Как используется здесь, "проходящий тепловой поток" относится к передаче тепловой энергии от первого объекта, находящегося при одной температуре ко второму объекту, находящемуся при температуре ниже, чем температура первого объекта. Прохождение тепла будет иметь место, если будет температурный градиент в твердом теле (или неподвижной жидкости). Энергия переносится от более энергетически эффективных к менее энергетически эффективным молекулам, когда соседние молекулы сталкиваются. Прохождение теплового потока происходит в направлении уменьшения температуры, так как более высокие температуры связаны с более высокой энергией молекул.

Как используется здесь, "трубопровод" - канал, труба, канал или труба для того, чтобы производить

передачу жидкости.

Как использовано здесь, "жидкость" относится к газам, жидкостям, надкритическим жидкостям и материалам, которые текут, опционально содержащим растворенные вещества, сольватированные вещества и/или твердые примеси. Термин "жидкости" также относится к множеству жидкостей различных типов, находящихся вместе. В этом контексте "жидкость" относится к любой форме жидкого или подающегося перекачке насосом материала, такого как нефть, бурильная жидкость, цемент, бетон или смола для покрытия песка.

Как использовано здесь, термин "тепловая энергия" относится к работе, которая производит теплоту.

Как использовано здесь, термин "механические свойства" относится к механическим качествам или чертам, принадлежащим отдельному материалу, такому как металл или сплав.

Как использовано здесь, термин "устройство Пелтье" относится к известному, полупроводниковому устройству со способностью абсорбировать или излучать теплоту от противоположных теплопроводящих частей, в зависимости от направления электрического тока, проходящего через устройство. Теплопроводящие части обычно созданы из металла, благодаря превосходной теплопроводности металлов, но могут быть использованы и другие материалы. Устройство Пелтье может быть использовано при прохождении электрического тока через полупроводниковое соединение в одном направлении, для поглощения тепла от первой теплопроводящей части и освобождения тепла из второй теплопроводящей части.

Как использующийся здесь, термин "однонаправленный поток" относится к потоку, протекающему вдоль одного направления.

Как использовано здесь, "ламинарный поток" относится к однородному ламинарному потоку, в котором скоростной профиль течения через трубу симметричен относительно оси трубы. Ламинарный поток характеризуется перемещением жидкости слоями. В частности, ламинарный поток отличается от турбулентного потока тем, что в ламинарном потоке отсутствует макроскопическое смешивание смежных жидких слоев.

Как использовано здесь, "турбулентный поток" относится к потоку жидкости, в котором скоростной профиль течения через трубу асимметричен по отношению к оси трубы и может включать локальные скорости и давления, которые колеблются беспорядочно таким образом, что скорость в любой фиксированной точке в жидкости изменяется нерегулярно.

Как использовано здесь, термин "прибор для мониторинга тепла" относится к температурному датчику.

Температурный датчик может включать электрический компонент, у которой есть некоторое измеримое, повторимое свойство, которое может использоваться, чтобы определить температуру материала. Температурный датчик может быть термопарой, диодом, или устройством на основе сопротивления, таким как термистор или RTD.

Как использовано здесь, "тепловая связь" обращается к передаче тепла между телами, которые находятся в контакте или которые связаны в целом средой, которая передает тепловую энергию. Такая связь включает излучение, проводимость, конвекцию или комбинацию этих явлений. Тепловая связь может включать связь на основе среды (например, конвекция или проводимость) или, возможно, не включает связь на основе среды (например, излучение).

Как использовано здесь, термин "тепловой контакт" относится к комбинации сред и веществ, которая обеспечивает хорошую тепловую связь от одной поверхности до другой и не обязательно предполагает отсутствие промежуточного слоя между двумя поверхностями. Условия "тепловой контакт" включают любое соединение между одним компонентом и другим компонентом, которое обеспечивает относительно эффективную передачу теплоты между изделиями. Изделия могут быть в прямом тепловом контакте друг с другом, или они могут находиться в косвенном контакте (таком как через теплопроводящий слой, блок или трубопровод).

Как использовано здесь, термин "передача тепла" относится к передаче тепловой энергии одним предметом другому.

Как использовано здесь, "устройство передачи тепла" является устройством, которое передает тепловую энергию предмету, с которым это устройство находится в тепловой связи.

Как использовано здесь, "жидкая связь" относится к связи, которая включает передачу жидкости. В некоторых вариантах конструкции жидкая связь может включать тепловую связь (например, передача жидкости от одной точки до другой, при этом обе точки находятся не при той же самой температуре), или, возможно, не включает тепловую связь (например, передача жидкости от одной точки до другой, при этом обе точки находятся при той же самой температуре).

Как использующийся здесь, термин "скорость охлаждения" относится к тому, как быстро тепловая энергия удаляется от предмета. Значение для скорости охлаждения может быть получено посредством деления разности между температурой, при которой охлаждение начато и конечной температуры охлаждения на времени для того, чтобы достигнуть конечной температуры охлаждения от начала охлаждения. Вообще, скорость охлаждения относится к уменьшению температуры предмета за определенное время. Скорость охлаждения можно контролировать управлением скоростью, с которой тепловая энергия уда-

ляется от предмета. Детали теплообмена хорошо известны специалистам в данной области.

Как использовано здесь, термин "криоген" или "криогенная смесь" относится к любому веществу, имеющему температуру 0°C или ниже. Образцовые криогенные смеси включают жидкий азот, жидкую закись азота, жидкий метан, жидкий природный газ, или жидкий или сухой лед, хлордифторметан, или фреон (марка изготовителя Дюпона), или любые другие хладагенты или жидкости с высокой емкостью передачи тепловой энергии и низкой точкой кипения, какие обычно известны специалистам в данной технологии. С помощью криогенов легко получить разность температур при применении их по отношению к объекту.

Как использовано здесь, термин "криогенная жидкость" относится к криогену в жидкой фазе. В некоторых случаях криогенные жидкости представляют собой сжиженные газы, у которых нормальная точка кипения ниже -238°F (-150°C). Например, у жидкого аргона точка кипения -302.6°F (-185.9°C), а у жидкого азота точка кипения -321°F (-196°C).

Как использовано здесь, термин "криогенный" относится к охлаждающим агентам, которые используются при температуре 0°C или ниже.

Как использовано здесь, термин "теплопроводящий" относится к свойству материала отдать или передать тепловую энергию или теплоту другому материалу или через себя. Таким образом, теплопроводящий материал легко передает тепловую энергию теплопроводностью, конвекцией или излучением, другому материалу или через себя. В некоторых случаях теплопроводящие материалы имеют теплопроводность по крайней мере 1 В/м·С, и часто больше.

Как использовано здесь, термин "теплонепроводящий" относится к неспособности материала передать или отдать тепловую энергию или теплоту другому материалу или через себя. Таким образом, теплонепроводящий материал не передает легко тепловую энергию другому материалу или через себя. Теплонепроводящий материал - это теплоизолирующий материал. В некоторых случаях у теплонепроводящих материалов теплопроводность меньше чем 1 В/м·С.

Как использовано здесь, термин "керамический" включает все признанные в технологии керамические материалы, их композиты, и композиты керамики и металлов и/или металлических сплавов.

Как использовано здесь, термин "магнитное холодильное устройство" относится к устройству, которое используется в технологии охлаждения, основанной на магнитокалорическом эффекте.

Использованный здесь термин "магнитокалорический эффект" относится к явлению увеличения температуры ферромагнитного материала при применении сильного магнитного поля к ферромагнитному материалу с внешней стороны, в то время как температура ферромагнитного материала уменьшается, когда магнитное поле удаляют. Этот магнитокалорический эффект следует из закона о сохранении энтропии.

При использовании здесь, термин "апертура" относится к отверстию, например дырке, промежутку или разрезу.

При использовании здесь, термин "форсунка" или "сопло" относится к сжатию жидкости в или около выхода или точки завершения, из которой эта жидкость эжектируется в открытое пространство, которое вообще находится при более низком давлении, чем давление в подающем трубопроводе.

При использовании здесь, термин "охлаждение" относится к отводу тепла от предмета или жидкости (газ или жидкость) при температурах ниже комнатной температуры.

При использовании здесь, термин "ультранизкая температура" относится к диапазону температур между -50 и -150°C.

При использовании здесь, термин "хладагент" относится к любой среде теплопередачи, особенно жидкой среде, которая является подходящей для применений при охлаждении. Хладагент может быть криогенной жидкостью, такой как жидкий аргон или жидкий азот.

При использовании здесь, термин "использованный хладагент" относится к хладагенту, который абсорбировал тепловую энергию.

При использовании здесь, термин "сырая нефть" относится к нефти, полученной ниже поверхности земли, которая осталась необработанной или нерафинированной. Сырая нефть вообще содержит смесь, главным образом, пентанов и более тяжелых углеводородов, которые могут быть загрязнены сернистыми соединениями, она извлекается или извлекаема из скважины, связанной с подземным резервуаром, и вообще являются жидкостью в условиях, при которых ее объем измеряется или оценивается. Сырая нефть упоминается как "тяжелая", если ее плотность составляет 900 кг/м³ или больше, и упоминается как "светлая" или "обычная", если ее плотность меньше чем 900 кг/м³.

Как использовано здесь, термин "нефтяная пена" относится к произведенной нефти, отделенной от воды. Нефтяная пена включает нефть, перенесенную с произведенной водой, и накапливается в резервуарах для хранения воды, где она регенерируется, с удалением воды, опционально обрабатывается, и затем продано.

Как использовано здесь, термин "шунтирующая жидкость" относится к жидкому материалу, такому как жидкость, которая может быть преобразована в твердое тело при контакте с криогеном или когда подвергнута действию криогенных температур, таких как температура ниже ее температуры замерзания.

Образцовые шунтирующие жидкости включают воду, водяной пар, метанол, этиловый спирт, изопропиловый спирт или смеси этих веществ.

Как использовано здесь, термин "поверхностно-активное вещество" относится к химикату, особенно органическому химикату, который когда добавляют к жидкости, изменяет свойства жидкости на поверхности. Жидкость может быть любой жидкостью.

Как использовано здесь, термин "поверхностно-активное вещество" относится также к молекулам поверхностно-активного вещества, которые абсорбируются на поверхностях раздела воздух/вода, нефть/вода и/или поверхностях связи нефть/вода, в основном снижая их поверхностную энергию. Термин "детергент" часто используется попеременно с термином "поверхностно-активное вещество". Поверхностно-активные вещества вообще классифицированы в зависимости от заряда их поверхностной активной половины, и могут быть категоризированы как катионные, анионные, неионные и амфотерные поверхностно-активные вещества.

Поверхностно-активные вещества могут быть амфифильными в этом, у них есть как гидрофильные (водофильную, липофильную, олеофильную) и гидрофобную (водоотталкивающую, липофобную, олеофобную) половины. Гидрофобная часть молекулы является неполярной, и может содержать остатки алифатического или ароматического углеводорода или их комбинации. Гидрофильная часть поверхностно-активного вещества может включать полярные группы, которые могут сильно взаимодействовать с водой, гидроксильной группой и ионными группами. Из-за их двойственного характера поверхностно-активные вещества в состоянии формировать уникальные структуры (например, мицеллы, смешанные мицеллы, и пузырьки) в растворе, который имеет тенденцию минимизировать или прекращать контакт между их гидрофобными половинами и водной окружающей средой. В некоторых случаях поверхностно-активное вещество может обеспечить, по существу, гидрофобное ядро, в котором можно растворить смазки, масла, углеводороды или солиubilизовать их.

Ориентация, конформация и плотность адсорбции поверхностно-активного вещества, например, к углеводороду зависит от природы поверхностно-активного вещества (например, является анионной, катионной, неионной, цвиттерионной), химии поверхности, заряда и гидрофобности / гидрофильности (краевой угол) поверхностного адсорбирующего вещества. Заряженное поверхностно-активное вещество (анионный, катионный мономеры) имеет тенденцию адсорбироваться на противоположно заряженные гидрофильные места на поверхности из водного раствора благодаря электростатическому притяжению между заряженными группами и места на поверхности.

Как использовано здесь, термин "силиконовый эмульгатор" или "силиконовое поверхностно-активное вещество" относятся к поверхностно-активному веществу, которое включает по крайней мере один атом кремния. Термин "силиконовый эмульгатор" включает органосилоксановые полимеры, содержащие полимерную основу, которая включает повторяющиеся силоксигруппы, которые могут иметь циклические, линейные или разветвленные повторяющиеся звенья, например диалкилсилоксигруппы, такие как диметилсилоксигруппы. Гидрофильная часть органосилоксана может быть получена замещением на полимерную цепь радикала, который придает гидрофильность части молекулы. Гидрофильный радикал может быть замещен на конце полиорганосилоксана, или на любом или большем количестве повторяющихся звеньев полимера. Вообще, повторяющиеся диалкилсилоксизвенья, такие как диметилсилокси, звенья модифицированных полидиметилсилоксанов, являются липофильными по природе из-за метильных групп, и придают лиофильность молекуле. Кроме того, более длинная цепь алкильных радикалов, гидроксиполипропиленоксирадикалов или других типов липофильных радикалов может быть замещена на силоксиоснову, чтобы обеспечить липофильность и органосовместимость. Если липофильная часть молекулы соответствует всей или части специфического радикала, этот липофильный корень может быть замещен на конце полимера, или на любом или большем количестве повторяющихся звеньев полимера.

Как используется здесь, термин "вверх по течению" относится к положению предмета относительно потока жидкости, который расположен в этом же направлении по отношению к опорной точке. Например, предмет, который расположен вверх по течению по отношению к теплообменнику, находится на стороне теплообменника, в которой жидкость вступает в теплообменник.

Как используется здесь, термин "нисходящий поток" относится к положению предмета относительно потока жидкости, который находится в направлении назад от опорной точки. Например, предмет, который установлен в нисходящий поток теплообменника, находится на стороне теплообменника, где жидкость выходит из теплообменника.

В. Система транспортировки тепловой энергии (система охлаждения).

Раскрытые здесь способы и системы дают возможность быстро удалить тепловую энергию и таким образом охладить и/или заморозить теплопроводящий металлический трубопровод и жидкость, которую он содержит, с использованием устройства теплопередачи, такого как содержащий жидкий хладагента теплообменник, термоэлектрический модуль, устройство Пелтье или магнитное устройство передачи тепла, чтобы обеспечить быстрое охлаждение трубопровода в широких пределах скоростей охлаждения и также поддерживать трубопровод при любой заданной заранее определенной температуре. Образцовый вариант конструкции системы транспортировки тепловой энергии 1 (охлаждающей системы) показан на

фиг. 1. Система охлаждения включает устройство передачи тепла 9, находящееся в тепловой связи с трубопроводом 2, устройство передачи тепла 9 и трубопровод 2 термически изолированы от внешнего окружения устройством термоизоляции, рубашкой 30. Система включает один или более нагревательных элементов 5, расположенных на трубопроводе 2, и один или более тепловых контрольных приборов 15 на или в пределах устройства передачи тепла 9 и на трубопроводе 2. Система передачи тепловой энергии 1 находится в коммуникации с компьютерным модулем 55. Трубопровод может быть в любой ориентации относительно поверхности Земли. Например, трубопровод может быть перпендикулярным поверхности Земли, например иметь общую ориентацию производящей нефтяной скважины. Трубопровод также может быть параллелен поверхности Земли, например иметь общую ориентацию расположенного над Землей трубопровода передачи. Трубопровод также может быть ориентирован под любым углом относительно поверхности Земли, которая, как полагают, рассматривается горизонтальной с абсолютно нулевым значением наклона. Например, трубопровод может быть ориентирован под углом $1-89^\circ$ к горизонтالي, таким как 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 или 85° к горизонтали.

Предложен охладитель или система для замораживания, чтобы экстрагировать тепловую энергию из трубопровода, чтобы заморозить по крайней мере часть жидкости, содержащейся в трубопроводе, где система включает теплообменник, находящийся в близком термическом контакте с трубопроводом, жидким источником хладагента, подающий контур, соединенный с источником жидкого хладагента и адаптированный для того, чтобы обеспечить равномерный поток жидкого хладагента к теплообменнику, выпускной контур для того, чтобы переместить жидкий хладагент от теплообменника, и опционально систему управления. Выходной контур замораживания или охлаждения системы адаптирован так, чтобы удалить жидкий хладагент на некоторое расстояние от трубопровода, и система управления адаптирована, чтобы обеспечить необходимые объемные скорости потока источника криогена в подающем контуре и любого криогена в выходном контуре, чтобы обеспечить температуру холодного криогена (жидкость или газ), подаваемого в камеру охлаждения соответственно желаемой скорости охлаждения теплообменника и измеренных температур в охлаждающей камере. Этим же способом однородный, однонаправленный, и с ламинарным потоком температуры требуемой криогенной жидкости (холодная жидкость или газ) подается в теплообменник, чтобы равномерно извлечь тепловую энергию из трубопровода и/или его содержимого.

В одной из конфигураций раскрытая здесь система для управляемого перемещения тепловой энергии от теплопроводящего металлического трубопровода включает устройство передачи тепла, адаптированное, чтобы обеспечить достаточную тепловую близость к поверхности трубопровода так, что тепловая энергия может быть перенесена между трубопроводом и теплообменником, и снабженное средством для того, чтобы термически изолировать рабочую зону устройства передачи тепла и трубопровод от окружающей среды. Система включает приборы контроля тепла, которые могут быть присоединены к одной или более точкам трубопровода, чтобы контролировать перепад температур и могут быть включены в связь между устройством передачи тепла и трубопроводом, чтобы контролировать температуру в упомянутой связи. Система может включать компьютер, который управляет или находится в коммуникации с устройством передачи тепла и приборами контроля тепла. Система охлаждения разработана для управляемого температурного обмена между трубопроводом и устройством передачи тепла, таким образом, перепад температур и/или скоростью теплового обмена управляют, чтобы минимизировать или исключить тепловую напряженность на трубопроводе. Тепловая напряженность представляет собой произведение полной усадки (расширения) при изменении температуры, и модуля упругости материала, от которого изготовлен трубопровод. Так как температурный градиент, вызванный отрицательными (ниже нуля) температурами жидкого хладагента, увеличивается с увеличивающейся толщиной трубопровода, более массивные трубопроводы показывают большую восприимчивость к отказам по причинам теплонпряженности, чем трубопроводы, созданные из тонкого, но прочного материала. Как описано ниже, система охлаждения может включать, и в образцовых вариантах конструкции действительно включает, другие изделия.

1. Устройство для передачи тепла.

В некоторых вариантах конструкции устройство передачи тепла включает теплообменник, который адаптирован, чтобы удовлетворить условию достаточной тепловой близости к поверхности трубопровода, чтобы тепловая энергия могла бы быть перенесена между трубопроводом и теплообменником. В некоторых вариантах выполнения устройство передачи тепла содержит теплопроводящий хладагент и модуль подачи хладагента, при этом устройство для подачи хладагента и теплообменник находятся в жидкой связи (связи, обеспеченной жидкостью). В некоторых вариантах конструкции тепловое устройство передачи является электрическим. В некоторых вариантах конструкции тепловое устройство передачи является магнитным.

а. Теплообменник, содержащий жидкость.

В некоторых вариантах конструкции система охлаждения включает подачу жидкого хладагента в систему с незамкнутой циклом, в то время как в других вариантах конструкции она включает подачу жидкого хладагента в замкнутую систему. Образцовая система охлаждения, которая включает содержа-

щий жидкость теплообменник, показана на фиг. 2. Системы и устройства, описанные здесь, включают один или более модулей теплообмена, каждый имеет непроводящую тепло поверхность и проводящую тепло часть. При этом проводящая тепло поверхность адаптирована так, чтобы находиться в близкой тепловой связи с трубопроводом. Вид сверху образцового теплообменника 10 показан на фиг. 3. Устройство также содержит жидкий хладагент. В некоторых вариантах конструкции жидкий хладагент представляет собой жидкий раствор, включая растворитель и сжиженный газ или твердый газ, такой как твердая углекислота (твердый CO₂). В некоторых вариантах конструкции жидкий хладагент включает превращенный в жидкость газ, такой как азот, гелий, аргон, неон, ксенон, двуокись углерода или комбинации этих веществ. В некоторых вариантах конструкции устройство также содержит компрессор и/или испаритель. В некоторых вариантах конструкции устройство содержит один или более насосов для распространения и/или транспортировки жидкого хладагента. Устройства включают трубопровод для соединения модуля теплообмена с модулем подачи хладагента, вызванным жидкостью, и/или компрессором и/или насосами, чтобы обеспечить поток жидкого хладагента, и могут включать один или более дозирующих клапанов регулирования расхода, которые управляют потоком жидкого хладагента. В некоторых вариантах конструкции компьютер с компьютерным процессором управляет одним или большим количеством дозирующих клапанов регулирования расхода и/или насосов системы.

В некоторых вариантах тепловое устройство передачи тепла включает теплообменник. Теплообменники хорошо известны в технологии (например, см. патенты США 7441412; 7407600; 7378065; 7272951; 7263852; 7069981; 7028768; 7013668; 6185953; 5787722 и 5582239). В некоторых вариантах конструкции устройство передачи тепла включает теплообменник, содержащий теплопроводящий хладагент и модуль подачи хладагента, где устройство для подачи хладагента и теплообменник находятся в связи, обеспечиваемой жидкостью.

i. Насосы.

Устройство передачи тепла может включать насос для того, чтобы переместить хладагент от устройства для подачи хладагента к теплообменнику. В некоторых вариантах выполнения устройство для передачи тепла конфигурируется так, что оно содержит насос между модулем подачи хладагента и входным отверстием теплообменника. Устройство для передачи тепла также может конфигурироваться так, что содержит насос между выходным отверстием теплообменника и выходом или вентиляционной трубой системы. Система также может конфигурироваться так, что содержит насос, который поддерживает давление хладагента в модуле подачи хладагента, и, таким образом, качает хладагент через систему. Система также может быть сконфигурирована так, что она содержит комбинацию насосов, например, между теплообменником и устройством для подачи хладагента и между теплообменником и сливной трубой.

ii. Теплообменники.

Устройства и системы, которые содержат жидкий хладагент, могут включать теплообменник 10. Теплообменник 10 может включать теплопроводящую поверхность 11, который находится в близком тепловом контакте с наружной поверхностью трубопровода, и теплонепроводящую часть 20, которая покрывает все наружные поверхности теплопроводящей поверхности 11, которые не находятся в термическом контакте с трубопроводом. В непроводящей части 20 может быть создан из или содержаться теплоизолирующий материал, который термически изолирует проводящую часть 11 от окружающей среды. Фиг. 4А, 4В, 5А и 5В показывают вид сверху образца теплообменника 10.

Теплообменник может быть единственным цельновыполненным прибором, который окружает или обволакивает трубопровод (такой как показано на фиг. 3) или может включить 2, 3, 4 или больше соединительных сегментов, таких как дуги, которые когда все собрано и связано, в основном или полностью окружают или обволакивают трубопровод по наружному диаметру (такой как показано в цифрах на фиг. 4А, 4В, 5А и 5В). Когда трубопровод представляет собой трубу с круговой формой, теплообменник может быть единственным расположенным по кругу прибором, включающим два взаимосвязанных полукруглых сегмента или включающим несколько сегментов дуги, которые когда связаны или связаны между собой, окружают трубу.

Пример теплообменника показан на фиг. 3. Как показано на чертеже, теплообменник 10 включает теплопроводящую поверхность 11, которая присоединена или находится в тепловой связи с трубопроводом 2 так, чтобы поверхность 11 была в тепловой связи с трубопроводом (способной к обмену тепловой энергией с трубопроводом). Теплообменник включает входное отверстие 12 для приема жидкого хладагента и выходное отверстие 13 для выпуска жидкого хладагента из теплообменника. Теплопроводящая поверхность 11 может быть сделана из любого теплопроводящего материала, известного квалифицированному в данной области техники специалисту. Примеры таких материалов включают медь, латунь, бериллий, кадмий, кобальт, хромоникелевую сталь, золото, серебро, иридий, железо, свинец, магний, молибден, никель, платину, олово, цинк, углеродистую сталь, нержавеющей сталь и любую комбинацию или сплав этих веществ. В некоторых вариантах выполнения теплопроводящий материал можно сформировать из единственного металлического проводника тепла или множества металлических проводников тепла. В некоторых вариантах конструкции твердые проводники тепла могут включать чистую медь, медные сплавы, в основном чистый алюминий, алюминиевые сплавы, в основном чистое серебро, сереб-

ряные сплавы, в основном чистое золото, и золотые сплавы и смеси этих веществ.

Теплопроводящая поверхность 11 может включать канал С, через который протекает поток жидкого хладагента. Образцовый вариант показан на фиг. 6. Канал С соединяет входное отверстие 12 с отверстием выхода 13. Входное отверстие 12 получает жидкий хладагент из модуля подачи хладагента или из выходного отверстия 13 или другого сегмента теплообменника. Выходное отверстие 13 предназначено для выхода жидкого хладагента из теплообменника или его сегмента. Устройство может содержать два или больше входных отверстия 12 и два или больше выходных отверстий 13.

В некоторых вариантах конструкции выходное отверстие одного сегмента теплообменника может быть сконфигурировано так, что оно прямо связано с входным отверстием 12 другого сегмента теплообменника, например, как показано на фиг. 5А, 5В и 7. В некоторых вариантах конструкции отверстие выхода 13 одного сегмента теплообменника может сконфигурировано так, что оно связано с входным отверстием 12 другого сегмента теплообменника через трубопровод, или, как показано на фиг. 8 через соединитель 14, который может включать трубопровод или коннектор. В некоторых вариантах конструкции каждое входное отверстие 12 и выходное отверстие 13 может содержать быстросоединяющий коннектор для обеспечения возможности быстрой установки или замены сегментов в теплообменнике или одного или более теплообменников. Быстросоединяющие механизмы хорошо известны в технологии (например, см. патент США № 4597699). В некоторых вариантах конструкции входное отверстие 12 и выходное отверстие 13 могут включать вентили, которые препятствуют тому, чтобы элементы окружающей среды вошли в сегменты теплообменника. Например, вентили входного отверстия 12 и выходного отверстия 13 могут быть разработаны, чтобы препятствовать тому, чтобы воздух или вода вошли в сегменты теплообменника, когда теплообменники устанавливаются вокруг трубопровода.

В некоторых вариантах конструкции трубопровод в пределах теплообменника 10 может быть оснащен одним или более теплопроводящим ребром (26 на фиг. 13). Теплопроводящие ребра 26 могут быть установлены в любом положении близко к или в тепловом контакте с трубопроводом 2, чтобы увеличить теплопроводящую область теплообменника, таким образом позволяя тепловой энергии трубопровода и его содержимого более быстро перейти к хладагенту. Тепловые проводящие ребра 26 могут быть установлены аксиально или продольно. В некоторых вариантах конструкции теплопроводящие ребра 26 находятся в тепловой связи с трубопроводом 2 и облегчают передачу энергии от трубопровода 2 к хладагенту в пределах теплообменника 10. В некоторых вариантах выполнения теплопроводящие ребра 26 являются зубчатыми или перфорированными или содержат обе эти особенности, чтобы предотвратить образование захваченных пузырьков или формирование мертвого пространства.

В некоторых вариантах конструкции теплопроводящие ребра 26 могут быть сформированы продольно по отношению к трубопроводу 2. Длина теплопроводящих ребер 26 может быть различна, и могут быть ребра, которые расположены на пространстве в пределах теплообменника 10, таким образом создавая один или более каналов. Один или больше каналов, сформированных таким образом, могут служить отдельным контуром для хладагента или криогенной смеси, чтобы пройти через теплообменник 10. В некоторых вариантах конструкции может быть образовано множество таких каналов, и каналы могут быть расположены по соседству друг с другом или расположены вокруг радиуса внутренней трубы или трубопровода. Множественные каналы, которые сформированы теплопроводящими ребрами 26, сконфигурированы так, что они могут использоваться в качестве отдельных контуров для хладагента или криогена, для прохождения последних через теплообменник 10, и таким образом это дает более расширенные возможности для управления замораживанием и/или нагреванием и/или перезамораживанием в пределах теплообменника 10.

В некоторых вариантах конструкции теплопроводящие ребра 26 могут быть расположены радиально по отношению к трубопроводу 2. Длина теплопроводящих ребер 26 может быть различна, и могут быть ребра, которые расположены на пространстве в пределах теплообменника 10, таким образом создавая один или более каналов. Один или больше образованных таким образом каналов могут служить отдельным контуром для хладагента или криогена для прохождения последних через теплообменник 10. В некоторых вариантах конструкции образовано много таких каналов, и каналы могут быть расположены по соседству друг с другом или расположены вдоль внутренней трубы или трубопровода. Множественные каналы, которые сформированы теплопроводящими ребрами 26 таким образом, могут использоваться в качестве отдельных контуров для хладагента или криогена для прохождения последних через теплообменник 10 и таким образом, создаются большие возможности для управления замораживанием и/или нагреванием и/или перезамораживанием в пределах теплообменника 10.

В некоторых вариантах конструкции единица теплообмена включает наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла. Например, пространство между внутренней стеной теплообменника и трубопроводом может включать или быть заполнено наполнителем, тюрнингами, шавингами, таблетками или дробью из теплопроводящего металла. Теплопроводящие наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла, могут снижать эффект Лейденфроста, особенно в криогенной жидкости, такой как жидкий аргон, азот, гелий, кислород или сжатый газ. Эффект Лейденфроста - явление, наблюдаемое в жидкостях, находящихся в контакте или в очень тесном контакте с массой, значительно более горячей, чем точка кипения жидкости. Когда жидкость на-

ходится в непосредственной близости от массы, значительно более горячей, чем точка кипения жидкости, жидкость вскипает и производит изолирующий слой пара, который не позволяет жидкости кипеть быстро. Наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла, снижают или удаляют эффект Лейденфроста.

В вариантах конструкции теплообменника, которые включают наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла, упомянутые наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла, могут находиться в пределах теплообменника, используя устройства для удержания, известные в технологии. Например, наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла, могут быть сохранены в устройстве с помощью сита, имеющего номер сита, меньший, чем размеры частиц наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или дроби из теплопроводящего металла, так, чтобы наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла не имели бы возможности пройти через сито. Сито может быть сделано из любого материала, имеющего структурную целостность, достаточно прочную, чтобы выдержать деформацию в рабочих температурах и давлениях теплообменника. Например, один или более слоев петель сита из нержавеющей стали могут использоваться, чтобы сохранить наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или дробь из теплопроводящего металла, в пределах теплообменника и препятствовать тому, чтобы они были вынесены из устройства криогеном или хладагентом.

Теплообменник может иметь любой диаметр или длину. Выбор диаметра и длины теплообменника могут быть произведены исходя из габаритов трубопровода, к которому должно быть присоединено устройство, и из которого теплообменник должен извлечь тепловую энергию или скорость течения жидкости через трубопровод или комбинации этих данных. Например, наружный диаметр трубопровода, с которым сталкиваются во многих приложениях, может меняться от 1 до 500 дюймов или больше. Длина единственного стояка или потока, трубчатого в некоторых приложениях, может изменяться приблизительно от 5 приблизительно до 100 футов или больше, и многие стояки или трубы для течения жидкости могут быть взаимно связаны, позволяя получить трубопровод, который может быть по длине много тысяч футов или миль. Типичный теплообменник может иметь длину, которая является любой частью стояка или труб для потока, включая 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 или 99%. В некоторых вариантах конструкции теплообменник имеет длину 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 футов, 21 нижней точки, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 футов или длину между 2 и 5000 футами.

Внутренний размер теплообменника в основном почти тот же, что и размер трубопровода, к которому теплообменник присоединен и находится с ним в тепловой связи. В некоторых вариантах конструкции внутренний размер теплообменника - тот же самый, как у трубопровода, потому что трубопровод формирует внутренний размер теплообменника. В некоторых вариантах конструкции теплообменник включает внутренний трубопровод, который является трубопроводом, который несет, переносит или передает жидкость, когда он связан с другими трубопроводами; и внешний трубопровод большего диаметра или размера, чем внутренний трубопровод, так чтобы образовался промежуток или канал между внутренним трубопроводом и внешним трубопроводом. Размер внешнего трубопровода теплообменника выбирают так, чтобы сформировать канал, который может быть заполнен теплопроводящими материалами в виде волокон, нитей, наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусин или фрагментов из теплопроводящего металла, через которые проходит хладагент или криоген при циркуляции через теплообменник.

Размер частиц и распределение по размерам волокон, нитей, наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток, дроби, микрошариков, бусин или фрагментов теплопроводящих материалов могут быть выбраны таким образом, чтобы модулировать заполненный объем или количество, размер и распределение пустот в канале, через которые могут проходить хладагент или криоген. Упаковка частиц является характеристикой материалов, которая основана на размере, форме и распределении частиц по размерам.

Равномерное распределение частиц по размеру может привести к равномерному или по большей части равномерному распределению свободных областей при сохранении близкого контакта между частицами. Можно подобрать материалы с таким распределением частиц по размерам, которые содержат некоторое количество частиц, имеющих размер, позволяющий им заполнять пустоты, образованные компонентом смеси с наибольшим размером частиц, чтобы уменьшить количество, размер или распределение пустот, сформированных частицами в теплообменнике, тем самым обеспечивая возможность выбора различных характеристик потока через устройство. Доступны математические модели для создания смесей материалов с применением мультимодальной смеси материалов. Частицы могут быть упакованы в теплообменнике с использованием любого известного из уровня техники способа, включая, например, заливку или засыпку частиц в устройство или равномерное распределение частиц, такое как с использованием грузчика частиц, описанное в патенте США № 5324159.

Внутренний размер теплообменника может быть от 1 до 500 дюймов или более. В некоторых вариантах конструкции теплообменник включает теплопроводящую поверхность 11, которая находится в тепловом контакте с трубопроводом, к которому присоединен теплообменник. Внутренний размер теп-

лопроводящей поверхности 11 является таким, что она находится в тепловом контакте с трубопроводом, от которого отводится тепловая энергия. Таким образом, специалист может выбрать подходящий внутренний размер теплопроводящей поверхности 11, основанный на внешнем размере трубопровода, к которому будет присоединен теплообменник. В качестве примера в варианте конструкции, в котором трубопровод является трубой с внешним диаметром около 3 дюймов, диаметр теплопроводящей поверхности выбирается таким образом, чтобы она плотно подгонялась к внешней поверхности трубопровода и была в тепловом контакте с трубопроводом, таким как имеющим внутренний диаметр около 3 дюймов.

Внешний диаметр теплообменника может быть любой величины, так чтобы между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника оставался канал. Например, внешний диаметр теплообменника может быть выбран таким образом, чтобы ширина получившегося канала, сформированного между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляла от около 0,05 до около 500 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,1 и около 100 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,2 и около 50 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,4 и около 40 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,5 и около 30 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,6 и около 25 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,1 и около 10 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,8 и около 8 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 0,5 и около 5 дюймов. В некоторых вариантах конструкции канал, сформированный между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину между около 1 дюйма и около 4 дюймов. В некоторых вариантах конструкции ширина канала в теплообменнике составляет 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0, 2,1, 2,2, 2,3, 2,4, 2,5, 2,6, 2,7, 2,8, 2,9, 3,0, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4, 3,5, 3,6, 3,7, 3,8, 3,9, 4,0, 4,1, 4,2, 4,3, 4,4, 4,5, 4,6, 4,7, 4,8, 4,9, 5,0, 5,1, 5,2, 5,3, 5,4, 5,5, 5,6, 5,7, 5,8, 5,9, 6,0, 6,1, 6,2, 6,3, 6,4, 6,5, 6,6, 6,7, 6,8, 6,9, 7,0, 7,1, 7,2, 7,3, 7,4, 7,5, 7,6, 7,7, 7,8, 7,9, 8,0, 8,1, 8,2, 8,3, 8,4, 8,5, 8,6, 8,7, 8,8, 8,9, 9,0, 9,1, 9,2, 9,3, 9,4, 9,5, 9,6, 9,7, 9,8, 9,9, 10,0, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, 16, 16,6, 17, 17,5, 18, 18,5, 19, 19,5, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39,40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490 или 500 дюймов.

В некоторых вариантах конструкции внешний размер теплообменника выбран таким образом, что ширина канала, сформированного между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляет от около 10 до около 500% от внутреннего диаметра теплообменника. Например, в вариантах конструкции, где трубопроводом является труба, и внутренний диаметр теплообменника, присоединенного к трубе, составляет 5 дюймов, внешний размер теплообменника может быть между около 5,5 и около 25 дюймов, что дает канал шириной от около 0,5 до 20 дюймов.

В некоторых вариантах конструкции внешний размер теплообменника выбран таким образом, что ширина канала, сформированного между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляет от около 10 до около 300% от внутреннего диаметра теплообменника. Например, в вариантах конструкции, где трубопроводом является труба, и внутренний диаметр теплообменника, присоединенного к трубе, составляет 5 дюймов, внешний размер теплообменника может быть между около 5,5 и около 15 дюймов, что дает канал шириной от около 0,5 до 10 дюймов.

В некоторых вариантах конструкции внешний размер теплообменника выбран таким образом, что ширина канала, сформированного между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляет от около 10 до около 150% от внутреннего диаметра теплообменника. Например, в вариантах конструкции, где трубопроводом является труба, и внутренний диаметр теплообменника, присоединенного к трубе, составляет 5, внешний размер теплообменника может быть между около 5,5 и около 12,5 дюймов, что дает канал шириной от около 0,5 до 7,5 дюймов. В качестве дополнительного примера в вариантах конструкции, в которых трубопроводом является труба, и внутренний диаметр теплообменника, присоединенного к трубе, составляет 10 дюймов, внешний размер теплообменника выбирается таким образом, что ширина канала, сформированного между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляет от около 25 до около 100% внутреннего диаметра теплообменника.

В теплообменник может входить один или более приборов для мониторинга температуры 15, которые могут быть прикреплены к точкам вдоль трубопровода (см. фиг. 2) для отслеживания градиентов температуры, возникающих в трубопроводе. В теплообменник также могут входить приборы для мониторинга температуры на входном и выходном отверстиях или по току хладагента через теплообменник в канале 14 для определения температуры хладагента при его течении через теплообменник. В дополнение к охлаждению трубопровода для формирования термоблока, такой как твердая масса льда или нефти, теплообменник может быть использован для контролируемого нагрева трубопровода до необходимых температур после восстановления трубопровода для расплавления пробки и восстановления потока жидкости при сведении термического напряжения трубопровода к минимуму. Нагревание может быть выполнено пропусканием теплопроводящей жидкости с температурой, более высокой, чем у хладагента, через теплообменник. В некоторых вариантах конструкции теплообменник может включать нагревающие элементы 16, которые при использовании и активации могут увеличить температуру трубопровода в месте, где расположена пробка, тем самым расплавляя пробку или освобождая термоблоку от сцепления с трубопроводом, тем самым восстанавливая поток в трубопроводе.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник содержит один или более нагревающих каналов, которые пересекают часть длины или всю длину теплообменника. Нагревающий канал может быть использован для введения жидкости, такой как сжиженный газ, для обеспечения тепловой энергией трубопровода вблизи нагревательного канала для одностороннего или непосредственного подведения тепла к пробке из замороженной жидкости, сформировавшейся внутри трубопровода. Это направленное подведение тепловой энергии к трубопроводу поблизости от замороженной пробки позволяет таким образом совершать направленное плавление пробки, например, для формирования канала в пробке, через который может протекать жидкость. Жидкостью, которая может быть введена через канал для нагрева, может быть жидкость или газ. Поток жидкости через канал для нагрева регулируется таким образом, что тепловая энергия может быть перенесена от жидкости в нагревающем канале к трубопроводу и/или пробке из замерзшей жидкости без замерзания жидкости. В некоторых вариантах конструкции жидкость, вводимая через канал для нагрева, подвергается нагреванию.

В некоторых вариантах конструкции канал (каналы) для нагревания могут включать средства для нагревания канала для одностороннего или направленного подведения тепла к пробке из замерзшей жидкости, сформировавшейся в трубопроводе. Это направленное подведение тепловой энергии к трубопроводу поблизости от замороженной пробки позволяет таким образом совершать направленное плавление пробки, например, для формирования канала в пробке, через который может протекать жидкость. Это предотвращает сброс пробки через трубопровод и позволяет достичь контролируемого восстановления потока в трубопроводе. К способам нагревания нагревающего канала относятся любые известные в уровне техники нагревательные устройства. Например, одно или более отдельных и разнесенных нагревательных устройств, таких как описанные в патенте США № 4849611, могут быть расположены на всем протяжении канала, тем самым позволяя обеспечить направленное подведение тепловой энергии к смежному трубопроводу с замороженной пробкой. Другие устройства для нагревания также могут быть расположены на всем протяжении трубопровода, такие как нагреватель Кюри, описанные в патенте США № 7461691, или нагреватели с ограничением температуры, описанные в опубликованной заявке США № 2005-0092483, или источники тепла типа проводник в трубопроводе, описанные в опубликованной заявке США № 2004-0020642, или ленточные нагреватели, описанные в патенте США № 3793716, или ленточные нагреватели, обладающие достаточным сопротивлением, описанные в патенте США № 4238640. К другим нагревательным элементам, которые могут быть использованы для нагревания нагревающего канала, относятся описанные в патентах США 7066730, 4238640, 3971416 и 3814574. К другим типичным нагревательным устройствам, которые могут быть включены в нагревающий канал, относятся керамические нагреватели с положительным термическим коэффициентом, толстопленочные керамические нагреватели, устройства для нагревания с проволокой с сопротивлением или лентой с сопротивлением, такими как содержащие никелевые сплавы, такие как нихром 80/20 или купроникелевые (CuNi) или железо-хром-алюминиевые (FeCrAl) сплавы, такие как кантал. Устройства для нагревания с проволокой с сопротивлением или лентой с сопротивлением могут быть заключены в керамическую изолирующую рубашку (такую как из TiO₂, MgO, кизельгура или глиноземного порошка, или сочетания вышеперечисленного). Коммерческие варианты таких устройств для нагревания доступны (нагреватели Calrod™) и могут быть сконфигурированы для соответствия размеру и форме нагревающего канала.

Нагревающий канал может быть сконфигурирован таким образом, чтобы он находился в тепловом взаимодействии с трубопроводом, но в тепловой изоляции от теплообменника. Например, часть нагревающего канала, направленная к теплообменнику, может быть отделена от последнего с использованием теплоизоляционного материала. Может быть использован любой теплоизоляционный материал, известный в уровне техники. К примерам теплоизоляционных материалов относятся акриловое стекло, битум, цемент, глина, бетон, наполненный керамикой кориан, пробка, изоляция на основе ваты, кизельгур, эпоксидная смола, стекловолокно, стеклопена, стеклянный жемчуг или стеклянная дробь, стекловата, гипс, магнезит, изоляция на основе оксида магния, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция на основе пенопласта, полистирола, полиуретана, фарфора, PTFE, ПВХ, стекло пирекс, песок, аэрогель

кремнезема, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный эфир винилового спирта и их комбинации, а также твердые теплоизоляторы, такие как нитрид кремния (Si_3N_4), силикат кальция, высокочистую низкоплотную кремниевую керамику, пористый глинозем, боросиликатное стекло, аэрогель кремнезема (пенистое стекло), композиты стекла/керамики, волокнистое тугоплавкое теплозащитное покрытие, аэрогель на основе полиуретана, графит, муллит, силиконовые полимеры со стеклянным наполнением или их комбинации.

Теплообменник может включать теплонепроводящую часть 20, как показано на фиг. 3. Теплопроводящая часть 20 может быть изготовлена или содержать теплонепроводящий материал. В некоторых вариантах конструкции теплонепроводящая часть 20 содержит оболочку, состоящую из теплонепроводящего материала. Может быть использован любой теплонепроводящий материал, известный в уровне техники. К примерам теплонепроводящих материалов относятся газы с теплопроводностью ниже, чем у воздуха, такие как бутан, криптон, хлороформ, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортетрафторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый эфир, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан или жидкости с низкой теплопроводностью, такие как CFC-11, HCFC-141b, метанол, этиловый спирт, глицерин, эфир, ацетон, этиленгликоль, термически не проводящая силиконовая жидкость, содержащая стекло, такое как стекловолно или стеклянная дробь, пропиленгликоль. Другие теплонепроводящие материалы включают акриловое стекло, битум, цемент, глину, бетон, наполненный керамикой кориан, пробку, изоляцию на основе ваты, кизельгур, эпоксидную смолу, стекловолно, стеклопену, стеклянный жемчуг или стеклянную дробь, стекловату, гипс, магнетит, изоляцию на основе оксида магния, минеральную изоляцию, нейлон, перлит, изоляцию на основе пенопласта, полистирол, полиуретан, фарфор, PTFE, ПВХ, стекло пирекс, песок, аэрогель кремнезема, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный эфир винилового спирта и комбинации этих веществ.

Для некоторых применений, таких как подводные применения, включая глубоководное бурение, в качестве теплоизоляционного вещества может быть использован твердый материал или материал, устойчивый к деформации или структурным повреждениям под высоким давлением. В некоторых вариантах конструкции теплонепроводящая часть 20 изготовлена или содержит твердый теплоизоляционный материал. Примеры твердых теплоизоляционных материалов (теплопроводников) включают, например, нитрид кремния (Si_3N_4), силикат кальция, высокочистую низкоплотную кремниевую керамику, пористый глинозем, боросиликатное стекло, аэрогель кремнезема (пенистое стекло), композиты стекла/керамики, волокнистое тугоплавкое теплозащитное покрытие, аэрогель на основе полиуретана, графит, муллит, силиконовые полимеры со стеклянным наполнением или их комбинации. В теплонепроводящей части 20 может быть использован любой твердый теплоизоляционный материал.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник может содержать набор коаксиальных или концентрических труб, как показано на фиг. 6. Внутренняя труба А находится в тепловом контакте с трубопроводом. В некоторых вариантах конструкции труба А предусмотрена в виде двух или более сегментов, соединенных вместе для охватывания трубопровода. Для соединения двух трубопроводов или труб для формирования непрерывного трубопровода может быть использован любой метод, известный в уровне техники. Например, сегменты могут быть соединены свариванием, болтами, шурупами, перемычками, эпоксидной смолой или любой комбинацией вышеперечисленных способов. Труба А может быть из теплопроводящего материала. В некоторых вариантах конструкции труба А выполнена из теплопроводящего металла. Может быть использован любой теплопроводящий металл, известный в уровне техники. К примерам теплопроводящих металлов относятся медь, латунь, кадмий, хромоникелевая сталь, золото, серебро, иридий, железо, свинец, магний, молибден, никель, платина, олово, цинк, углеродистая сталь, нержавеющая сталь и любая их комбинация или сплав. В некоторых вариантах конструкции труба А может быть присоединена непосредственно к трубопровода и противоположно ему таким образом, чтобы труба А была в тесном тепловом контакте с трубопроводом. В некоторых вариантах конструкции труба А обладает большим диаметром, чем трубопровод, что приводит к образованию полости между трубопроводом и трубой А при размещении трубы А или при соединении сегментов трубы А для охватывания трубопровода. Сегменты трубы А могут быть соединены любым методом, известным в уровне техники. Например, сегменты могут быть объединены болтами, шурупами, перемычками, эпоксидной смолой или свариванием или любой комбинацией вышеперечисленных способов. В вариантах конструкции, где труба А окружает трубопровод, и образуется пространство между трубопроводом и трубой А, пространство между трубопроводом и трубой А может быть заполнено теплопроводящим материалом. Может быть использован любой теплопроводящий материал, который может проводить тепловую энергию от одной поверхности к другой. Теплопроводящий материал может быть твердым или жидким. Например, в некоторых вариантах конструкции теплопроводящий материал является твердым. К примерам металлов, которые являются твердыми теплопроводниками, относятся медь, латунь, бериллий, кадмий, кобальт, хром, хромоникелевая сталь, золото, серебро, иридий, железо, свинец, магний, молибден, никель, платина, олово, цинк, углеродистая сталь, нержавеющая сталь или любая комбинация или их сплав. В некоторых вариантах конструкции теплопроводящий материал может быть сформирован из одного металлического проводника или нескольких металлических проводников. В некоторых вариантах конструкции твердые теплопроводники могут включать существенно очищенную медь, медные сплавы, суще-

ственно очищенный алюминий, алюминиевые сплавы, существенно очищенное серебро, серебряные сплавы, существенно очищенное золото, золотые сплавы и их смеси. Теплопроводящая жидкость может быть создана диспергированием твердого теплопроводящего материала в жидкости. Любые вышеперечисленные теплопроводящие материалы могут быть исполнены в виде волокон, нитей, наполнителей, тюрнингов, зубцов, шавингов, таблеток, дроби, микробусин, бусин или фрагментов, диспергированных в жидкости до плотности, достаточной для придания жидкости теплопроводности. Теплопроводящие жидкости известны в уровне техники. К примерам теплопроводящих жидкостей относятся, например, силиконовые масла, полисилоксаны, фторуглероды, силикатные гели, полифениловый эфир, перфторалкиловый полиэфир и комбинации вышеперечисленных веществ. В некоторых вариантах конструкции теплопроводящая жидкость включает силиконовое масло или полисилоксан, содержащие наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла. В некоторых вариантах конструкции теплопроводящая жидкость может включать силиконовое масло или полисилоксан, содержащие наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусины из меди. Содержание наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусин из теплопроводящего металла может снизить эффект Лейденфроста, в частности, в криогенной жидкости, такой как жидкий аргон, азот, гелий, кислород или сжатый газ. Эффект Лейденфроста является явлением, наблюдаемым в жидкостях при контакте или очень близком контакте с материалом, существенно более горячим, чем точка кипения жидкости. Когда жидкость находится в непосредственной близости от материала, существенно более горячего, чем точка кипения жидкости, жидкость закипает и создает изолирующий паровой слой, который предохраняет жидкость от быстрого закипания. Включение наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусин из теплопроводящего металла снижает или устраняет эффект Лейденфроста.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник может содержать или быть заполнен наполнителями, тюрнингами, шавингами, таблетками или бусинами из теплопроводящего металла, и хладагент или криоген протекает в теплообменнике, проходя через волокна, наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла. С наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусин тепло может быть удалено и передано криогенной смеси или хладагенту, и поглощенное тепло может быть выведено из теплообменника.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник содержит теплопроводящие ребра, присоединенные к трубопроводу или жидкостной трубе. В некоторых вариантах конструкции теплопроводящие ребра могут быть зазубрены или перфорированы или зазубрены и перфорированы для минимизации или предотвращения задержки пузырьков или аккумуляирования газа/пузырьков и формирования мертвого пространства, где жидкость не участвует в гидравлическом сообщении с ребрами. Теплопроводящие ребра могут быть расположены в любом месте около или в тепловом контакте с трубопроводом для увеличения теплопроводящей области теплообменника, тем самым позволяя более быстро переносить тепловую энергию трубопровода и его составляющих к устройству для передачи тепла, включая криоген или хладагент и/или охлажденные наполнители, шавинги, тюрнинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла в теплообменнике. В некоторых вариантах конструкции теплопроводящие ребра находятся в тепловом контакте с трубопроводом и способствуют переносу энергии от трубопровода к криогенной смеси или хладагенту и охлажденным наполнителям, шавингам, тюрнингам, таблеткам или бусинам из теплопроводящего металла в теплообменнике. Наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла в теплообменнике увеличивают площадь поверхности и могут разбить поток жидкости или индуцировать турбулентность, которая может увеличить эффективность теплообмена.

Теплопроводящие ребра могут быть сконфигурированы продольно или аксиально или обоими способами по отношению к трубопроводу в теплообменнике. Длина теплопроводящих ребер может быть различна, они могут быть унифицированными или различными, и могут быть ребра, которые тянутся в длину в пространстве в пределах теплообменника, таким образом создавая один или более каналов. Один или более каналов, сформированных таким образом, могут служить отдельными контурами для хладагента или криогенной смеси, проходящих через теплообменник. В некоторых вариантах конструкции может быть образовано множество таких каналов, и каналы могут быть расположены по соседству друг с другом или расположены вокруг радиуса внутренней трубы или трубопровода. Множественные каналы, которые сформированы теплопроводящими ребрами, сконфигурированы так, что они могут использоваться в качестве отдельных контуров для хладагента или криогенной смеси для прохождения последних через теплообменник, и таким образом это дает расширенные возможности для управления замораживанием и/или нагреванием и/или перезамораживанием в пределах теплообменника.

Наполнители, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла в теплообменнике сами по себе или в комбинации с теплопроводящими ребрами, расположенными в любом месте около или в тепловом контакте с трубопроводом, с криогеном или хладагентом, протекающим через или регенерируемым и рециркулирующим в теплообменнике, создают теплоотвод в теплообменнике. Благодаря теплоемкости охлажденных наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусин из теплопроводящего металла в теплообменнике и большой площади поверхности контакта, позволяющих совершать быстрый обмен тепловой энергией (теплопередачу) в теплоотводе от трубопровода и жидкости в

нем, тепловая энергия быстро поглощается и удаляется из трубы для течения жидкости (трубопровода) и содержащейся в ней жидкости со скоростью, достаточной для замораживания жидкости, текущей в трубе для течения жидкости или трубопроводе. Таким образом, нулевой поток жидкости не требуется для формирования обратимой замороженной пробки из жидкости в трубе. Теплообменник является результативным и эффективным и может быстро отвести тепловую энергию от жидкости в трубопроводе таким образом, чтобы сформировалась пробка, останавливающая поток жидкости.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник может быть создан на месте. Например, для трубопровода, являющегося трубой, могут быть выбраны две трубы большего диаметра, чем у трубопровода, для формирования теплообменника. Вновь обращаясь к фиг. 6, вокруг трубы А установлена труба В. Труба В может быть цельной трубой, которая размещена поверх трубы А или может быть выполнена в виде сегментов, которые объединены и соединены болтами, шурупами, свариванием или любой комбинацией вышеперечисленных способов. Труба В обладает большим диаметром, чем труба А, таким образом, между трубой А и трубой В формируется канал С. Через канал С протекает жидкий хладагент или криоген. Протекая по каналу С, жидкий хладагент обменивается тепловой энергией с трубой А, которая находится в тепловом контакте с трубопроводом непосредственным образом или посредством теплового проводника, как описано выше. В некоторых вариантах конструкции между трубой А и трубой В установлена перегородка 7, которая проходит от одного конца трубы А до другого. В вариантах конструкции, содержащих перегородку 7, жидкий хладагент из входного отверстия 12 направленно протекает полностью вокруг трубы в канале С до выхода из трубопровода С через выходное отверстие 13. В теплообменнике может быть установлено несколько перегородок 7. Перегородки могут быть сконфигурированы аксиально или радиально или продольно в теплообменнике для модулирования и/или направления потока хладагента или криогенной смеси вдоль теплообменника.

Вокруг трубы В установлена труба D. Труба В может быть цельной трубой, которая размещена поверх трубы А или может быть выполнена в виде сегментов, которые объединены и соединены болтами, шурупами, свариванием или любой комбинацией вышеперечисленных способов. Труба D обладает большим диаметром, чем труба В, таким образом, между трубой В и трубой D формируется канал G. Через канал С протекает жидкий хладагент или криоген. Верхние пластинки 3a и 3b и нижние пластинки 4a и 4b присоединены к каждой из труб А, В и D для перекрытия пространств между трубами. Промежуток G заполняется теплопроводящим материалом. Для заполнения промежутка G может быть использован любой материал, который не проводит тепловую энергию или является плохим проводником тепловой энергии. Теплопроводящий материал в промежутке G может минимизировать или предотвратить тепловой обмен между трубой В и трубой D. Дополнительно, внешняя сторона трубы D, обращенная во внешнюю среду, такую как окружающий воздух или вода, также может быть покрыта теплопроводящим материалом. Теплопроводящие материалы известны в уровне техники. К примерам теплопроводящих материалов относятся газы с теплопроводностью ниже, чем у воздуха, такие как бутан, криптон, хлороформ, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый эфир, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан или жидкости с низкой теплопроводностью, такие как CFC-11, HCFC-141b, метанол, этиловый спирт, глицерин, эфир, ацетон, этиленгликоль, термически непроводящая силиконовая жидкость, содержащая стекло, такое как стекловолокно или стеклянная дробь, пропиленгликоль. Другие теплопроводящие материалы включают акриловое стекло, битум, цемент, глину, бетон, наполненный керамикой кориан, пробку, изоляцию на основе ваты, кизельгур, эпоксидную смолу, стекловолокно, стеклопену, стеклянный жемчуг или стеклянную дробь, стекловату, гипс, магнезит, изоляцию на основе оксида магния, минеральную изоляцию, нейлон, перлит, изоляцию на основе пенопласта, полистирол, полиуретан, фарфор, PTFE, ПВХ, стекло пирекс, песок, аэрогель кремнезема, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный эфир винилового спирта и комбинации этих веществ.

В трубы D и В и между трубой В и трубой D помещены две трубы, каждая из которых заполняет промежуток G и проходит в трубе В таким образом, что конец каждой трубы находится у обоих концов канала С. Одна из труб служит входным отверстием 11 для доставки жидкого хладагента к переносящему тепло устройству, и другая труба служит выходным отверстием 12 для отвода жидкого хладагента или криогенной смеси, прошедшей через переносящее тепло устройство. На входном и/или выходном отверстиях труб и/или в промежутке G могут быть размещены расходомерные устройства для измерения потока хладагента в промежутке G и, таким образом, через теплообменник. Одно или более приборов для мониторинга температуры 15 может быть установлено в канале, трубе А и/или трубе В для обнаружения и измерения градиентов температуры.

В некоторых вариантах конструкции на дистальном конце трубы D может быть установлен подвижный фланец F. В некоторых вариантах конструкции фланец F может быть подогнан для прочного соединения с трубой D при сцеплении с трубой D. В некоторых вариантах конструкции фланец F изготовляется закрепленным на трубе D для перекрытия трубы D. В некоторых вариантах конструкции фланец расположен на шарнире, соединенном с дистальным концом трубы D. После установки и активирования теплообменника вокруг канала и создания пробки внутри канала фланец на дальнем конце трубы D может быть установлен в положение, в котором он блокирует трубу D и перекрывает канал. Теплооб-

менник, описанный на фиг. 6, или его варианты могут быть использованы для перекрытия поврежденного трубопровода для его восстановления и могут быть оставлены на месте после проведения восстановительных работ на трубопроводе.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник может использовать первый трубопровод или трубу для течения жидкости в качестве внутренней стенки теплообменника. Второй трубопровод большего размера, т.е. трубопровод с размером большим, чем у другого трубопровода, так что между трубопроводом, формирующим внутреннюю стенку теплообменника, и вторым трубопроводом формируется пространство, окружает трубопровод. Дистальные концы второго большего трубопровода запаяны на первом трубопроводе или трубе для течения жидкости, формируя замкнутое пространство. Например, могут быть изготовлены диски из подходящего материала, такого как использованный для изготовления первого и второго трубопроводов, в которых имеется круговое отверстие размером, достаточным для подгонки под первый трубопровод или трубу для течения жидкости. Первый диск навинчивается на первый трубопровод, и круговое отверстие во внутренней части диска присоединяется к первому трубопроводу или трубе для течения жидкости, например, свариванием или любым подходящим методом прикрепления. Внешний край первого диска затем прикрепляется ко второй трубе, например, свариванием или любым другим подходящим методом. Процесс повторяется на дистальном конце второго трубопровода для создания перекрытого пространства, ограниченного на одном конце первым диском и на другом конце - вторым диском, и формируется пространство между первым трубопроводом или трубой для течения жидкости и вторым трубопроводом.

В некоторых вариантах конструкции теплообменник содержит или наполняется наполнителями, тюрнингами, шавингами, таблетками или бусинками из теплопроводного металла, и хладагент или криоген проходит по теплообменнику, просачиваясь через наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла. Тепло снимается с наполнителя, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусинок и переходит на криоген или хладагент, а абсорбированное тепло может выводиться из теплообменника.

В некоторых модификациях в теплообменнике предусмотрены теплопроводные ребра, прикрепляемые к трубопроводу или к системе труб для жидкости. Теплопроводные ребра могут располагаться в любом месте: вблизи или в тепловом контакте с трубопроводом в целях увеличения теплопроводной площади теплообменника, обеспечивая тем самым более быструю передачу тепловой энергии трубопровода и его содержимого на теплообменник, включая криоген или хладагент и/или охлажденные наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике. В некоторых модификациях теплопроводные ребра находятся в тепловом контакте с трубопроводом, облегчая тем самым отдачу энергии с трубопровода на криоген или хладагент и на охлажденные наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике. Наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике увеличивают площадь поверхности и могут направлять поток жидкости или вызывать турбулентность, которая может повысить эффективность передачи тепла.

Наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике, по отдельности или в сочетании с теплопроводными ребрами, расположенными в любом месте вблизи или находящимися в тепловом контакте с трубопроводом, с криогеном или хладагентом, который проходит через или регенерируется и рециркулируется через теплообменник, обеспечивают теплоотвод в теплообменнике. Вследствие теплоемкости охлажденных опилок, металлических наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусинок из теплопроводного металла в теплообменнике и большой площади поверхности контакта, что обеспечивает быстрый обмен тепловой энергией в рамках теплоотвода от трубопровода и находящейся там жидкости, тепловая энергия быстро абсорбируется и удаляется из системы труб (трубопровода) и с находящейся там жидкости со скоростью, достаточной для замораживания жидкости в системе труб или трубопроводе.

iii. Модуль снабжения хладагентом.

В модификациях, которые включают в себя жидкостный теплообменник, как показано на фиг. 2, система может содержать модуль снабжения хладагентом 50 для снабжения теплообменника 10 хладагентом. Модуль снабжения хладагентом 50 может иметь нетеплопроводную поверхность, контактирующую с окружающей средой и предназначенную для теплоизоляции модуля снабжения хладагентом 50 от окружающей среды. Теплоизоляционное средство препятствует поглощению тепла хладагентом из окружающей среды. В таких областях применения, когда модуль снабжения хладагентом 50 применяется под водой, теплоизоляционные средства препятствуют образованию кристаллов льда на модуле снабжения хладагентом 50. Модуль снабжения хладагентом 50 может быть выполнен из материалов в соответствии с той окружающей средой, где он должен применяться. Например, в модификациях, когда система должна использоваться под водой, в частности, при глубоководном бурении, модуль снабжения хладагентом 50 может быть выполнен из материала, достаточно прочного, чтобы выдерживать давления на глубине, включая давления, создаваемые толщей воды на глубине до 7000 футов. Специалисты в области современного подводного конструирования хорошо осведомлены о решениях, необходимых для конструирования модуля, способного содержать хладагент и выдерживать давления окружающей воды на глу-

бине. Например, модуль 50 может быть выполнен из армированной стали или композитных материалов или усилен таким образом, чтобы выдерживать давления окружающей воды.

Модуль снабжения хладагентом 50 обеспечивает жидким хладагентом или криогеном теплообменник 10 либо непосредственно по трубам или системе труб, либо модуль 50 может быть соединен с насосом 40, который, в свою очередь, подсоединяется к теплообменнику 10. Модуль снабжения хладагентом 50 может содержать устройства контроля температуры 15, предназначенные для контроля температуры хладагента или криогена. Модуль снабжения хладагентом 50 может содержать также расходомер, предназначенный для определения скорости тока хладагента от модуля. Этот модуль может содержать также измеритель уровня хладагента для контроля количества хладагента или криогена в модуле.

В некоторых модификациях модуль снабжения хладагентом 50 содержит несколько отдельных отсеков с различными криогенными веществами и растворителями, а также смеситель, такой как встроенный смеситель, предназначенный для смешивания одного или нескольких криогенов с одним или несколькими растворителями для получения температурно-модулированного жидкого хладагента нужной температуры. Например, в некоторых модификациях модуль снабжения хладагентом 50 содержит герметичную емкость для жидкого азота, герметичную емкость для жидкой и твердой углекислоты; одну или более емкостей для одного или нескольких растворителей, таких как метанол, этанол или ацетон или любого из растворителей, описываемого в настоящем документе. Емкости монтируются в систему труб, соединяясь в целях обеспечения жидкостной связи между емкостями с конечной емкостью или резервуаром для удержания жидкого хладагента, приготавливаемого путем смешивания выбранного криогена (криогенов) и растворителя. В некоторых модификациях модуль снабжения хладагентом 50 может также содержать один или несколько резервуаров для различных готовых жидких хладагентов с различными необходимыми температурами, а также линию, обеспечивающую жидкостную связь между резервуарами и смесителем, таким как встроенный смеситель, предназначенный для смешивания двух и более жидких хладагентов для получения температурно-модулированного жидкого хладагента. Смесители, включая встроенные смесители, сегодня хорошо известны (например, см. патенты США №№ 5738772; 5076930; 4729664 и 4533123).

iv. Хладагент.

Модуль снабжения хладагентом 50 содержит хладагент и снабжает им теплообменник 10 системы 1. Хладагенты, предназначенные для использования в теплообменниках, сегодня хорошо известны. Хладагент может содержать любую жидкость, способную переносить тепловую энергию в условиях применения. Приводимые здесь в качестве примера жидкие хладагенты могут содержать углекислоту в жидком или твердом состоянии, жидкий аммиак, сжиженные фторхлорпроизводные насыщенных углеводородов; сжиженные газы, такие как жидкий азот, жидкий кислород, жидкий неон, жидкий аргон, жидкую закись азота, гидрофторэтан, пентафторпропан, трихлормонофторметан, дифтордихлорметан или их смеси. В областях применения с большим давлением, таких как глубоководное бурение, хладагент может иметь температуру, достаточную для передачи тепла в теплообменнике. В некоторых модификациях температура жидкого хладагента ниже -20°C . В некоторых модификациях температура жидкого хладагента ниже -40°C . В некоторых модификациях температура жидкого хладагента ниже -80°C . В некоторых модификациях температура жидкого хладагента ниже -100°C . Обычно криогенная жидкость или криогенные вещества с температурой ниже -150°C не используются в отдельности как жидкий хладагент вследствие термического стресса, который может быть вызван быстрым охлаждением трубопровода криогенной жидкостью при температуре ниже -150°C . В представленных здесь теплообменниках теплообменник может быть выполнен из материала, устойчивого к любому тепловому стрессу, который может быть вызван быстрым охлаждением трубопровода криогенной жидкостью при температуре ниже -150°C . В некоторых модификациях криогенная жидкость является жидким аргоном или жидким азотом, или их смеси. Смеси растворителей с криогенными веществами, такими как жидкий азот или жидкий гелий, или жидкий аргон или жидкий неон, или с другими сжиженными или отвержденными газами, такими как двуокись углерода, могут обеспечить жидкие хладагенты с температурой от -20 до -160°C . Примерами таких жидких хладагентов могут служить смеси жидкого азота с растворителем, таким как четыреххлористый углерод (около -20°C), м-дихлорбензол (около -25°C), нитрометан (около -30°C), бромбензол (около -30°C), ацетонитрил (около -40°C), хлорбензол (около -45°C), м-силлол (около -50°C), н-бутиламин (около -50°C), н-октан (около -55°C), хлороформ (около -63°C), трет-бутиламин (около -70°C), трихлорэтилен (около -75°C), бутилацетат (около -77°C), этилацетат (около -84°C), гептан (около -90°C), циклопентан (около -93°C), гексан (около -95°C), метанол (около -100°C), циклогексан (около -105°C), изооктан (около -105°C), ацетальдегид (около -125°C), метилциклогексан (около -125°C), н-пентан (около -130°C), 1,5-гексадиен (около -140°C) и изопентан (около -160°C), другие примеры жидкого хладагента представляют собой смеси сухого льда с растворителем, такие как смеси сухого льда с четыреххлористым углеродом (около -25°C), 3-гептаном (около -40°C), ацетонитрилом (около -40°C), циклогексаном (около -45°C), диэтил карбитолом (около -50°C), хлороформом (около -60°C), карбитол ацетатом (около -65°C), этанолом (около -70°C), ацетоном (-78°C), изопропанолом (-78°C), этилметилкетаном (около -85°C), и диэтиловым эфиром (около -100°C). В некоторых модификациях хладагент представляет собой смесь

растворителя с жидким азотом или с сухим льдом. В частности, рассматриваются смеси сухого льда с растворителями, такими как метанол, этанол, пропанол, ацетон, или их смесями. В некоторых модификациях может использоваться сжиженный газ, такой как жидкий азот, жидкий гелий, жидкий аргон или их смеси.

v. Система труб или трубопроводов.

Модуль снабжения хладагентом 50, и теплообменник 10 и выводная труба 35, и насосы 40, и вентили 19 при наличии имеют контакт с жидкостью и могут соединяться через систему труб или трубопроводов. Система труб или трубопроводов может быть выполнена из таких материалов и иметь такую конструкцию, которая применима для окружающей среды, в которой используется система. Например, для глубоководного бурения система труб или трубопроводов может быть разработана таким образом, чтобы противостоять высокому давлению воды, существующему при глубоководном бурении, включая глубины приблизительно в 7000 футов под водой. Специалисты в данной области могут подобрать правильный материал и толщину или разработать систему труб или трубопроводов для таких применений. Система труб или трубопроводов может иметь радиальное или поперечное армирование во избежание разрушения под действием давления воды на глубине при глубоководном бурении. Система труб или трубопроводов может быть такой толщины, чтобы она могла противостоять деформации или разрушению под давлением воды на глубине при глубоководном бурении. Система труб может быть выполнена в соответствии с окружающими давлениями и изолирована в целях сведения к минимуму тепловые повреждения от окружающей среды. Система труб может быть термически изолирована от окружающей среды при использовании любых методов, известных специалистам в данной области. В некоторых модификациях система труб или трубопроводов может быть окружена или заключена в нетеплопроводный материал. В некоторых модификациях система труб или трубопроводов защищена теплоизолирующими средствами. Теплоизоляционное средство может представлять собой оболочку, изготовленную из нетеплопроводного или содержащую нетеплопроводный материал. Примерами материалов, обладающих низкой теплопроводностью, могут служить битум, цемент, глина, бетон, кориан с керамическим наполнением, кора пробкового дерева, хлопчатобумажная изоляция, диатомовая земля, эпоксидная смола, стекловолокно, пеностекло, стеклянные таблетки или бусинки, стекловолокно, гипс, магнезит, магнезиальный теплоизоляционный материал, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция из пенопласта, пенополистирол, полиуретан, фарфор, политетрафторэтилен, поливинилхлорид, пирекс, песок, кварцевый аэрогель, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный виниловый эфир, нетеплопроводные газы, обладающие более низкой теплопроводностью, чем воздух, такие как бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортетрафторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый спирт, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан, и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как хлорфторуглерод-11, гидрохлорфторуглерод 141b, метанол, этанол, глицерол, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводная (термически изолирующая) силиконовая жидкость, содержащая стекло, как, например, стекловолокна или стеклянные таблетки, и пропиленгликоль, и их сочетания.

В некоторых модификациях система труб или трубопроводов может быть коаксиальной, где внутренняя труба находится внутри внешней трубы, а пространство между внутренней трубой и внешней трубой заполнено нетеплопроводным материалом. Можно использовать любые современные нетеплопроводные материалы. Примерами материалов, обладающих низкой теплопроводностью, могут служить битум, цемент, глина, бетон, кориан с керамическим наполнением, кора пробкового дерева, хлопчатобумажная изоляция, диатомовая земля, эпоксидная смола, стекловолокно, пеностекло, стеклянные таблетки или бусинки, стекловолокно, гипс, магнезит, магнезиальный теплоизоляционный материал, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция из пенопласта, пенополистирол, полиуретан, фарфор, политетрафторэтилен, поливинилхлорид, пирекс, песок, кварцевый аэрогель, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный виниловый эфир, нетеплопроводные газы, обладающие более низкой теплопроводностью, чем воздух, такие как бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортетрафторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый спирт, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан, и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как хлорфторуглерод-11, гидрохлорфторуглерод 141b, метанол, этанол, глицерол, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводная (термически изолирующая) силиконовая жидкость, содержащая стекло, как, например, стекловолокна или стеклянные таблетки, и пропиленгликоль, и их сочетания.

vi. Устройства контроля скорости потока.

В некоторых модификациях устройства контроля скорости потока могут быть включены в состав теплообменника 10 или систему труб или трубопроводов, которые передают хладагент на теплообменник 10, или в выводную трубу 35, или быть в любом сочетании с ними. Устройства контроля скорости потока могут подключаться к компьютерному модулю 55. Данные с устройств контроля скорости потока могут использоваться для определения тока хладагента или криогена через систему, особенно через теплообменник 10, а также могут использоваться для регулирования (корректировки) скорости тока хладагента или криогена через систему вручную или автоматически, например, с использованием компьютерного управления. Устройства контроля скорости потока могут вводиться на всем пути прохождения

жидкости от модуля снабжения хладагентом 50 до точки выхода на выводной трубе 35 в целях определения скорости тока хладагента через систему.

vii. Вентили.

Устройство передачи тепла может быть оснащено вентилями 19, которые могут использоваться для регулирования скорости тока хладагента от модуля снабжения хладагентом 50 до теплообменника 10 при тепловом контакте с трубопроводом 2. В некоторых модификациях между модулем 50 снабжения хладагентом и насосным модулем 40 можно расположить один или более вентиляей 19. В некоторых модификациях между насосным модулем 40 и теплообменником 10 можно расположить один или более вентиляей 19. В некоторых модификациях между теплообменником 10 и выводной трубой 35 можно расположить один или более вентиляей 19. Вентилями можно управлять вручную. В некоторых модификациях вентили могут быть электромагнитными (соленоидными) вентилями. В некоторых модификациях вентили 19 могут соединяться с и/или управляться компьютерным модулем 55. В модификациях, в которых вентили 19 соединяются с компьютерным модулем 55, компьютерный модуль 55 может регулировать прохождение потока через систему посредством открывания или закрывания вентиляей 19 или регулируя степень открытия одного или более вентиляей 19, и обеспечивая тем самым прохождение потока через систему. В некоторых модификациях компьютерный модуль 55 может автоматически регулировать прохождение потока через систему посредством регулирования потока при его прохождении через вентили 19. В некоторых модификациях компьютерный модуль 55 может соединяться с расходомерами системы.

viii. Выводная или вентиляционная труба.

В модификациях, в которых устройство передачи тепла содержит жидкостный теплообменник, теплопроводный хладагент может течь через теплообменник 10 от входного отверстия 12 через блок 10 и покидать блок 10 через выходное отверстие 13 блока 10. В некоторых модификациях, например, когда у блока 10 имеются еще и дополнительные взаимосвязанные теплообменники, то поток хладагента, который покидает первый теплообменник 10, может подаваться на входное отверстие 12 следующего подсоединенного теплообменника 10. Как только хладагент пройдет через все взаимосвязанные теплообменники 10, хладагент выходит из конечного или последнего теплообменника 10 через выходное отверстие 13 в выводную или вентиляционную трубу 35. Конечная выводная труба 35 может иметь теплоизоляцию для защиты от окружающей среды. Теплоизоляционное средство представляет собой слой или покрытие из теплоизоляционного материала, расположенного по всей длине выводной трубы. Теплоизоляционное средство может представлять собой оболочку 30. Оболочка 30 может быть выполнена из нетеплопроводного материала или материала с низкой теплопроводностью, или оболочка 30 может представлять собой кожу, содержащий нетеплопроводный (теплоизоляционный) материал или материал с низкой теплопроводностью. Примерами материалов, обладающих низкой теплопроводностью, могут служить битум, цемент, глина, бетон, кориан с керамическим наполнением, кора пробкового дерева, хлопчатобумажная изоляция, диатомовая земля, эпоксидная смола, стекловолокно, пеностекло, стеклянные таблетки или бусинки, стекловолокно, гипс, магнезит, магнезиальный теплоизоляционный материал, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция из пенопласта, пенополистирол, полиуретан, фарфор, политетрафторэтилен, поливинилхлорид, пирекс, песок, кварцевый аэрогель, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный виниловый эфир, нетеплопроводные газы, обладающие более низкой теплопроводностью, чем воздух, такие как бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортетрафторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый спирт, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан, и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как хлорфторуглерод-11, гидрохлорфторуглерод 141b, метанол, этанол, глицерол, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводная (термически изолирующая) силиконовая жидкость, содержащая стекло, как, например, стекловолокна или стекла. Выводная труба 35 может иметь один или несколько нагревательных элементов 5. При активации нагревательные элементы 5 могут использоваться для повышения температуры хладагента, по крайней мере, до температуры окружающей среды. Например, активированный нагревательный элемент 5 может повышать температуру выходящего хладагента, по крайней мере, до температуры воды или воздуха, в зависимости от того, куда выводится хладагент/криоген. Например, если устройство используется для подводного бурения, включая и глубоководное бурение, то нагревательные элементы 5 нагревают выводимый хладагент до температуры воды, в которую он выводится. При нагревании удаляемого хладагента, по крайней мере, до температуры окружающей воды, кристаллы льда не образуются.

Выводная труба 35 может располагаться на любом расстоянии от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться на некотором удалении от трубопровода 2. Например, в некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться на расстоянии между 1 и 100 футами или более от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться, по крайней мере, на расстоянии 10 футов от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться, по крайней мере, на расстоянии 20 футов от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться, по крайней мере, на расстоянии 50 футов от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться, по крайней мере, на расстоянии 100 футов от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может распола-

гаться, по крайней мере, на расстоянии 200 футов от трубопровода 2. В некоторых модификациях выводная труба 35 может располагаться, по крайней мере, на расстоянии 500 футов от трубопровода 2.

В некоторых модификациях выводная труба 35 может присоединяться к теплообменному модулю для отвода тепла, абсорбированного из трубопровода, а регенерированный и охлажденный хладагент может быть возвращен в модуль снабжения хладагентом. В некоторых модификациях выводная труба 35 может присоединяться к испарителю и/или компрессору до или после прохождения второго теплообменника для регенерации охлажденного жидкого хладагента, перед тем, как он будет возвращен в модуль снабжения хладагентом.

ix. Нагревательные элементы.

Любое известное современное нагревательное устройство может использоваться в качестве нагревательного элемента 5 для нагрева трубопровода или выводной трубы, или систем труб между ними. Например, патент США № 4849611 описывает множество дискретных разделенных промежутками нагревательных элементов. Патент США № 7461691 описывает нагреватели Кюри. Патентная публикация № 2005-0092483 описывает нагреватели с ограничением температуры. Патентная публикация США № 2004-0020642 описывает источники тепла в трубопроводе. Хорошо известны ленточные нагреватели для нагревания труб. Например, патент США № 3793716 описывает ленточный нагреватель, содержащий два проводящих провода, заделанных в полимер с положительным температурным коэффициентом. Патент США № 4238640 описывает нагревательный блок для трубопроводов, содержащий три плоских резистивных элемента или проводника, параллельно размещенных вдоль нагреваемой поверхности. Этот нагреватель может стягиваться на трубопроводе в строгом соответствии с формой окружности и длиной трубопровода. Плоские алюминиевые ленты служат для проводки и распространения тепла, полученного тремя плоскими проводниками по поверхности трубопровода. Другие нагревательные элементы, которые могут использоваться для нагрева трубопровода или выводной трубы, или системы труб, представлены в патентах США №№ 7066730; 4238640; 3971416 и 3814574.

Нагревательные элементы 5 могут крепиться к трубопроводу 2 или трубам системы либо на постоянной основе, либо как удаляемые элементы. Нагревательные элементы 5 могут изолироваться после прикрепления нагревательных элементов 5 к трубопроводу 2 или к трубам системы. В некоторых модификациях трубопровод 2 или трубы системы, по которым проходит поток жидкости, имеют кожух нагревателя, смонтированный на трубопроводе 2 или снаружи трубы. Кожух нагревателя образует полость вдоль наружной поверхности трубы для включения нагревательного элемента 5 в целях нагрева жидкости, проходящей по трубе. Заранее выполненный изоляционный слой может быть уложен вокруг трубы и кожуха нагревателя для их изоляции. Оболочка 30 может быть размещена также снаружи изоляционного слоя для защиты изоляционного покрытия.

x. Расходомеры.

Один или более расходомеров, таких как лопастной расходомер, могут располагаться в канале С для замера всего потока жидкости, проходящего через канал С. Расходомер может представлять собой турбинный расходомер, магнитный расходомер, оптические датчики, электромагнитные датчики скорости, расходомеры, использующие силу инерции Кариолиса, тепловые расходомеры, ультразвуковые расходомеры или другие типы известных современных расходомеров. Примеры известных современных расходомеров представлены в патентах США №№ 7,730,777; 7,707,898; 4,934,196; 4,422, 338 и RE 31,450, и патентных заявках № 2009-0281671, 2005-0288873 и 2004-0244498.

Следует отметить, что скоростью потока жидкого хладагента, проходящего через теплообменник 10, можно управлять вручную или через компьютер, как, например, регулируя один или более клапанов 19. Например, для управления клапаном 19 и/или насосным модулем 40 компьютерный модуль 55 может быть запрограммирован с помощью одной из множества программ. Например, контроллер может быть запрограммирован на пропорционально-интегральное (ПИ) управление, на пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) управление и т.д., как это детально описывается в связи с измерителем/контроллером теплового потока массы в патенте США № 6962164, который включен в настоящий патент во всей полноте посредством ссылки. В другом примере компьютер может быть адаптирован для использования алгоритма адаптивного управления "независимого от модели", чтобы управлять движением одного или нескольких клапанов 19. Этот метод включает в себя алгоритм управления "на основе нейрона" с обратной связью, который независим от конкретной жидкости, протекающей через систему, не требует изначальных знаний по динамике системы. По крайней мере один вариант данного метода подробно описывается в патенте США № 6684112, который включен в настоящий патент во всей полноте посредством ссылки. Методы определения скорости потока по пузырькам в протекающей жидкости описываются, например, в патентных заявках США 2009-0281671 и 2007-0191990.

b. Термоэлектрический модуль или устройство Пелтье.

В некоторых модификациях устройство передачи тепла 9 содержит устройство Пелтье. Устройство Пелтье представляет собой теплоотвод, который несет электрический заряд, который задействует его как электрическое устройство передачи тепла (благодаря эффекту Пелтье), и такие устройства хорошо известны на современном этапе развития техники, (например, см. патент США № 7218523). Обычное устройство представляет собой "сэндвич", образуемый двумя керамическими пластинами с массивом (мат-

рицей) из маленьких кубов из теллурида висмута (Bi_2Te_3) между ними. Когда подается постоянный ток, тепло перемещается с одной стороны устройства на другую, где удаляется (отводится) посредством теплоотвода α (поглощения тепла). Холодная сторона устройства может прикладываться к трубопроводу. При реверсировании тока, устройство может использоваться как нагреватель, перемещая тепло в обратном направлении. В модификациях, которые используют устройство Пелтье в качестве устройства передачи тепла, одно или более устройств Пелтье термически соединяются с открытой поверхностью трубопровода. В некоторых модификациях термоэлектрический модуль может быть термически связан с трубопроводом, но не соединен физически с трубопроводом. В таких модификациях термоэлектрический модуль может быть термически связан с трубопроводом через теплопроводную среду. В некоторых модификациях теплопроводная среда содержит тепловыводное смазочное вещество. В другой модификации теплопроводная среда содержит металлическую фольгу. В следующей модификации теплопроводная среда содержит теплопроводную подушку. В любой из этих модификаций теплопроводная среда так эластична, что термоэлектрический модуль связан с трубопроводом термически, но не соединен с ним физически. За счет наличия теплопроводной среды между термоэлектрическим модулем (модулями) и трубопроводом, термоэлектрический модуль (модули) не подвергается механическому напряжению (воздействию) вследствие эффектов теплового расширения и сжатия. В результате уменьшается вероятность их повреждения и/или выхода из строя.

с. Магнитное устройство передачи тепла.

В некоторых модификациях устройство передачи тепла 9 содержит магнитное холодильное устройство. Магнитное охлаждение представляет собой технологию охлаждения на основе магнитокалорического эффекта. Устройства, использующие магнитное охлаждение, хорошо известны на современном уровне развития техники (см. патенты США №№ 7603865; 7596955; 7481064 и 7114340 и патентные публикации № US20100071383, US20090217675, US20090158749, US20090019860 и US20070144181).

Магнитное охлаждение является альтернативным методом газокompрессорной технологии охлаждения и нагрева; исходя из инженерно-экономических соображений, очевидно, что магнитные регенераторы-охладители, в принципе, более эффективны, чем охладители с газовым циклом, таким образом, экономичны относительно затрат на эксплуатацию и сохранение энергии. Магнитное охлаждение использует способность магнитного поля воздействовать на магнитную часть энтропии твердого материала в целях ее уменьшения и, следовательно, повышения решетчатой (вибрационной) части энтропии в изотермическом процессе или температуры твердотельного материала в адиабатическом процессе. Если удалить магнитное поле, то замена или возврат энтропии магнитного твердотельного материала понижает температуру материала. Таким образом, магнитное охлаждение осуществляется посредством циклического рассеивания и поглощения тепла в ходе адиабатического намагничивания и адиабатического размагничивания магнитного твердотельного материала через применение/прекращения действия внешнего магнитного поля. Холодильная установка, которая расходует или выпускает наружу выделяющееся тепло на одной стороне установки, когда магнитный твердотельный материал намагничивается, и охлаждает полезную нагрузку на другой стороне, когда магнитный твердотельный материал размагничивается, известна как активный магнитный регенератор-магнитный охладитель. Патенты США № 7114340; 7076959; 7069729; 7063754; 6826915; 6739137; 6676772; 6589366; 6467274; 6446441; 5743095; 5357756; 4956976; 4829770 и 4642994 описывают активные магнитные охлаждающие материалы и магнитные холодильные системы; см. также "Recent Developments in Magnetic Refrigeration", К.А. Gschneidner Jr., Materials Science Forum, т. 315-317 (1999), с. 69-79 ("Современные разработки в области магнитного охлаждения", автор К.А. Гешнайнднер младш. и др., Форум по материаловедению), Gedik и др., 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09) (Гедик и др., 5-й международный симпозиум передовых технологий (IATS'09)), май 13-15, 2009 г. Карабук, Турция. В некоторых модификациях могут использоваться соединения гадолиния и конфигурация магнита Nd-Fe-B.

В некоторых модификациях магнитная холодильная установка содержит первый и второй постоянные магниты, каждый, главным образом, с одинаковой напряженностью поля и противоположной полярностью, с первым и вторым телом, выполненным из магнитокалорического материала и помещенным соответственно под действие полей первого и второго постоянного магнита, и импульсный магнит, концентричный с первым и вторым постоянным магнитом и имеющий поле, которое циркулирует между полями первого и второго постоянного магнита, при этом циклично намагничивая и размагничивая, таким образом нагревая и охлаждая то первое, то второе тело. Теплообменник нужной конструкции может использоваться для того, чтобы воздействовать на рабочую жидкость первым и вторым телом из магнитокалорического материала. Контроллер может обеспечиваться для синхронизации потока рабочей жидкости при изменении состояния намагничивания первого и второго тела.

2. Средства теплоизоляции.

В некоторых модификациях охлаждающее устройство или криотермодинамическая вентильная система может содержать средства теплоизоляции трубопровода и/или теплообменника от окружающей среды. Например, теплоизоляционным средством может быть оболочка 30 из теплоизоляционного материала, контактирующая с трубопроводом 2 на одной или обеих сторонах теплообменника 10 и покрывающая теплообменник 10, захватывая при этом по крайней мере часть трубопровода 2. В некоторых

модификациях теплоизоляционное средство может прикрепляться к трубопроводу 2 для создания воздухо-непроницаемой изоляции. В некоторых модификациях, в которых теплоизолирующее средство присоединяется к трубопроводу 2 посредством герметичной изоляции, воздух может быть заменен газом с более низкой теплопроводностью, чем воздух. В общем, плотные газы, такие как ксенон и дифтордихлорметан, имеют низкую теплопроводность. Газы с более низкой теплопроводностью, чем воздух, включают бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый спирт, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан. В некоторых модификациях воздух может заменяться жидкостью, обладающей низкой теплопроводностью. Примеры жидкостей с низкой теплопроводностью включают хлорфторуглеводород-11 (CFC-11), гидрохлорфторуглеводород-141b (HCFC-141b), метанол, этанол, глицерол, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводную силиконовую жидкость, содержащую стекло, как, например, стекловолокна или стеклянные таблетки, и пропиленгликоль.

В некоторых модификациях, в частности в подводных применениях, включая глубоководное бурение, теплоизоляционное средство может присоединяться к трубопроводу 2 для создания герметичной изоляции, а вода, окружающая трубопровод и находящаяся между трубопроводом и теплоизоляционным средством, удаляется. В некоторых модификациях вода может заменяться воздухом. В некоторых модификациях вода может заменяться газом, обладающим более низкой теплопроводностью, чем воздух. В некоторых модификациях вода может заменяться жидкостью, обладающей более низкой теплопроводностью, чем жидкая вода. В таких модификациях теплоизоляционное средство можно конфигурировать таким образом, чтобы обеспечить удаление любой воды, контактирующей с трубой, чтобы уменьшить тепловые эффекты от воды как теплоотвода, прежде чем активировать систему. Оболочка может иметь устройства контроля температурного градиента вдоль трубы. Кроме того, оболочка может иметь нагревательные элементы для контроля температурного градиента, вызываемого холодильной системой. В некоторых модификациях оболочка может иметь дистальные нагревательные элементы, которые могут использоваться для регулирования температурного градиента и/или могут свести к минимуму образование льда на дистальных концах трубы. Нагревательными элементами можно управлять в целях сведения к минимуму или исключения термического усталостного разрушения в трубопроводе, чтобы трубопровод не вышел из строя в результате образования трещин и проломов в нем.

Теплоизоляционное средство может представлять собой слой или покрытие из теплоизоляционного материала. Теплоизоляционное средство может представлять собой оболочку 30. Оболочка 30 может быть выполнена из нетеплопроводного материала или материала с низкой теплопроводностью, или оболочка 30 может представлять собой кожу, содержащий нетеплопроводный материал или материал, обладающий низкой теплопроводностью. Примеры материалов, обладающих низкой теплопроводностью, включают битум, цемент, глина, бетон, кориан с керамическим наполнением, кора пробкового дерева, хлопчатобумажная изоляция, диатомовая земля, эпоксидная смола, стекловолокно, пеностекло, стеклянные таблетки или бусинки, стекловолокно, гипс, магнезит, магнезиальный теплоизоляционный материал, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция из пенопласта, пенополистирол, полиуретан, фарфор, политетрафторэтилен, поливинилхлорид, пирекс, песок, кварцевый аэрогель, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный виниловый эфир, нетеплопроводные газы, обладающие более низкой теплопроводностью, чем воздух, такие как бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый спирт, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан, и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как хлорфторуглеводород-11, гидрохлорфторуглеводород 141b, метанол, этанол, глицерол, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводная (термически изолирующая) силиконовая жидкость, содержащая стекло, как, например, стекловолокна или стеклянные таблетки, и пропиленгликоль, и их сочетания.

3. Компьютерный модуль.

В некоторых модификациях система содержит компьютерный модуль 55 для автоматизации системы. Компьютерный модуль 55 может подключаться или управлять устройством передачи тепла. В некоторых модификациях компьютерный модуль 55 может использоваться для регулирования термоэлектрического модуля или устройства Пелтье. В некоторых модификациях компьютерный модуль 55 может использоваться для регулирования магнитного охлаждающего устройства. В некоторых модификациях компьютерный модуль 55 может использоваться для регулирования жидкостного устройства передачи тепла, содержащего теплообменник. В модификациях системы, содержащих жидкостной теплообменник 10, компьютерный модуль 55, может быть связан или может управлять нагревательными элементами 5, вентилями 19, устройствам контроля температуры и насосным модулям 40 системы. В некоторых модификациях процессор компьютерного модуля 55 может управлять насосным модулем (модулями) 40 и вентилем (вентилями) регулирования потока 19 для обеспечения тока жидкого хладагента в существующих физических условиях окружающей среды.

В некоторых модификациях среда для связи может находиться в трубопроводе, например внутри затрубного пространства трубопровода или в канале, высверленным ружейным сверлом для глубокого сверления в трубопроводе, или в канале, выполненном во время изготовления трубопровода. Среда для связи позволяет осуществлять связь между компьютерным модулем 55, который может располагаться на

расстоянии от охлаждающей системы, и одним или несколькими компонентами холодильной системы CryoPlug криотермодинамической вентильной системы. Связь между холодильными системами и компьютерным модулем может осуществляться при использовании любого соответствующего метода, включая электромагнитную (ЭМ) сигнализацию, телеметрию по гидроимпульсному каналу связи, сеть с пакетной коммутацией или потоко-ориентированную электронную сигнализацию. Среда для связи может быть проводной, кабельной, волноводной, волоконной, жидкой, такой как с использованием гидроимпульсного метода и любых других средств. Среда для связи может иметь один или несколько каналов связи. Например, один канал связи может соединять компьютерный модуль с теплообменником, в то время как другой канал связи может соединять компьютерный модуль с модулем инжектором криогена.

Среда для связи может использоваться для управления одним или несколькими компонентами холодильной системы, такими как контрольные вентили. Например, компьютерный модуль может управлять действиями холодильной системы, например, выполняя предварительно запрограммированную функцию регулирования потока хладагента или криогена в системе. Среда для связи также может использоваться для передачи данных, таких как результаты измерения температуры и давления, передаваемые с датчиков. Например, результаты измерений температуры, полученные с датчиков, присоединенных к трубопроводу, могут передаваться на компьютерный модуль для дальнейшей обработки или анализа, или хранения.

Компьютерный модуль 55 может подключаться к терминалу, который обладает возможностями от возможностей терминала ввода/вывода до возможностей компьютера-сервера. Терминал может разрешить пользователю взаимодействовать с компьютерным модулем 55. Терминал может находиться рядом с компьютерным модулем 55 или находиться удаленно, а связь с компьютерным модулем 55 может осуществляться по телефону, сотовой связи, через спутник, Интернет и другие сети или в любом их сочетании. Среда для связи обеспечивает связь на скорости, достаточной для выполнения компьютерным модулем сбора и анализа данных, поступающих с датчиков, расположенных в скважине или в каком-либо другом месте, связанным с холодильной системой, в реальном масштабе времени.

Методы настоящего изобретения можно было бы реализовать в машинно-читаемой запоминающей среде, имеющей машинно-читаемую программу, реализованную в ней, в целях управления работой описываемой выше системы. Машинно-читаемая программа содержит инструкции по работе с теплообменной системой в соответствии с вышеприведенными примерами осуществления.

Например, компьютерный процессор компьютерного модуля 55 может управлять и/или регулировать поток хладагента, проходящего через систему. В примере осуществления, когда вентили 19 представляют собой вентили, которые задействуются или управляются дистанционно, как, например, электромагнитные вентили, компьютер может перекрыть электромагнитный вентиль, расположенный рядом с модулем подачи хладагента 50, чтобы перекрыть весь поток хладагента, проходящего через теплообменник 10. Этот электромагнитный вентиль может быть сконфигурирован таким образом, что электрическая мощность выключения немедленно останавливает поток хладагента, проходящего через теплообменник и систему. Вентили управления потоком 19 на всем протяжении системы могут принимать сигналы с компьютерного модуля 55 для управления количеством и силой тока жидкого хладагента, проходящего через систему, в зависимости от замеренной температуры в системе передачи тепловой энергии 1, а также, опционально, в зависимости от некоторых параметров, определенных пользователем, включая нужный профиль охлаждения.

Температура внутри теплообменника 10 и температура вдоль теплопровода 2 может контролироваться устройствами теплового контроля 15 и другими температурными датчиками, как, например, термомпарами. Устройства теплового контроля 15 могут подключаться к компьютерному модулю 55 и обеспечивать его входной информацией.

В некоторых модификациях устройство может использоваться при глубоководном бурении при избыточных давлениях и пониженных температурах. Для таких применений устройство может быть сконфигурировано таким образом, чтобы противостоять избыточным давлениям на устройство, создаваемым толщей воды. Например, для таких применений можно было бы разработать специальные теплообменники, способные противостоять давлению, создаваемому толщей воды на глубине от 1000 до 10000 футов ниже уровня моря. Как сегодня известно, нормальное давление повышается приблизительно на 0,465 фунт/кв.дюйм на каждый фут глубины под водой (10,5 кПа на 1 м глубины). Таким образом, нормальное давление на глубине 10000 футов под водой будет составлять приблизительно 4650 фунт/кв.дюйм. Давление воды на глубине в 5000 футов немного выше одной тонны на кв.дюйм (приблизительно 2438 фунт/кв.дюйм).

Для некоторых модификаций, включая варианты применения при глубинном бурении, проводник тепла может быть выполнен из теплопроводного металла с толщиной или сечением, или конфигурацией, достаточной, чтобы противостоять разрушению, деформации и/или нарушению конструкции в результате воздействия давления. Можно использовать любой металл, обладающий теплопроводными свойствами. Примерами металлов в качестве проводников тепла могут быть, например, медь, кремний, алмаз, осажденный из паровой фазы, серебро, золото, графен, алюминий и алюминиевые сплавы, никель, титан, титановые сплавы, вольфрам и его сплавы.

4. Модуль инжектора криогена.

В некоторых модификациях охлаждающее или замораживающее устройство, предназначенное для отбора тепловой энергии из трубопровода, которое может использоваться, например, для замораживания по крайней мере части жидкости трубопровода, может содержать модуль инжектора криогена. Трубопровод может быть ориентирован по-разному относительно грунта. Например, трубопровод может находиться перпендикулярно грунту, что является, например, главной ориентацией эксплуатационной нефтяной скважины. Трубопровод может быть также параллелен грунту, что является, например, главной ориентацией наземного трубопровода. Модуль инжектора криогена может иметь один или множество инжекторов или инжекционных устройств, связанных через жидкость с источником криогена. В некоторых модификациях криоген может быть жидким криогеном. В некоторых модификациях криоген может выбираться из жидкого азота, жидкого гелия, жидкого аргона, жидкого неона, жидкого ксенона, жидкой двуокиси углерода и их сочетаний. Инжекторы или инжекционные устройства могут иметь такую конфигурацию, чтобы впрыскивать криоген непосредственно в жидкость в трубопроводе, понижая при этом температуру жидкости. Инжекторы или инжекционные устройства могут иметь такую конфигурацию, что инжектор не контактирует с жидкостью в трубопроводе. Например, в некоторых модификациях инжектор может представлять собой отверстие на трубопроводе, такое как отверстие на системе труб. В некоторых модификациях инжектор имеет порт, через который криоген или хладагент вводится в трубопровод, так чтобы криоген или хладагент попал в жидкость в трубопроводе. Инжектор или инжекционный блок может иметь механизм изоляции для контроля ввода криогена или хладагента в жидкость в трубопроводе. Можно использовать любой известный сегодня механизм изоляции. В некоторых модификациях запорный вентиль может быть включен в порт инжектора. Запорный вентиль может использоваться в качестве механизма изоляции и/или может использоваться для воспрепятствования обратному ходу жидкости в трубопроводе, такой как нефть в системе труб, в модуль снабжения криогеном или хладагентом, такой как модуль, который обеспечивает инжектор криогеном, как, например, жидким аргоном или жидкий азотом.

Можно использовать любой запорный вентиль криогена. Можно использовать любой вентиль, работающий при криогенных температурах. Не для всех вариантов требуется запорный вентиль. Например, в вариантах, где модуль снабжения хладагентом или криогеном подает хладагент или криоген под большим давлением, чем предполагаемое внутреннее давление в трубопроводе или системе труб, то поток хладагента или криогена, проходящего с модуля снабжения на инжектор, останавливается, и запорный вентиль не потребуется. В некоторых модификациях запорный вентиль может быть составной частью аппаратуры, используемой для активации вентиля. В некоторых модификациях инжекционный порт может быть изолирован от трубопровода или системы труб посредством вентиля, управляемого вручную или дистанционно и подходящего к типу и давлению жидкости в трубопроводе или в системе труб для жидкости.

Жидкая среда (жидкость) в трубопроводе может быть любой жидкостью, транспортируемой по трубопроводу или трубам. Жидкая среда может быть жидкостью, газом или их смесью. Примером жидкой среды является нефть, добытая из нефтяной скважины. Обычно добытая нефть может содержать некоторое количество воды. Таким образом, жидкость может быть сырой (неочищенной) нефтью, только ею или в сочетании с водой.

В некоторых случаях, в подземном нефтехранилище условия окружающей среды, включая температуру и давление в резервуаре, могут привести к тому, что в неочищенной (сырой) нефти будут растворены C_1 - C_8 алканы, включая метан, этан, пропан и бутан, пропорции содержания которых в виде газа или жидкости определяются подповерхностными условиями. Таким образом, в некоторых случаях жидкость может содержать растворенные газы и может содержать газы, которые выделяются из жидкости при изменении температуры и/или давления в трубопроводе. Примером жидкости является природный газ, который может иметь любые сочетания легких углеводородов, включая алканы, алкены и алкины, по отдельности или в любом их сочетании. Природный газ содержит преимущественно метан, но также может содержать этан, пропан, бутан, пентан, углеводороды с большим молекулярным весом и водяные пары.

В некоторых модификациях криотермодинамическое вентильное устройство содержит один или более инжекторов криогена, один или более вспомогательных инжекторов или инжекционных портов. При наличии, вспомогательные инжекторы или инжекционные порты могут использоваться для ввода в поток жидкости второго материала, отличного от хладагента или криогена.

Например, в некоторых модификациях можно использовать один или более вспомогательных инжекторов для ввода поверхностно-активного вещества (ПАВ) в жидкость в трубопроводе. Вспомогательные инжекторы могут находиться перед или после инжектора криогена. Вспомогательные инжекторы могут задействоваться без активации инжекторов криогена. Вспомогательные инжекторы могут задействоваться вместе с инжектором криогена, впрыскивая поверхностно активное вещество в жидкость одновременно с криогеном, перед впрыскиванием криогена в жидкость или после впрыскивания криогена в жидкость. В некоторых модификациях вспомогательный инжектор (инжекторы) располагается/располагаются перед инжектором криогена, и поверхностно активное вещество впрыскивается в поток раньше или одновременно с введением криогена через инжектор криогена в жидкость в трубопроводе

или системе труб.

В некоторых модификациях один или более вспомогательных инжекторов могут использоваться для впрыскивания шунтирующей (закупоривающей) жидкости в жидкость в трубопроводе. В отдельных модификациях, в которых, например, жидкостью в трубопроводе является газ, термодинамическое вентильное устройство может иметь один или более вспомогательных инжекторов для ввода шунтирующей (закупоривающей) жидкости в газ. В таких модификациях вспомогательные инжекторы могут располагаться перед инжектором криогена или после него. В таких модификациях вспомогательные инжекторы располагаются перед инжектором криогена. Вспомогательные инжекторы могут активироваться без задействования инжектора (инжекторов) криогена. Вспомогательные инжекторы могут задействоваться в сочетании с инжектором криогена, впрыскивая шунтирующую (закупоривающую) жидкость в жидкость в трубопроводе или системе труб одновременно с криогеном, перед вводом криогена или после впрыскивания криогена в жидкость в трубопроводе. В некоторых модификациях вспомогательный инжектор (инжекторы) располагается (располагаются) перед инжектором криогена, а шунтирующая (закупоривающая) жидкость может впрыскиваться в поток до или одновременно с впрыскиванием криогена через инжектор криогена в жидкость в трубопроводе или системе труб.

Впрыскивание второго материала, такого как поверхностно-активное вещество или шунтирующая (закупоривающая) жидкость, или их сочетания (смеси) может управляться механическим вентиляем, который открывается и закрывается. Вентиль может управляться вручную или дистанционно, как то путем задействования вентиля электрическим способом или с помощью компьютера. При активировании вентиля открывается для ввода второго материала, как, например, поверхностно-активного вещества или шунтирующей (закупоривающей) жидкости, в жидкость в трубопроводе или в системе труб.

Если второй материал, впрыскиваемый в жидкость трубопровода через вспомогательные инжекторы, является поверхностно-активным веществом, то можно использовать любое подходящее поверхностно-активное вещество. Например, любое анионное, катионное, цвиттер-ионное, неионное ПАВ можно впрыскивать в жидкость трубопровода или системы труб, используя один или несколько вспомогательных инжекторов. Примерами неионного (ПАВ могут служить тергитол (Тергитол NP-9® (Dow Chemical Co., Мидленд, штат Мичиган, США)), неионный нонилфенольный этоксилатный сурфактант, тергитол (Тергитол NP-33 [9016-45-9] синонимы: альфа(нонилфенил)-омега-гидроксиполи(окси-1,2-этандил); антарокс; нонилфеноксиполи(этиленокси)этанол; нонилфенильный полиэтиленгликольный эфир, неионный нонилфенильный полиэтиленгликольный эфир; PEG-9 нонилфениловый эфир; POE (10) нонилфенол; POE (14) нонилфенол; POE (15) нонилфенол; POE (15) нонилфенильный эфир; POE (18) нонилфенильный эфир; POE (20) нонилфенол; POE (20) нонилфенильный эфир; POE (30) нонилфенол; POE (4) нонилфенол; POE (5) нонилфенол; POE (6) нонилфенол; POE (8) нонилфенол; полиэтиленгликоль 450 нонилфенильный эфир; полиэтиленгликоль 450 нонилфенильный эфир, неионное ПАВ; полиэтиленгликоль моно(нонилфенильный) эфир; полиэтиленгликоль моно(нонилфенильный) эфир; полиоксиэтилен (10) нонилфенол; полиоксиэтилен (14) нонилфенол; полиоксиэтилен (15) нонилфенол; полиоксиэтилен (20) нонилфенол; полиоксиэтилен (30) нонилфенол; полиоксиэтилен (4) нонилфенол; полиоксиэтилен (5) нонилфенол; полиоксиэтилен (6) нонилфенол; полиоксиэтилен (8) нонилфенол; полиоксиэтилен (9) нонилфенильный эфир; полиоксиэтилен(п) нонилфенильный эфир; полиоксиэтилен нонилфенол; POE нонилфенол; Protachem 630; Sterox; Surfionic N; T-DET-N; Тергитол NP; Тергитол NP-14; Тергитол NP-27; Тергитол NP-33; Тергитол NP-35; Тергитол NP-40; Тергитол NPX; Тергитол TP-9; Тергитол TP-9 (неионный); Тритон N; Тритон X; Dowfax 9N; этоксилированный нонилфенол; гликоли, полиэтилен моно(нонилфенильный) эфир; Igepal CO; Igepal CO-630; макрогольный нонилфенильный эфир; Makon; Neutronux 600; Nonipol NO; ноноксинол; ноноксинол; ноноксинол-15; ноноксинол-18; ноноксинол-20; этоксилат; нонилфенильный полиэтиленгликольный эфир; нонилфенол; полиоксиэтиленовый эфир; нонилфеноксизтанол; неионные ПАВ, содержащие полиалкиленоксидный полимер как часть поверхностно-активной молекулы, такие как хлорные, бензиловые, метиловые, этиловые, пропиловые, бутиловые, и другие подобные алкил-кэпированные полиэтиленгликольные эфиры жирных спиртов; неионные ПАВ, не содержащие полиалкилен оксидов, такие как алкил полигликозиды; сорбитан; и эфиры сахарозы и их этоксилаты; алкоксилированный этилендиамин; алкоксилаты спиртов, такие как пропоксилаты этоксилаты спиртов, пропоксилаты спиртов, пропоксилат этоксилат пропоксилаты спиртов, этоксилат бутоксилаты спиртов; этоксилат нонифенола, полиэтиленгликолевые эфиры; эфиры карбоновой кислоты, такие как сложные глицериновые эфиры, полиоксиэтиленовые эфиры, этоксилированные и гликолевые эфиры жирных кислот; карбоксил амиды, такие как продукты конденсации с диэтаноломином, продукты конденсации с моноалифатическим аминоксиртом, амиды полиоксиэтилен жирных кислот; и полиалкиленоксидные блоксополимеры, включая этиленоксидный/пропиленоксидный блоксополимер, такой как имеющийся в продаже под торговой маркой PLURONIC® (фирма BASF-Wyandotte).

Можно также использовать силиконовые сурфактанты. Например, в некоторых модификациях силиконовые сурфактанты включают поверхностно-активный полидиорганосилоксан, такой как описанный в патенте США № 4421656. В некоторых модификациях силиконовые сурфактанты можно выбрать из диметикон сополиолов и алкил диметикон сополиолов, и их смесей. Примерами таких кремниевых ПАВ

являются смеси диметикон сополиола и циклометикона, такие как продаваемое фирмой Dow Corning (Midland, штат Мичиган, США) ПАВ под названием DC3225C или DC2-5225C, а также полиалкилполиэфир-полисилоксановый сополимер, содержащий алифатический радикал с 5-22 атомами углерода, такой как цетилдиметиконсополиол, продаваемый под названием Abil® EM-90 фирмы EVONIK Goldschmidt GmbH (Essen, Германия), а также смесь из деиметикон сополиола и циклопентасилоксана (85/15), такая как продаваемая под названием Abil® EM-97 фирмы Goldschmidt, силиконовые эмульгаторы, модифицированные полиэфирными линейного типа, включая метиловые эфиры диметиконов, такие как ПЭГ-3 метиловые эфиры диметикона, ПЭГ-9 метиловые эфиры диметиконов, ПЭГ-10 метиловые эфиры диметиконов, ПЭГ-11 метиловые эфиры диметиконов и бутиловые эфиры диметиконов (доступны от Shin-Etsu (Akron, штат Огайо, США); силиконовые эмульгаторы, модифицированные полиэфиром разветвленного типа, такие как ПЭГ-9 полидиметилсилоксиэтил демитикон (фирма Shin-Etsu), комодифицированные алкилом полиэфирные силиконы разветвленного типа, такие как лаурил ПЭГ-9 полидиметилсилоксиэтил демитикон (фирма Shin-Etsu), силиконы, содержащие полиалкиленоксидные группы, такие как имеющиеся в продаже эмульгаторы Silwet® 7001, изготавливаемые фирмой Momentive Performance Materials (Олбани, штат Нью-Йорк), Dow Corning FG-10, Silwet® L-77 (гептаметил трисилоксан, модифицированный полиалкиленоксидом, содержащий метиловую концевую группу и 1 группу "подвешенных цепей" и имеющий средний молекулярный вес 645) и Silwet® L-7608 (гептаметил трисилоксан, модифицированный полиалкиленоксидом, содержащий концевую водородную группу и одну группу "подвешенных цепей" и имеющий средний молекулярный вес 630) фирмы Momentive Performance Materials; Lambent™ MFF-199-SW (содержащий концевую водородную группу и одну полиэтиленоксидную группу "подвешенных цепей" и имеющий средний молекулярный вес от 600 до 1000) фирмы Lambent Technologies Inc. (Гарни, штат Иллинойс, США); карбоксилатные эфиры на основе силиконового сополиола, такие как SW-CP-K (содержащие концевую фталатную группу и одну полиэтиленоксидную группу "подвешенных цепей" и имеющие средний молекулярный вес от 800 до 1100) и Lube CPI (содержащий концевую группу фталатевой кислоты и от 3 до 5 групп "подвешенных цепей" и имеющий средний молекулярный вес от 2900 до 5300) фирмы Lambent Technologies Inc.; ПАВ типа алкил диметикон сополиол, например, представленные в патенте США № 7083800, содержащие такие эмульгаторы, которые имеются в продаже под названиями "Abil® WE 09", "Abil® WS 08" и "Abil® EM 90" (фирма EVONIK Goldschmidt GmbH, Эссен, Германия) и катионовые силиконовые эмульгаторы, как это представлено в патенте США № 5124466.

Приведенные катионные поверхностно-активные вещества включают, но не ограничиваются гомополимерами или сополимерами, полученными из свободнорадикально-полимеризуемого эфира акриловой или метакриловой кислоты или амидных мономеров. Соплимеры могут содержать одно или несколько элементарных звеньев, полученных из акриламидов, метакриламидов, диацетоновых акриламидов, акриловых или метакриловых кислот или их эфиров, виниллактамов, таких как винилпирролидон или винилкапролактан и сложных виниловых эфиров. Примеры полимеров включают сополимеры акриламида и диметиламиноэтилметокрилата, кватернизованного диметилсульфатом или галоидным алкилом; сополимеры акриламида и метакрилоилоксиэтилтриметилхлорида аммония; сополимер акриламида и метакрилоилоксиэтилтриметил метансульфата аммония; сополимеры винилпирролидона/диалкиламиноалкил акрилата или метакрилата, опционально кватернизованного, как, например, изделия, продаваемые под названием GAFQUAT™ фирмы International Specialty Products; терполимеры диметиламиноэтилметакрилат/винилкапролактан/винилпирролидона, как, например, изделие, продаваемое под названием GAFFIX™ VC 713 фирмы International Specialty Products; сополимер винилпирролидон/метакриламидопропил диметиламина, продаваемый под названием STYLEZE™ CC 10 фирмы International Specialty Products; и сополимеры винилпирролидона и кватернизованного диметиламинопропилметакриламида, как, например, изделие, продаваемое под названием GAFQUAT™ HS 100 фирмы International Specialty Products; четвертичные полимеры винилпирролидона и винил имидазола, такие как изделия под торговой маркой Luviquat® (обозначение изделия FC 905, FC 550, и FC 370) фирмы BASF; тримоний ацетамидопропил хлорид, бегенамидопропил диметиламин, бегенамидопропил этилдимоний этилсульфат, бегентримоний хлорид, цететил морфолин этилсульфат, цетримоний хлорид, кокамидопропил этилдимоний этилсульфат, дицетилдимоний хлорид, диметикон-гидрокситримоний хлорид, гидроксизтил-бегенамидопропил диамоний хлорид, кватерний-26, кватерний-27, кватерний-53, кватерний-63, кватерний-70, кватерний-72, кватерний-76, гидролизированный коллаген, PPG-9 хлорид диэтиламмония, PPG-25 хлорид диэтиламмония, PPG-40 хлорид диэтиламмония, хлорид стиралкония, стиамидопропил-этил-димоний этилсульфат, стирдимоний-гидроксипропил производное гидролизованного белка пшеницы, стирдимоний гидроксипропил производное гидролизованного коллагена, хлорид амидопропалькония зародыша пшеницы, этилсульфат амидопропил-этилдимоний зародыша пшеницы, полимеры и сополимеры диметилдиаллил аммоний хлорида, как, например, Поликватерниум-4, Поликватерниум-6, Поликватерниум-7, Поликватерниум-10, Поликватерниум-11, Поликватерниум-16, Поликватерниум-22, Поликватерниум-24, Поликватерниум-28, Поликватерниум-29, Поликватерниум-32, Поликватерниум-33, Поликватерниум-35, Поликватерниум-37, Поликватерниум-39, Поликватерниум-44, Поликватерниум-46,

Поликватерниум-47, Поликватерниум-52, Поликватерниум-53, Поликватерниум-55, Поликватерниум-59, Поликватерниум-61, Поликватерниум-64, Поликватерниум-65, Поликватерниум-67, Поликватерниум-69, Поликватерниум-70, Поликватерниум-71, Поликватерниум-72, Поликватерниум-73, Поликватерниум-74, Поликватерниум-76, Поликватерниум-77, Поликватерниум-78, Поликватерниум-79, Поликватерниум-80, Поликватерниум-81, Поликватерниум-82, Поликватерниум-84, Поликватерниум-85, Поликватерниум-87, ПЭГ-2-хлорид кокомония, и их смеси; полиалкиленимины, такие как полиэтиленимины, полимеры, содержащие винилпиридиновые звенья или звенья винилпиридиния, конденсаты полиаминов и эпихлоргидринов; четвертичные полиуретаны; соли первичных, вторичных или третичных жирных аминов, опционально полиоксиалкиленированные; четвертичные аммониевые соли имидазолина или его аминоксида; моно-, ди- или триалкильные четвертичные аммониевые соли с противоионом, таким как хлорид, метосульфат, тозилат, включая, но не ограничиваясь хлоридом цетримония, хлоридом дицетилдимония и метосульфатом бегентримония.

Анионные ПАВ содержат, но неограничиваются одним или более карбоксилатами, например, включая, но не ограничиваясь такими веществами, как алкилкарбоксилаты (например, карбоновая кислота и/или ее соли), полиалкоксикарбоксилаты (например, поликарбоновая кислота и/или ее соли), алкоголь-этоксилат карбоксилаты, нонилфенол этоксилат карбоксилаты, или их сочетания; сульфонаты, включая, но не ограничиваясь этим, алкилсульфонаты, алкилбензолсульфонаты (например, додецилбензолсульфовая кислота и/или ее соли), алкиларилсульфонаты, сульфированные эфиры жирной кислоты или их сочетания; сульфаты, включая, но не ограничиваясь такими веществами как сульфатированные спирты, сульфатированные алкоголь-этоксилаты, сульфатированные алкилфенолы, алкилсульфаты, сульфосукцинаты, алкилэфирные сульфаты или их сочетания; фосфатные эфиры, включая, но не ограничиваясь такими веществами как алкилфосфатные эфиры или их сочетания. Приведенные анионные ПАВ включают алкиларилсульфонат натрия, натрия альфа-олефин сульфат, сульфаты жирных спиртов и их сочетания.

Приведенные амфолитные ПАВ (или цвиттерионные ПАВ) включают, но не ограничиваются производными имидазолина, бетаинами, имидазолинами, сульфатами, пропионатами, аминокислотами или их сочетаниями, включая имидазолина бетаин, диметилалкил лаурил бетаин, алкилглицин и алкилди(аминоэтил)глицин.

Количество ПАВ в составе, впрыскиваемом в жидкость в трубопроводе, может быть примерно между 1 и 95 мас.%. В некоторых модификациях количество ПАВ в составе может быть примерно между 2 и 80 мас.%. В некоторых модификациях количество ПАВ в составе может быть примерно между 5 и 50 мас.%. В некоторых модификациях количество ПАВ в составе может быть примерно между 50 и 100 мас.%. Количество ПАВ, впрыскиваемого в жидкость в трубопроводе, может варьироваться в зависимости от размера трубопровода и от скорости тока жидкости по трубопроводу и, таким образом, точное количество ПАВ зависит отчасти от обстоятельств. В некоторых модификациях количество ПАВ может быть в пределах от 0,1 до 100 фунт/баррель (баррель=42 галлоном США или примерно 159 л). В некоторых модификациях количество ПАВ может быть в пределах от 1 до 75 фунт/баррель. В некоторых модификациях количество ПАВ может быть в пределах от 5 до 70 фунт/баррель. В некоторых модификациях количество ПАВ может быть в пределах от 10 до 60 фунт/баррель. В некоторых модификациях количество ПАВ может быть в пределах от 25 до 50 фунт/баррель.

Если второй материал, вводимый в жидкость трубопровода через вспомогательный инжектор (инжекторы), является шунтирующей (закупоривающей) жидкостью, то можно использовать любую подходящую шунтирующую (закупоривающую) жидкость, которая конверсируется из жидкого в твердое состояние при температуре криогена. Приведенные шунтирующие (закупоривающие) жидкости включают воду, метанол, этанол, изопропанол или их сочетания. Если шунтирующая (закупоривающая) жидкость вводится в газ в трубопроводе и входит в термодинамический вентиль, то более низкая температура трубопровода в термодинамическом вентиле вызывает конверсию жидкой шунтирующей (закупоривающей) жидкости в твердое состояние. Так как шунтирующая (закупоривающая) жидкость становится твердой, она аккумулируется для образования пробки в термодинамическом вентильном устройстве, при этом образование пробки предотвращает ток газа через термодинамическое вентильное устройство.

В модификациях термодинамических вентильных устройств, описываемых в данном документе, эти устройства имеют вспомогательный инжектор для впрыскивания шунтирующей (закупоривающей) жидкости, инжектор может располагаться перед или после инжектора криогена. В некоторых модификациях вспомогательный инжектор для шунтирующей (закупоривающей) жидкости может располагаться перед инжектором криогена. В некоторых модификациях вспомогательный инжектор для шунтирующей (закупоривающей) жидкости может иметь нагревательное устройство. Нагревательное устройство может быть скомпоновано таким образом, чтобы активироваться после активации вентилля, который управляет вспомогательным инжектором для шунтирующей (закупоривающей) жидкости. В некоторых модификациях при активировании вспомогательного инжектора для шунтирующей (закупоривающей) жидкости нагревательное устройство тоже может задействоваться в целях обеспечения температуры места впрыска шунтирующей (закупоривающей) жидкости в жидкость в трубопроводе выше температуры замерзания шунтирующей (закупоривающей) жидкости, чтобы инжектор для шунтирующей (закупоривающей) жид-

кости не блокировался шунтирующей (закупоривающей) жидкостью, когда шунтирующая (закупоривающая) жидкость вводится в жидкость в трубопроводе.

Можно использовать любое нагревательное устройство. Например, в патенте США № 4849611 описывается множество дискретных, разнесенных друг от друга нагревательных устройств, которые могут компоноваться вокруг (недалеко от) порта шунтирующей (закупоривающей) жидкости. Нагреватели Кюри, нагреватели с ограничением температуры, введенные в трубопровод источники тепла и ленточные нагреватели, могут использоваться как нагревательное устройство (см., например, патенты США №№ 3793716; 3814574; 3971416; 4238640; 7461691 и 7066730 и публикацию США № 2005-0092483). Другие приводимые здесь нагревательные устройства - керамические нагреватели с положительным термическим коэффициентом (Positive Thermal Coefficient), толстоленочные керамические нагреватели, провод высокого сопротивления или ленточные нагреватели высокого сопротивления, как, например, те, которые содержат сплавы никеля, как, например, сплавы нихром 80/20 или купроникель (CuNi) или Fe-CrAl, как, например, кантал. Провод высокого сопротивления или ленточные нагревательные устройства высокого сопротивления могут быть заделаны в керамический изоляционный связующий материал (как, например, TiO₂, MgO, диатомовая земля или алюминиевый порошок или их сочетания). Варианты таких нагревательных элементов имеются в свободной продаже (нагреватели Calrod™), которые могут компоноваться таким образом, чтобы нагревать порты шунтирующей (закупоривающей) жидкости.

В некоторых модификациях инжектор (инжекторы) или инжекционные устройства впрыскивают криоген поперек обсадной колонны скважины, подавая криоген в жидкость, понижая тем самым температуру жидкости. В некоторых модификациях проемы в обсадной колонне скважины предназначены для инжекционных устройств, располагаемых таким образом, чтобы направить струю криогена непосредственно в жидкость в обсадной колонне при задействовании инжекционной системы. Например, последняя часть первой обсадной колонны (или двух или более обсадных колонн с большим внутренним диаметром) может иметь трубы для впрыскивания криогена в текущую жидкость. В некоторых модификациях трубы или трубопроводы, которые могут использоваться для подачи криогена к модулю инжектору криогена, могут быть выполнены для каждого слоя обсадной колонны, и затем обсадные колонны могут быть отрегулированы таким образом, чтобы обеспечить каналы для подачи криогена к модулю инжектору криогена перед размещением в буровой скважине. В некоторых модификациях система труб для подачи криогена может быть введена в кольцевое пространство, образуемое двумя концентрическими трубами. В некоторых модификациях трубы обсадной колонны могут быть изготовлены таким образом, чтобы получить один или более каналов в стенках трубы, которые будут использоваться в качестве каналов для подачи криогена. Такие каналы в стенках трубы могут быть выполнены любым способом, известным специалистам в данной области. Например, трубы могут быть выполнены с использованием технологии инжекционного формования для образования нужных каналов, используемых для подачи криогена к инжекторам. Канал для подачи криогена может быть во внутреннем кольцевом пространстве буровой скважины или в канале, просверленном ружейным сверлом для глубокого сверления в обсадной колонне скважины.

В некоторых модификациях последняя или несколько последних обсадных колонн буровой скважины могут содержать материал с высокой прочностью на разрыв в криогенных условиях. Например, в некоторых модификациях, обсадные колонны могут иметь каналы или трубопроводы, плакированные материалом с высокой прочностью на разрыв, совместимым с криогенными жидкостями. Например, каналы в обсадных колоннах могут быть плакированы сплавом с фактором вязкого разрушения, более высоким, чем у стали, и фактором хрупкого излома, более низким, чем у стали. В некоторых модификациях обсадные колонны могут быть выполнены из материала с высокой прочностью на разрыв в криогенных условиях. Например, легированные стали, в частности стали, содержащие Cr, Ni или Si, могут быть с высоким фактором вязкого разрушения и низким фактором хрупкого излома. Сплавы с фактором вязкого разрушения, более высоким, чем у стали и фактором хрупкого излома, более низким, чем у стали, сегодня хорошо известны. Примеры таких сплавов приводятся в патентах США №№ 5352304; 6183573; 6212891; 7235212; 7648597 и 7727463.

В модификациях, в которых каналы в обсадных колоннах используются для подачи криогена к инжекторам, сами каналы могут иметь теплоизоляционные средства для изоляции наружной стороны каналов от воздействия окружающей среды. Теплоизоляционные средства могут содержать слой или покрытие из теплоизоляционного материала. Теплоизоляционные средства могут быть изготовлены из нетеплопроводного материала или материала с низкой теплопроводностью, или могут иметь оболочку, содержащую нетеплопроводный материал или материал с низкой теплопроводностью. Примерами материалов с низкой теплопроводностью могут служить битум, цемент, глина, бетон, кориан с керамическим наполнением, кора пробкового дерева, хлопчатобумажная изоляция, диатомовая земля, эпоксидная смола, стекловолокно, пеностекло, стеклянные таблетки или бусинки, стекловолокно, гипс, магнезит, магнизиальный теплоизоляционный материал, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция из пенопласта, пенополистирол, полиуретан, фарфор, политетрафторэтилен, поливинилхлорид, пирекс, песок, кварцевый аэрогель, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный виниловый эфир, нетеплопроводные газы, обладающие более низкой теплопроводностью, чем воздух, такие как бутан, криптон, трихлорме-

тан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, двуокись углерода, диэтиловый спирт, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан, и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как хлорфторуглерод-11, гидрохлорфторуглерод 141b, метанол, этанол, глицерол, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводная (термически изолирующая) силиконовая жидкость, содержащая стекло, как, например, стекловолокна или стеклянные таблетки, и пропиленгликоль, и их сочетания. Каналы могут также содержать датчики температуры и/или давления.

В некоторых модификациях система труб может подсоединять модуль снабжения криогеном к одному или более инжекторам непосредственно или через центр распределения, соединяющего модуль снабжения криогеном и инжекторы. Можно использовать любой известный на сегодняшний день способ управления скоростью потока жидкого криогена, проходящего по трубам к инжектору (инжекторам) или инжекционному устройству (устройствам). Например, в некоторых модификациях инжекционные устройства могут иметь клапан, который регулирует скорость потока жидкого криогена в целях достижения нужной скорости потока и подачи жидкого криогена на сопло инжекционного устройства. В некоторых модификациях скорость потока жидкого криогена регулируется "дрессель"-газом, с давлением, превышающим или равным давлению жидкого криогена, с температурой выше температуры жидкого криогена и с точкой кипения, меньшей или равной температуре жидкого криогена, как это описывается в опубликованной патентной заявке США № 2008-0048047.

Модуль инжектора криогена может содержать однонаправленные клапаны для воспрепятствования попаданию жидкости из трубопровода через входы инжекционных модулей, когда блок находится в режиме ожидания или в нерабочем состоянии. Во время работы однонаправленные клапаны могут открываться и выпускать криоген непосредственно в жидкость в трубопроводе, как, например, в нефтяную скважину. Потому что давление криогена, вытекающего из инжекторов достаточно высоко, чтобы не впускать жидкость из трубопровода в инжекторы.

В некоторых модификациях инжекционные устройства могут иметь сопла, которые являются мерными соплами высокого давления. В некоторых модификациях инжекционные устройства могут создавать поток жидкого криогена в виде кумулятивной струи. Можно использовать любое современное и хорошо известное мерное сопло или инжекционное устройство, совместимое с криогенными веществами. Примеры мерных сопел и инжекционных устройств приводятся, например, в патентах США №№ 4095747; 4350027; 4789104; 5385025; 5527330; 5944686; 6070416; 6164078; 6363729 и 7740287 и опубликованных патентных заявках США №№ 2002-0139125 и 2008-0048047.

В некоторых модификациях инжектор инжекционного устройства может представлять собой полое сверло. При задействовании устройства полое сверло может использоваться для просверливания через обсадную колонну в трубопровод с жидкостью, например сырой нефтью. Полое сверло может присоединяться к модулю инжектору криогена, и полое сверло может служить в качестве инжектора для впрыска криогена в жидкость, например сырую нефть. В таких модификациях блок инжектора криогена может иметь дрель для приведения в действие полого сверла, используемого для пробития стенки обсадной колонны. В некоторых модификациях скорость тока криогена через инжекторы инжекционного устройства может регулироваться за счет настройки скорости тока криогена, направляемого в каналы, встроенные в райзеры или обсадные колонны. В модификациях, где полое сверло служит в качестве инжектора, модуль инжектора криогена может содержать дрель для того, чтобы ввести полое сверло через обсадную трубу в целях обеспечения контакта с жидкостью трубопровода. Дрель может быть составной частью модуля инжектора криогена или располагаться на расстоянии (удалении), но быть связанной с модулем инжектором криогена. Например, дрель может быть частью модуля инжектора криогена и устанавливаться на самом наружном слое обсадной трубы. В некоторых модификациях дрель может прикрепляться к обсадной трубе на постоянной основе и автоматически начинать сверление обсадной трубы сверлом для обеспечения контакта с жидкостью трубопровода, не меняя положения дрели. В некоторых модификациях дрель располагается перпендикулярно поверхности обсадной трубы, в которой должен будет находиться инжектор. Перпендикулярное расположение может уменьшить толщину прохождения обсадной трубы, которую полое сверло должно преодолеть. В некоторых модификациях, вследствие выпячивания, образованного при совместном использовании дрели и сверла, дрель может находиться в состоянии ожидания и не позиционироваться для проникновения сверла через обсадную трубу без перемещения. В некоторых модификациях вследствие выпячивания, образованного при совместном использовании сверла и дрели, полое сверло может находиться под косым углом, что может уменьшить объем выпячивания при совместном использовании сверла и дрели над самым внешним слоем обсадной трубы.

В других модификациях, где инжектор может присоединяться к трубам, которые используются в качестве линии подачи жидкого криогена к инжекторам от модуля снабжения криогеном, линия подачи криогена может содержать один и более клапанов, которые могут регулировать ток криогена между модулем снабжения жидким криогеном и инжекционным устройством (устройствами).

В соответствии с фиг. 9, которая иллюстрирует пример модификации модуля инжектора криогена 60, выходное отверстие 76 модуля снабжения криогеном 75 может соединяться с регулирующим клапаном 72, который регулирует ток жидкого криогена от модуля снабжения криогеном. Регулирующий клапан 72 может подсоединяться к входному порту 63, который может подсоединяться непосредственно

или через центр распределения 64, к линиям подачи L1-L4 и соответствующим соленоидным вентилям Lv1-Lv4 для обеспечения криогеном сопла N1-N4 инжекционного устройства 67. Сопла N1-N4 инжекционных устройств 67 впрыскивают криоген в жидкость 70 в трубопроводе. Так как трубы линий подачи L1-L4 могут уменьшаться в результате охлаждения, вызванного контактом с жидким криогеном, подаваемым модулем 75, то можно использовать любой метод, известный в настоящее время, препятствующий избыточным напряжениям на разрыв на трубах, как, например, трубы из пружинной стали, сжимающиеся стальные трубы, гофрированные стальные трубы, трубы из нержавеющей стали. В некоторых модификациях модуль снабжения жидким криогеном 75 может соединяться с модулем инжектором криогена 60 через изолированные трубы, как, например, при использовании изолированных труб в оболочке из высокоплотного полиэтилена, полиуретана и/или полиэфирной смолы, усиленной стекловолокном, труб с вакуумной рубашкой или двойной концентрической трубы с предварительно напряженным бетоном в качестве рубашки (например, смотри патенты США №№ 3530680; 3693665; 3865145 и 4219224).

Углеродистая сталь становится, в общем, хрупкой и теряет свою конструкционную прочность при криогенных температурах. Соответственно углеродистая сталь не является предпочтительным материалом для труб в модуле с инжекторами криогена. Трубы могут быть выполнены из нержавеющей стали, алюминия, меди или полимеров, совместимых с криогеном, таких как эпоксидные композиты, армированные волокном, и сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Системы труб или трубы могут быть из сплавов с более высоким фактором вязкого разрушения, чем у стали, и с фактором хрупкого излома, более низким, чем у стали. Приведенные сплавы описываются также в патентах США №№ 5352304; 6183573; 6212891; 7235212; 7648597 и 7727463.

Жидкий криоген, подаваемый с модуля снабжения жидким криогеном 75, поддерживается, как правило, при его точке кипения или близкой к ней при низкой температуре, и любой контакт с другими материалами с более высокой температурой приведет к передаче тепла с материала на жидкость, что, в свою очередь, приведет к выпариванию жидкости и понижению температуры материала. Поэтому жидкость обычно хранится в хорошо изолированных резервуарах и передается также по хорошо изолированным трубам. В некоторых модификациях модуль инжектора криогена 60 может иметь одно или более устройств контроля температуры 65.

Регулирующий клапан 72 и/или электромагнитные клапаны Lv1-Lv4 могут использоваться для регулирования тока жидкого криогена от модуля снабжения криогеном 75 к соплам и через сопла N1-N4 инжекционного устройства 67. Если выяснится, например, что все четыре сопла N1-N4 не нужны в данной операции замораживания и закупоривания, то один или более клапанов Lv1-Lv4 могут быть настроены на ограничение или остановку тока жидкого криогена через сопла инжекционных устройств. Электрический программируемый контроллер, например компьютерный модуль 55 (не показан на фиг. 9) с соответствующими аппаратными средствами и программным обеспечением может использоваться для управления открытием и закрытием клапана и последовательностью его действий. Компьютерный модуль 55 может соединяться с клапанами, панелью управления и опционально с дистанционными датчиками температуры/давления. Форма и скорость тока жидкого криогена из сопел инжекционных устройств в замораживаемую жидкость закупориваемого трубопровода могут регулироваться посредством различных сочетаний размера раскрытия сопла, скоростью тока и давлением в жидкости. Например, сопла или инжекторы из нержавеющей стали с большими диаметрами апертуры позволяют проходить через сопло большему количеству материала на заданной скорости, чем через сопла с меньшим диаметром раскрытия сопла.

Сопла N1-N4 инжекционных устройств 67 могут располагаться продольно и/или радиально на определенном расстоянии друг от друга вдоль трубопровода 2, чтобы в разных местах впрыскивать криоген в жидкость 70 в трубопроводе 2. Скорость тока криогена может регулироваться, например, регулирующим клапаном 72 и/или клапанами Lv1-Lv4 при прохождении криогена по линиям подачи L1-L4 и через сопла N1-N4 в жидкость. В некоторых модификациях сопла N1-N4 могут иметь изменяющуюся площадь отверстия. В некоторых модификациях каждое из инжекционных устройств 67 имеет сопло N, которое может быть подпружиненным, чтобы быть в закрытом положении, и может иметь подвижную пробку, которая изменяет площадь отверстия либо относительно давления жидкости, либо относительно противодавления жидкости. Например, можно использовать инжекционные устройства, подобные тем, что описаны в патенте США № 3815377. В некоторых модификациях сопло N может быть трубкой или трубкой, которая подает криоген в жидкость. В некоторых модификациях на одном конце трубы может располагаться сопло для подачи криогена в жидкость трубопровода. В некоторых модификациях инжектор или инжекционные устройства 67 не контактируют с жидкостью 70, но впрыскивают криоген в жидкость 70. Например, инжектор или инжекционные устройства 67 могут находиться в трубке или в трубе, или прикрепляться к трубопроводу 2 и отделяться клапаном 19, который препятствует проникновению жидкости 70 из трубопровода 2 в инжектор. При действии инжектора клапан 19 может открываться вручную или дистанционно, например, электрическим способом или через компьютерное управление, так что криоген может вводиться из инжектора в поток жидкости 70, избегая ввода инжектора в жидкость.

В некоторых модификациях каждое инжекционное устройство 67 имеет сопло N с отверстием, которое обычно смещено к замкнутому положению, а силу пружины можно установить таким образом, чтобы закрыть отверстие при предварительно определенном давлении. Например, если в качестве криогена используется жидкий азот, то силу пружины можно установить так, чтобы закрыть отверстие при давлении приблизительно в 30 фунт/кв.дюйм. Соответственно, когда регулирующий вентиль 72 открывается, чтобы пропустить жидкий криоген из модуля снабжения 75 в проводящие линии L1-L4, и давление превышает установленный порог давления, то отдельные сопла открываются, и начинается впрыскивание жидкого криогена в жидкость в трубопроводе. В некоторых модификациях инжекционные устройства 67 могут быть выполнены так, чтобы площадь отверстия увеличивалась постепенно с ростом давления, которое подается на устройства, как, например, при открывании и закрывании регулирующего вентиля 72 или любого из вентилях Lv1-Lv4. Инжекционные устройства 67, модулирующий вентиль 72 и вентили Lv1-Lv4 можно регулировать с компьютерного модуля 55.

В некоторых модификациях все криогенные инжекционные устройства 67 сконструированы так, чтобы все время работать одновременно. В некоторых модификациях каждое сопло N каждого инжекционного устройства 67 может регулироваться индивидуально, как, например, с помощью компьютерного модуля 55 или вручную посредством вентилях. Сочетание регулирующего вентиля 72 и компьютерного модуля 55 обеспечивает чрезвычайно эффективный путь сохранения температуры трубопровода в модуле в относительно точном диапазоне.

При работе жидкий криоген может подаваться по меньшей мере на одно инжекционное устройство, которое соприкасается с жидкостью трубопровода. Жидкий криоген при контакте с текущим веществом, например сырой нефтью или природным газом, абсорбирует тепловую энергию от жидкости и может превращаться в газ, который отводится с места соприкосновения с жидкостью. Количество жидкого криогена, подаваемого на инжекционное устройство (устройства) и, таким образом, на жидкость трубопровода, можно регулировать, например, при использовании компьютерного модуля 55, чтобы достигнуть нужной скорости охлаждения жидкости.

В некоторых модификациях расходомеры могут находиться в инжекционном устройстве (устройствах) или в трубах, или системах труб, которые подают криоген на инжекционное устройство (устройства) или в любом их сочетании. Расходомеры могут соединяться с компьютерным модулем. Данные с расходомеров могут использоваться для определения скорости тока криогена через систему, в частности через инжекционные устройства, и могут использоваться для регулирования скорости тока криогена через систему либо вручную, либо автоматически под управлением компьютера. Расходомеры могут находиться также на всем пути прохождения криогена от снабжающего модуля до точки выхода криогена из инжекторов в жидкость для определения скорости тока криогена через систему. В системе можно использовать любой известный на сегодняшний день расходомер. Расходомер может быть лопастным расходомером, турбинным расходомером, магнитным расходомером, оптическими датчиками, электромагнитными датчиками скорости, расходомерами, использующими силу инерции Кариолиса, тепловыми расходомерами, ультразвуковыми расходомерами или другими типами современных расходомеров, известных на сегодняшний день. Примеры современных расходомеров приведены в патентах США №№ 7730777; 7707898; 4934196; 4422338 и RE 31450 и в опубликованных патентных заявках 2009-0281671, 2005-0288873 и 2004-0244498.

В некоторых модификациях нагревательные блоки могут иметь тепловой контакт с инжекторами для регулирования температуры инжектора при работе.

С. Профилактическая криотермодинамическая система.

Здесь также представлена интегрированная профилактическая криотермодинамическая вентильная система CryoPlug для установки в трубопроводной линии скважины, такой как нефтяная скважина или газовая скважина для обратимого закупоривания скважины. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система монтируется непосредственно или опосредованно к корпусу или устью скважины. При обычном извлечении жидкости из скважины система неактивна и не охлаждает трубопровод, не впрыскивает криоген в жидкость в трубопроводе (можно считать, что она находится в состоянии ожидания) и криотермодинамическая вентильная система служит в качестве трубопровода для жидкости скважины. Если нужно остановить поток материала, проходящего по трубопроводу, то можно активировать криотермодинамическую вентильную систему для замораживания по меньшей мере части вещества, проходящего по трубопроводу, образуя обратимую пробку из замороженного материала, которая может остановить поток жидкости в трубопроводе. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит устройство передачи тепла, как было описано выше. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит модуль инжектора криогена, как было описано выше. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит устройство передачи тепла и модуль инжектора криогена, как было описано выше.

Интегрированная профилактическая криотермодинамическая вентильная система представляет собой систему, которая может включать криогенный термодинамический вентиль, который устраняет многими значительными способами ограничения известных на сегодняшний день технологий изолирования посредством давления криогенного замораживания, включая улучшенные экономические показатели

(значительно меньшие затраты по сравнению с обычными вентилями), демонстрируя очень малые требования к техобслуживанию, будучи установленной в профилактических целях, будучи установленной в линии вместе с обсадной колонной или другим трубопроводом, не влияет на поток, если не задействована, быстро начинает процесс контроля потока при полном задействовании, способна попеременно управлять потоком, возможность установки над или под землей или использоваться на воде, включая глубоководное применение и способна выдерживать многократные циклы замораживания-оттаивания без необходимости замены после каждого активирования.

В патенте США № 3631870 утверждается, что проблему остановки жидкого потока в трубопроводе можно решить, если в трубопроводе устанавливается средство, такое как вентиль для отсекания потока жидкого вещества. В патенте утверждается, что пробка может быть образована в трубопроводе при введении гелеобразующего агента. В патенте США № 4370862 описано формирование ледяной пробки в трубопроводе при замораживании воды в трубопроводе, которая сохраняется в статическом состоянии. В патенте США № 5125427 утверждается, что формирование пробки в трубопроводе посредством замораживания, как, например, впрыскивание воды в трубопровод и затем замораживание воды на месте содержит в себе ряд проблем, включая необходимость избыточного количества замораживаемого вещества для формирования пробки, подтверждая тем самым, что потребуется много часов и даже дней для формирования пробки из воды в трубопроводах большого диаметра. Данным известным в уровне техники способом не хватает эффективного теплоотвода для эффективной передачи тепла от жидкости на теплоотводящее устройство. Устройства, системы и методы, описываемые здесь, обеспечивают эффективный теплоотвод от жидкости в трубопроводе, что приводит к быстрому формированию замерзшей пробки из жидкости.

Рассмотренные здесь термодинамические ventили не требуют точной обработки или других высокозатратных методов прецизионной обработки. При крупносерийном производстве стоимость данного устройства с учетом монтажа была бы немного больше, чем стоимость окружающих его секций труб, но незначительной по сравнению с затратами на дополнительные шаровые ventили большого диаметра или противовыбросовые превенторы. Указанные здесь устройства и системы могут иметь свойства, которые позволяют осуществлять дистанционное активирование при их нахождении под водой, под землей или в случае "запечатывания" в бетон. Устройства и системы могут быть введены в обсадную трубу и забетонированы на месте применения при относительно низкой дополнительной стоимости.

Приведенные здесь устройства, системы и методы выполнены, в общем, таким образом, чтобы не иметь никаких деталей, которые выступали бы в канал с имеющимся там потоком и, таким образом, установке теплообменника и/или криотермодинамического вентильного устройства не будут мешать всевозможные скребки, которые проходят по трубам и трубопроводам изнутри, чтобы отделить от них осадок, выполнить контроль и чистку внутренней поверхности трубы. Так как любое выпирание в обсадную колонну или трубы, в общем, неприемлемо, то приведенные здесь теплообменники и/или криотермодинамические вентильные устройства избегают недостатков современных устройств.

Устройства, системы и методы, описываемые здесь для обеспечения профилактической криотермодинамической вентильной системы, предназначены для формирования пробки в любом месте трубопровода. Например, инжектор может располагаться так, что при задействовании криоген впрыскивается в целях формирования замерзшей пробки в эксплуатационной насосно-компрессорной колонне. В некоторых модификациях инжектор может располагаться так, что при задействовании криоген впрыскивается в целях формирования замороженной пробки в кольцевом пространстве между эксплуатационной насосно-компрессорной колонной и эксплуатационной колонной обсадных труб над нефтедобывающей зоной, как, например, в случае выброса пакера. Выброс пакера может произойти в результате повреждения пакера, установленного в эксплуатационной скважине и предназначенного для герметизации кольцевого пространства между эксплуатационной обсадной колонной и эксплуатационной насосно-компрессорной колонной над нефтедобывающей зоной. Если произойдет выброс пакера, то поток будет вытекать неконтролируемо из скважины через эксплуатационную обсадную колонну снаружи от эксплуатационной насосно-компрессорной колонны. Посредством формирования замороженной пробки в кольцевом пространстве можно предотвратить вытекание из скважины через эксплуатационную колонну обсадных труб. В некоторых модификациях инжекторы могут располагаться таким образом, чтобы впрыскивать криоген в эксплуатационную обсадную колонну и в кольцевое пространство между эксплуатационной насосно-компрессорной колонной и эксплуатационной колонной обсадных труб.

Описываемые здесь устройства, системы и методы преодолевают многие недостатки современной технологии контроля выброса из скважины, трубопровода. В устройствах, системах и методах, приведенных здесь, нет необходимости в изолировании, отводе, перенаправлении или остановке потока жидкости в трубопроводе или трубах. Описываемые здесь устройства, системы и методы могут формировать пробку в текущей среде, проходящей по трубопроводу или трубам. Таким образом, перед использованием описываемых здесь устройств, систем и методов не требуются дополнительные механизмы для отвода или остановки потока жидкости в трубопроводе. Как обсуждалось более подробно в Примерах, при натуральных демонстрациях 1" (1-дюймовая) вертикально установленная криотермодинамическая вентильная аппаратура заморозила сырую нефть, текущую со скоростью 10 фут/с, и при натуральных демонстрациях

3,25-дюймовая горизонтальная аппаратура заморозила сырую нефть, текущую со скоростью 2,5 фут/с.

Описываемые здесь устройства, системы и методы преодолевают многие другие недостатки современных устройств. Например, патент США № 3738424 описывает метод контроля выбрасывания нефти. Патент США № 3738424 уделяет особое внимание, в частности, контролю выбросов нефтяных скважин в прибрежной зоне. После установки промежуточной колонны обсадных труб в скважине, к внешней поверхности самой крайней колонны привариваются вентили с привлечением водолазов, которые выполняют сварочные работы под водой. У каждого вентиля имеется буровое сверло для просверливания отверстия в различных слоях колонны в случае протекания после начала производственных операций. После того, как будет просверлено отверстие через слои колонны в непосредственной близости от каждого вентиля, буровое сверло удаляется из вентиля, и к вентилям подводятся трубы для циркулирующего жидкого азота. Жидкий азот циркулирует, соприкасаясь с эксплуатационной обсадной колонной, чтобы сформировать в ней твердую замороженную пробку. В описываемых здесь устройствах, системах и методах криотермодинамические вентиляльные устройства могут использовать вентили, управляемые дистанционно или вручную, которые вводят хладагент или криоген в блок теплообменника или в инжекционный блок, или в оба сразу. Описываемый здесь криотермодинамический вентиль может использоваться для регулирования потока жидких или газообразных текущих сред в трубопроводе посредством отверждения по меньшей мере части жидкости в трубопроводе или посредством создания высоковязких текущих сред. Описываемый здесь криотермодинамический вентиль может прикрепляться на трубопроводе на постоянной основе в системе или быть прикрепляемым устройством, как описывается в данном документе.

Патент США № 3857255 описывает устройство, предназначенное для окружения трубы криогеном. Патент не описывает очень эффективное устройство передачи тепла. Простое разбрызгивание криогена на теплую трубу не приводит к эффективному отводу тепловой энергии с трубы. Описываемые здесь устройства и системы устраняют этот недостаток эффективного теплообмена. В описываемых здесь устройствах, системах и методах криотермодинамические вентиляльные устройства могут содержать наполнитель, стружки, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в пространстве между внутренними стенками теплообменника. Теплопроводные наполнитель, стружки, шавинги, таблетки или бусинки уменьшают эффект Лейденфроста, в частности, в жидком криогенном веществе, таком как жидкий аргон, азот, гелий, кислород или сжатый газ. Эффект Лейденфроста представляет собой явление, наблюдаемое в жидкостях, контактирующих с массой, значительно более горячей, чем точка кипения жидкости. Когда жидкость находится в непосредственной близости от массы, значительно более горячей, чем точка кипения жидкости, то жидкость закипает и образует изолирующий слой пара, который удерживает жидкость от быстрого закипания. Включение наполнителя, стружек, шавингов, таблеток или бусинок из теплопроводного металла уменьшает эффект Лейденфроста. Дополнительным преимуществом является увеличение площади поверхности теплопередачи в теплообменнике и уменьшение количества криогена, необходимого для заполнения теплообменника. Наполнитель, стружки, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике, по отдельности или в сочетании с теплопроводными ребрами, прикрепленными к трубопроводу и проходящими через полости теплообменника и образующими тепловую связь с наполнителями, стружками, шавингами, таблетками или бусинками из теплопроводного металла в теплообменнике, могут служить в качестве очень эффективного теплоотвода при отводе тепловой энергии из жидкости в трубопроводе, обеспечивая тем самым формирование замороженной пробки из жидкости, не прибегая к отводу или остановке потока жидкости, проходящего по трубопроводу. Для повышения эффективной длины теплообменника можно создать цепочку из еще одного или более теплообменников, таким образом увеличивая длину теплоотвода.

В некоторых модификациях криотермодинамический вентиль может задействоваться дистанционно. Этого можно быстро достичь при обеспечении подходящим источником криогена. При надводном применении, где очень быстрое задействование вентиля потребуется, например, при бурении, жидкий криоген может быть обеспечен на месте с использованием сосуда (сосудов) Дьюара, находящегося под давлением, или танкера (цистерны). Чтобы криогенные холодильные системы могли бы избавиться от необходимости переходящего запаса сжиженных газов для подводного применения или если работы проводятся длительное время, можно было бы предусмотреть криогенную холодильную технологию с использованием электрически задействуемого вентиля. В качестве альтернативы сосуда Дьюара можно было бы иметь в резерве на централизованной базе хранения и транспортировать к месту нахождения криогенного вентиля либо на грузовой машине, либо на вертолете.

Ток криогена в теплообменник и/или инжектор криогена можно регулировать, например, в целях обеспечения испарения жидкого криогена в ответ на отдачу тепла трубопровода или жидкости в трубопроводе, при этом пар выводится из теплообменника через выводные порты, а в трубопроводе самой проходящей жидкостью. Поток криогена можно увеличивать или уменьшать и регулировать для восполнения испаряемого криогена. Скорость и частота, на которой криоген может вводиться в теплообменник и/или в инжектор криогена, может быть определена специалистами в данной области, исходя, например, из температуры теплообменника или проходящей жидкости трубопровода. Эту функцию можно выполнять вручную или автоматически с помощью температурного датчика, который может быть соединен с

компьютерным модулем. В некоторых модификациях в теплообменник можно впрыскивать дополнительный криоген для пополнения жидкого криогена, который испарился при повышении температуры теплообменника до предварительно определенной температуры, как указывалось датчиком, имеющим тепловую связь с внутренним пространством теплообменника.

Все компоненты криотермодинамической вентиляльной системы могут быть изготовлены из материала, который совместим с криогенными веществами. Например, система может состоять из материала, который относительно нечувствителен к низким температурам и ожидаемым давлениям. Примеры материалов, которые в достаточной мере противостоят ожидаемым температурам и давлениям жидкого криогена включают, но не ограничиваются этим, сталь, стекловолокно, графит, пластики, углеродные волокна и их сочетания. Например, легированные стали, в частности стали, содержащие Cr, Ni или Si, могут быть с высоким фактором вязкого разрушения и низким фактором хрупкого излома. Сплавы с фактором вязкого разрушения, более высоким, чем у стали, и фактором хрупкого излома, более низким, чем у стали, сегодня хорошо известны. Примеры таких сплавов приводятся в патентах США №№ 5352304; 6183573; 6212891; 7235212; 7648597 и 7727463.

Теплообменник находится в тепловом контакте с металлическим трубопроводом, который должен закупориваться при задействовании системы, а модуль инжектора криогена может располагаться таким образом, чтобы при задействовании иметь контакт с жидкостью в трубопроводе. В некоторых модификациях модуль инжектора интегрируется в теплообменник. В некоторых модификациях теплообменник и модуль инжектора криогена могут быть в непосредственной близости друг от друга или могут быть на некотором расстоянии друг от друга. В модификациях, где теплообменник и модуль инжектора криогена криотермодинамической вентиляльной системы находятся в непосредственной близости друг от друга, они могут быть объединены друг с другом, используя соответствующие современные средства соединения. В некоторых модификациях отдельные блоки содержат фланцы, которые могут использоваться для соединения теплообменника с модулем инжектором криогена. Фланец может иметь любой выступающий край, кромку, ребро или буртик, или их сочетание, а также крепежные средства для крепления фланца теплообменника к фланцу модуля инжектора криогена. В некоторых модификациях блоки могут соединяться посредством приваривания одного блока к фланцу другого блока в целях объединения блоков. В некоторых модификациях фланец одного блока может присоединяться к фланцу другого блока, используя крепежные средства, как, например, винтовое, болтовое и гаечное соединение, клепочное соединение, байонетное соединение, крепежные лапки или любое их сочетание. В некоторых модификациях один блок, как, например, теплообменник, может иметь наружную резьбовую часть, которая ввинчивается в соответствующую внутреннюю резьбовую часть другого блока, например модуля инжектора криогена таким образом, что оба блока соединяются друг с другом посредством винтового соединения. В некоторых модификациях сальники, как, например, уплотнительные кольца, устанавливаются между теплообменником и модулем инжектором криогена для обеспечения водо- и/или воздухонепроницаемости. Сальники могут быть выполнены из любого известного современного материала, совместимого с ожидаемыми температурами и давлениями при работе криотермодинамической вентиляльной системы.

В некоторых модификациях криотермодинамическая вентиляльная система CryoPlug имеет теплообменник. Теплообменник может быть любого диаметра или длины. Выбор диаметра и длины теплообменника может быть задан заранее в зависимости от размеров трубопровода, к которому прикрепляется блок, и с которого теплообменник снимает тепловую энергию, и показаний скорости потока жидкости, проходящей по трубопроводу.

Теплообменник может быть любого диаметра и длины. Выбор диаметра и длины теплообменника может быть задан заранее в зависимости от размеров трубопровода, к которому прикрепляется блок, и с которого теплообменник снимает тепловую энергию, и показаний скорости потока жидкости, проходящей по трубопроводу, или их сочетания. Например, внешний диаметр трубы, встречающийся во многих применениях в скважинах, может варьироваться от 1 дюйма до 500 дюймов или более. Длина одного райзера или трубы может варьироваться в некоторых применениях от 5 до примерно 100 футов или более, и много райзеров и труб могут быть взаимосвязаны, что приводит в результате к тому, что трубопровод может растянуться на многие тысячи футов и миль. Обычный теплообменник может иметь длину, которая может иметь размер любой части райзера или трубы, включая 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 или 99%. В некоторых модификациях теплообменник имеет длину в 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 футов или длину между 2 и 5000 футами.

Можно использовать два и более теплообменника, соединенных последовательно, чтобы увеличить эффективную длину теплообменника. Если к трубопроводу подсоединяются несколько теплообменников, то теплообменники могут быть объединены друг с другом таким образом, что хладагент проходит от одного теплообменника к следующему перед выходом из системы. В некоторых модификациях каждый теплообменник может быть подсоединен к своему собственному отдельному модулю снабжения хладагентом или криогеном.

Внутренний размер теплообменника, в общем, приблизительно равен размеру трубопровода, к ко-

тому он прикрепляется и с которым он находится в тепловой связи. В некоторых модификациях внутренний размер теплообменника такой же, что и у трубопровода, т.к. трубопровод образует внутренний размер теплообменника. В некоторых модификациях теплообменник имеет внутренний трубопровод, который является трубопроводом, несущим, транспортирующим или передающим жидкость при присоединении к другим трубопроводам или трубам (системам труб); и внешний трубопровод большего диаметра или размера, чем внутренний трубопровод, так что между внутренним трубопроводом и внешним трубопроводом образуется пространство или канал. Размер внешнего трубопровода выбирается таким образом, чтобы обеспечить канал для заполнения теплопроводным материалом в виде волокон, нитей, наполнителей, тюрнингов, шипов, шавингов, таблеток, шариков, микрошариков, бусинок или их фрагментов, через которые проходит хладагент или криоген, когда циркулирует по теплообменнику.

Размер частиц и распределение волокон, нитей, наполнителей, тюрнингов, шипов, шавингов, таблеток, шариков, микрошариков, бусинок или их фрагментов из теплопроводного материала может выбираться таким образом, чтобы регулировать заполняемое пространство или количество, размер и распределение пустого пространства в канале, через который проходит хладагент или криоген. Расположение частиц зависит от характерной особенности материалов, исходя из размера, формы и распределения размеров частиц. Равномерное распределение частиц по размеру может привести к равномерному или по большей части равномерному распределению свободных областей наряду с поддержанием близкого контакта между частицами. Чтобы уменьшить количество, размер или распределение пустот, сформировавшихся частицами в теплообменнике, могут быть выбраны материалы с распределениями размеров частиц, которые содержат некоторое количество частиц с размером, позволяющим заполнить пустоты, создаваемые частицами смеси большего размера, тем самым позволяя выбрать различные характеристики потока в устройстве. Доступны математические модели для создания смесей материалов с применением мультимодальной смеси материалов. Частицы могут быть упакованы в теплообменник с использованием любого известного в уровне техники метода, включая, например, заливку частиц в устройство или равномерное распределение частиц как при использовании загрузчика частиц, как описано в патенте США № 5324159.

Внутренний размер теплообменника может быть между 1 и 500 дюймами и более. В некоторых модификациях теплообменник имеет теплопроводную поверхность 11, которая находится в тепловом контакте с трубопроводом, к которому прикреплен теплообменник. Внутренний размер теплопроводной поверхности 11 таков, что она находится в тепловом контакте с трубопроводом, от которого отводится тепло. Следовательно, специалист может выбрать соответствующий внутренний размер теплопроводной поверхности 11, исходя из внешнего размера трубопровода, к которому присоединен теплообменник. В качестве примера, в одной модификации, где трубопровод является трубой с внешним диаметром приблизительно в 3 дюйма, диаметр теплопроводной поверхности выбирается таким образом, чтобы она прилегала к внешней поверхности трубопровода и имела тепловую связь с трубопроводом, как, например, с внутренним диаметром в 3 дюйма.

Внешний диаметр теплообменника может быть любым в зависимости от канала между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника. Например, внешний диаметр теплообменника может выбираться таким образом, чтобы получаемый в результате канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имел ширину примерно между 0,05 и 500 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,1 и 100 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,2 и 50 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,4 и 40 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,5 и 30 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,6 и 25 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,1 и 10 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,8 и 8 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 0,5 и 5 дюймами. В некоторых модификациях канал, образуемый между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, имеет ширину примерно между 1 и 4 дюймами. В некоторых модификациях ширина канала в теплообменнике составляет примерно 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 2,9; 3,0; 3,1; 3,2; 3,3; 3,4; 3,5; 3,6; 3,7; 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2; 4,3; 4,4; 4,5; 4,6; 4,7; 4,8; 4,9; 5,0; 5,1; 5,2; 5,3; 5,4; 5,5; 5,6; 5,7; 5,8; 5,9; 6,0; 6,1; 6,2; 6,3; 6,4; 6,5; 6,6; 6,7; 6,8; 6,9; 7,0; 7,1; 7,2; 7,3; 7,4; 7,5; 7,6; 7,7; 7,8; 7,9; 8,0; 8,1; 8,2; 8,3; 8,4; 8,5; 8,6; 8,7; 8,8; 8,9; 9,0; 9,1; 9,2; 9,3; 9,4; 9,5; 9,6; 9,7; 9,8; 9,9; 10,0; 10,5; 11; 11,5; 12; 12,5; 13; 13,5; 14; 14,5; 15; 15,5; 16; 16,6; 17; 17,5; 18; 18,5; 19; 19,5; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47;

48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81; 82; 83; 84; 85; 86; 87; 88; 89; 90; 91; 92; 93; 94; 95; 96; 97; 98; 99; 100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 230; 240; 250; 260; 270; 280; 290; 300; 310; 320; 330; 340; 350; 360; 370; 380; 390; 400; 410; 420; 430; 440; 450; 460; 470; 480; 490 или 500 дюймов.

В некоторых модификациях внешний размер теплообменника выбирается таким образом, чтобы ширина канала, образуемого между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляла примерно от 10 до 500% от внутреннего диаметра теплообменника. Например, в модификациях, где трубопровод представляет собой трубу, а внутренний диаметр теплообменника, прикрепленного к трубе, составляет 5 дюймов, внешний размер теплообменника может быть примерно между 5,5 и 25 дюймами, образуя канал шириной примерно между 0,5 и 20 дюймами.

В некоторых модификациях внешний размер теплообменника выбирается таким образом, чтобы ширина канала, образуемого между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, была примерно от 10 до 300% от внутреннего диаметра теплообменника. Например, в модификациях, где трубопровод представляет собой трубу, а внутренний диаметр теплообменника, прикрепленного к трубе, составляет 5 дюймов, внешний размер теплообменника может быть примерно между 5,5 и 15 дюймами, образуя канал шириной примерно между 0,5 и 10 дюймами.

В некоторых модификациях внешний размер теплообменника выбирается таким образом, чтобы ширина канала, образуемого между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, была примерно от 10 до 150% от внутреннего диаметра теплообменника. Например, в модификациях, где трубопровод представляет собой трубу, а внутренний диаметр теплообменника, прикрепленного к трубе, составляет 5 дюймов, внешний размер теплообменника может быть примерно между 5,5 и 12,5 дюймами, образуя канал шириной примерно между 0,5 и 7,5 дюймами. В качестве примера в модификациях, где трубопровод представляет собой трубу, а внутренний диаметр теплообменника, прикрепленного к трубе, составляет 10 дюймов, внешний размер теплообменника может быть примерно между 11 и 25 дюймами, образуя канал шириной примерно между 1 и 15 дюймами. В некоторых модификациях внешний размер теплообменника выбирается таким образом, что ширина канала, образуемого между внутренней поверхностью и внешней поверхностью теплообменника, составляет примерно от 25 до 100% от внутреннего диаметра теплообменника.

В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит модуль инжектора криогена. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит теплообменник и модуль инжектора криогена. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит модуль инжектора криогена, но не содержит теплообменник. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система содержит инжектор криогена, интегрированный в теплообменник.

В модификациях криотермодинамической вентильной системы, которая содержит теплообменник и модуль инжектора криогена, система может собираться в любой конфигурации. В некоторых модификациях при установке на трубопровод, который содержит или будет содержать жидкость, один или более модулей инжекторов криогена могут располагаться в непосредственной близости от источника жидкости, текущей по трубопроводу, а теплообменник может располагаться после модуля инжектора криогена относительно источника жидкости. В некоторых модификациях модуль инжектора криогена может содержать инжекторы, которые разнесены по длине одного или длинам нескольких обсадных колонн райзера. Например, можно сконфигурировать одну или более обсадных колонн, чтобы установить инъекционные устройства модуля инжектора криогена.

В некоторых модификациях криотермодинамической вентильной системы, система содержит теплообменник с хладагентом. Теплообменник может иметь теплопроводную поверхность, которая может компоноваться таким образом, что находится в непосредственном тепловом контакте с внешней поверхностью охлаждаемого трубопровода. В некоторых модификациях охлаждаемый трубопровод формирует внутреннюю поверхность теплообменника и является теплопроводной поверхностью. Теплопроводная поверхность теплообменника имеет теплопроводный материал. Можно использовать любой современный материал, известный специалисту. Примерами таких материалов являются медь, латунь, бериллий, кадмий, кобальт, хромоникелевая сталь, золото, серебро, иридий, железо, свинец, магний, молибден, никель, платина, олово, цинк, углеродистая сталь, нержавеющая сталь и любые их сплавы. В некоторых модификациях теплообменник или его теплопроводная поверхность содержит один металлический проводник. В некоторых модификациях теплообменник или его теплопроводная поверхность содержит несколько (множество) металлических проводников. В некоторых модификациях проводники тепла могут состоять главным образом из чистой меди, медных сплавов, главным образом, из чистого алюминия, алюминиевых сплавов, главным образом, из чистого серебра, сплавов серебра, главным образом, из чистого золота и сплавов золота и их смеси.

В некоторых модификациях теплообменник может иметь направляющие перегородки, которые выполнены таким образом, чтобы направлять поток криогена или хладагента в теплообменнике. Направляющие перегородки могут быть любой конфигурации и конструкции, подходящей для регулирования тока хладагента или криогена по теплообменнику. Направляющие перегородки могут быть перпендику-

лярны трубопроводу или располагаться под любым углом к трубопроводу. Направляющие перегородки могут быть одинаковой длины или разной длины для создания кольцевого маршрута для потока хладагента или криогена по теплообменнику. В некоторых модификациях направляющие перегородки могут располагаться по спирали вокруг трубопровода или труб в теплообменнике.

В модификациях, где трубопровод располагается горизонтально и параллельно относительно земли, теплообменник может иметь направляющие перегородки, которые регулируют поток хладагента или криогена по нижней стороне теплообменника на расстоянии от трубопровода вследствие воздействия сил гравитации на криоген или хладагент. Направляющие перегородки в теплообменнике могут располагаться вдоль внутренней стенки теплообменника напротив поверхности трубопровода, образуя, тем самым, камеры. При вводе криогена или хладагента в теплообменник конфигурируемый таким образом криоген или хладагент может течь в теплообменник, заполняя первую камеру и приводя криоген или хладагент на тепловую связь с трубопроводом перед тем, как перейти в следующую камеру, несмотря на влияние какой-либо силы гравитации на жидкость вследствие горизонтального положения трубопровода и прикрепленного теплообменника. Затем заполняется следующая камера криогеном или хладагентом, направляя его вверх к трубопроводу, пока не заполнится камера, и процесс продолжается до тех пор, пока теплообменник не заполнится хладагентом или криогеном, и пока хладагент или криоген не начнет вытекать из выходной трубы.

В конфигурациях, где трубопровод располагается перпендикулярно относительно земли, направляющие перегородки могут использоваться для направления хладагента или криогена таким образом, чтобы свести к минимуму любые "мертвые" зоны (зоны, лишённые контакта хладагента или криогена с трубопроводом) в теплообменнике. Направляющие перегородки могут располагаться в любой конфигурации. В некоторых модификациях направляющие перегородки могут располагаться вдоль внутренней стенки теплообменника для образования спирали от входного порта до выходного порта, чтобы направлять вещества к поверхности трубопровода. В некоторых модификациях направляющие перегородки могут разделять внутреннее пространство теплообменника. В некоторых модификациях направляющие перегородки могут использоваться для создания отдельных камер параллельно трубопроводу, а многочисленные входные порты могут использоваться для ввода хладагента или криогена в днище (т.е. совсем близко к основанию) каждой камеры, и вещество течет от днища камеры вверх камеры, выходя из одного или более портов.

В некоторых модификациях теплообменник содержит или заполняется наполнителями, тюрнингами, шавингами, таблетками или бусинками из теплопроводного металла, и хладагент или криоген проходит через теплообменник, просачиваясь при этом через наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла. Тепло снимается с наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусинок и передается на криоген или хладагент, затем абсорбированное тепло может выводиться из теплообменника.

В некоторых модификациях теплообменник может иметь теплопроводные ребра, прикрепляемые к трубопроводу или трубам. Теплопроводные ребра могут располагаться в любом месте вблизи или в тепловом контакте с трубопроводом для увеличения поверхности теплопередачи теплообменника, обеспечивая тем самым более быструю передачу тепловой энергии трубопровода и его содержимого на теплообменник, включая криоген или хладагент и/или охлажденные наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике. В некоторых модификациях теплопроводные ребра находятся в тепловом контакте с трубопроводом, облегчая тем самым отдачу энергии с трубопровода на криоген или хладагент и охлажденные наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике. Наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусинки из теплопроводного металла в теплообменнике увеличивают площадь поверхности и могут проводить поток жидкости или вызывать турбулентность, которая может повысить эффективность передачи тепла.

Наполнитель, тюрнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводного металла в теплообменнике, по отдельности или в сочетании с теплопроводными ребрами, расположенными в любом месте вблизи или находящимися в тепловом контакте с трубопроводом, с криогеном или хладагентом, проходящим через или регенерируемым и рециркулируемым через теплообменник, обеспечивают теплоотвод в теплообменнике. Вследствие теплоемкости охлажденных наполнителей, тюрнингов, шавингов, таблеток или бусин из теплопроводного металла в теплообменнике и большой площади поверхности контакта, обеспечивающей быстрый обмен тепловой энергией (теплоотвод) от трубопровода и находящейся там жидкости, тепловая энергия быстро абсорбируется и удаляется из системы труб (трубопровода) и от находящейся там жидкости со скоростью, достаточной, для замораживания жидкости в системе труб или трубопроводе.

В некоторых модификациях теплообменник может иметь один или более нагревательных каналов, которые проходят по части длины или по всей длине теплообменника. Нагревательный канал(ы) можно использовать для ввода жидкости, такой как газ или жидкость, с температурой, превышающей температуру замороженной пробки, в целях передачи энергии тепла на замороженную пробку, и таким образом расплавляя по меньшей мере часть пробки. Поток жидкости через нагревательный канал поддерживают

на скорости, предотвращающей замерзание нагреваемой жидкости. В некоторых модификациях нагретый газ прокачивается через нагревательный канал (каналы).

В некоторых модификациях нагревательный канал (каналы) может содержать средства нагрева канала для обеспечения нагрева односторонне или направленно на пробку из замерзшей жидкости, формируемой в трубопроводе. Это направленное применение обеспечивает направленное плавление пробки, как, например, для образования канала в пробке, по которому может проходить жидкая жидкость. Это препятствует запуску замороженной пробки по трубопроводу и обеспечивает контролируемое восстановление потока по трубопроводу. В некоторых модификациях нагревательный канал представляет собой трубопровод или трубу, находящуюся в тепловой связи с трубопроводом или трубами. В некоторых модификациях нагревательный канал находится в стене трубы или трубопровода, как, например, при использовании прецизионной обработки нагревательного канала.

Средства нагрева нагревательного канала могут быть любыми современными нагревательными устройствами, известными на сегодняшний день. Например, один или более дискретных, разнесенных нагревательных устройств, таких как описывается в патенте США № 4849611, могут располагаться по всему каналу, при этом обеспечивая направленную тепловую энергию, прикладываемую к трубопроводу, расположенному рядом с замороженной пробкой, находящейся в нем. Другие нагревательные устройства также могут находиться в канале, как, например, нагреватели Кюри, описываемые в патенте США № 7461691, или нагреватели с ограничением температуры, как описывается в патентной публикации США № 2005-0092483, или нагревательные источники типа проводник в трубопроводе, как описывается в опубликованной патентной заявке США № 2004-0020642, или ленточные нагреватели, как описывается в патенте США № 3793716, или резистивные ленточные нагреватели, как описывается в патенте США № 4238640. Другие нагревательные элементы, которые можно использовать для нагрева нагревательного канала, представлены в патентах США №№ 7066730; 4238640; 3971416 и 3814574. Другие примерные нагревательные устройства, которые могут располагаться в нагревательном канале, могут быть керамическими нагревателями с положительным тепловым коэффициентом, толстопленочными керамическими нагревателями, нагревательными элементами с проволокой с высоким сопротивлением или лентой с высоким сопротивлением, такие как те, которые содержат никелевые сплавы, такие как Нихром (Nichrome) 80/20 или Купроникель (CuNi) или сплавы FeCrAl, такие как кантал. Нагревательные устройства с проволокой с высоким сопротивлением или лентой с высоким сопротивлением могут быть заключены в керамический изоляционный связующий материал, (как, например, TiO₂, MgO, диатомовая земля или глинозем или их сочетания). Имеются коммерческие модификации таких нагревательных устройств (нагреватели Calrod™), которые должны конфигурироваться таким образом, чтобы соответствовать размеру и форме нагревательного канала.

Нагревательный канал может конфигурироваться таким образом, чтобы быть в тепловой связи с трубопроводом, но быть изолированным по теплу от теплообменника. Например, часть нагревательного канала, направленного к теплообменнику, может отделяться от него при использовании нетеплопроводного материала. Можно использовать любой современный нетеплопроводный материал, известный специалистам. Примерами материалов с низкой теплопроводностью могут служить акриловое стекло, битум, цемент, глину, бетон, кориан с керамическим наполнением, кора пробкового дерева, хлопчатобумажная изоляция, диатомовая земля, эпоксидная смола, стекловолокно, пеностекло, стеклянные таблетки или бусинки, штапельное стекловолокно, гипс, магнезит, магнезиальный теплоизоляционный материал, минеральная изоляция, нейлон, перлит, изоляция из пенопласта, пенополистирол, полиуретан, фарфор, PTFE (политетрафторэтилен), поливинилхлорид, пирекс, песок, кварцевый аэрогель, стирофом, пенополиуретан, вермикулит, сложный виниловый эфир и их сочетания и твердотельные теплоизоляторы, как, например, нитрид кремния (Si₃N₄), силикат кальция, кварцевая керамика низкой плотности и высокой чистоты, пористый оксид алюминия, боросиликатное стекло, кварцевый аэрогель, керамический композиционный материал/стеклокомпозит, волокнистое тугоплавкое теплозащитное покрытие, аэрогель на основе полиуретана, графит, муллит, силиконовые полимеры со стеклянным наполнителем или их сочетания.

В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система CryoPlug может содержать теплообменник и модуль инжектора криогена, которые полностью интегрированы и подсоединены к части трубопровода и конфигурированы так, чтобы стыковаться с трубопроводной линией скважины, такой как обсадная труба или эксплуатационная система труб. В некоторых модификациях трубопровод криотермодинамической вентильной системы имеет внешнюю резьбу на одном конце трубопровода и внутреннюю резьбу на другом конце трубопровода, резьба которого соответствует резьбе трубопровода трубопроводной линии скважины. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система имеет фланцы, которые могут использоваться для подсоединения криотермодинамической вентильной системы к трубопроводу трубопроводной линии скважины. Можно использовать любое современное соединительное средство для интеграции криотермодинамической вентильной системы в трубопроводную линию скважины. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система может конфигурироваться так, чтобы монтироваться к устью скважины. В некоторых модификациях криотермодинамическая вентильная система может устанавливаться на обсадной трубе или эксплуата-

ционной системе труб.

В модификациях, в которых криотермодинамическая вентильная система включает и интегрируется на трубопроводе, трубопровод может иметь плакирование на наружной стороне для облегчения передачи тепла в зоне применения блока передачи тепла. Для плакирования можно использовать любой современный материал, известный специалистам. Примеры таких материалов включают медь, латунь, бериллий, кадмий, кобальт, хромоникелевую сталь, золото, серебро, иридий, железо, свинец, магний, молибден, никель, платина, олово, цинк, нержавеющей сталь и любые их сочетания или сплавы. В некоторых модификациях плакирование может быть из меди или сплава меди, или алюминия, или алюминиевого сплава. В некоторых модификациях плакирование обеспечивается, главным образом, материалами из чистой меди, медного сплава, главным образом, из чистого алюминия, алюминиевого сплава, главным образом, из чистого серебра, сплава серебра, главным образом, из чистого золота и сплава золота и их смесей и их сочетаний.

Хладагент, поступающий из модуля подачи хладагента 50, нагревается при контакте с трубопроводом 70. В некоторых конструктивных исполнениях нагретый хладагент выпускают в окружающую среду. Пример такой конструкции приведен на фиг. 10. Как показано на фиг. 10, нагретый хладагент выпускают из установки через выпускное отверстие 13, которое соединено с выпускной трубой 68 через вентиль 19. Вентиляционная труба 68 может оборудоваться подогревателем 69 для подогрева выпускаемого газа до температуры окружающей среды с целью уменьшения или предотвращения образования льда вокруг трубы 68 или на ней самой.

В некоторых конструктивных исполнениях нагретый хладагент можно вернуть обратно в модуль подачи хладагента 50. Пример такой конструкции показан на фиг. 11. Как видно из фиг. 11, нагретый хладагент из теплообменника 10 выходит через выпускное отверстие 13, которое соединено возвратной линией с модулем подачи хладагента 50. Возвратная линия может оборудоваться вентиляем 19 для регулировки потока нагретого хладагента в модуль подачи хладагента 50. При подобной конфигурации можно использовать любую известную в литературе охлаждающую систему закрытого цикла. Примеры описаны в патентах США №№ 6041621; 6105388; 6301923 и 7111467. Модуль подачи хладагента 50 может содержать в себе систему охлаждения, которая может быть сверхнизкотемпературной системой охлаждения, основной порядок работы которой - теплопередача и теплоперенос - хорошо описаны в литературе. Она может включать в себя компрессор, конденсатор, сушилку фильтра и/или холодильный процесс, который может включать в себя внутренний поток хладагента по направлению от высокого давления к низкому. Компрессором может служить газовый компрессор, предпочтительно тот, который подходит для использования сухого газа с точкой росы ниже минус 100°C, такого как гелий, азот или аргон. Компрессором может быть любой коммерчески доступный аппарат, например поршневой компрессор, ротационный компрессор, шнековый компрессор, спиральный компрессор или комбинация компрессоров. Холодильный процесс холодильной машины может включать в себя ряд теплообменников с сепараторами между ними. Холодильный процесс может включать в себя любую охлаждающую систему или процесс, описанный в литературе, например систему с одним хладагентом, систему со смешанным хладагентом, обычные холодильные процессы, стадию каскадного холодильного процесса или каскадный цикл с самоохлаждением или их модификации. Например, система может быть каскадным процессом с самоохлаждением, с однофазным сепаратором, как описано в любом из патентов США №№ 3768273; 3872682; 4535597; 4597267; 4951474; 5099650; 6722145; 6843065; 7111467; 7234310 или вариантом подобных систем, или любым сверхнизкотемпературным холодильным процессом с одной или более стадией сепарации или без нее. Ссылки на низкотемпературное и сверхнизкотемпературное охлаждение можно найти в главе 39 сборника 1998 г., выпущенного Американским Обществом Инженеров по Нагреву, Охлаждению и Кондиционированию (ASHRAE). В различных конфигурациях количество теплообменников и внутренних дросселей может быть увеличено или уменьшено, как и количество используемых сепараторов в соответствии с требованиями при конкретном применении.

В некоторых конструктивных исполнениях трубопровод внутри теплообменника 10 может быть оборудован одним или более теплопроводящим ребром (ребра 26 на фиг. 13). Теплопроводящие ребра 26 могут быть расположены в любом месте вблизи трубопровода 2 или в непосредственном контакте с ним для увеличения поверхности теплообмена, ускоряя, таким образом, теплоперенос от трубопровода и его содержимого к хладагенту. В некоторых конструктивных исполнениях теплопроводящие ребра 26 контактируют с трубопроводом 2 и ускоряют перенос энергии от трубопровода 2 к хладагенту внутри теплообменника 10.

На фиг. 10 и 11 показан пример, где теплообменник 10 может быть закреплен на устье скважины 74 навинчиванием фиксирующей гайки на болт сквозь фланец на теплообменнике 10 и устье скважины 74. На чертежах также показан пример, где теплообменник 10 может быть закреплен на инжекторе криогена 60 навинчиванием фиксирующей гайки на болт сквозь фланец на теплообменнике 10 и инжекторе криогена 60. Предполагаются и иные конфигурации.

В тех вариантах, когда трубопроводы необходимо переоборудовать, система может быть подключена к существующему трубопроводу любым описанным в литературе способом. Например, система может быть изготовлена в виде двух или более соединяемых между собой частей, которые могут быть

размещены на существующем трубопроводе и закреплены на нем. Части могут скрепляться любым известным способом, например сваркой, болтами, шурупами, уплотнениями, эпоксидной смолой или любой комбинацией данных способов. При применении на наземных, подземных и подводных трубопроводах криотермодинамическая вентильная система может быть сконструирована под существующий трубопровод. В некоторых случаях для установки криотермодинамической вентильной системы на некоторой площади вокруг существующего трубопровода могут потребоваться земляные работы.

Криотермодинамическая вентильная система CryoPlug 80 может включать в себя оболочку 81, которая включает в себя компоненты, присоединенные к трубопроводу или соприкасающиеся с ним. Оболочка 81 может быть изготовлена из любого материала, который относительно нечувствителен к ожидаемым низким температурам и давлениям. Примеры материалов, которые достаточно устойчивы при ожидаемой температуре и давлении криогенной жидкости и/или при глубоководном их применении включают в себя, но не ограничиваются сталью, стекловолокном, графитом, пластиками, углеволокном и их комбинациями. Например, стальные сплавы, содержащие Сг, Ni или Si, более склонны к хрупкому излому и менее склонны к вязкому излому. В литературе описаны сплавы, более склонные к хрупкому и менее склонные к вязкому излому, чем сталь. Примеры сплавов даны в патентах США №№ 5352304; 6183573; 6212891; 7235212; 7648597 и 7727463. Также могут использоваться композиты, состоящие из углеволокна и связующего, такого как эпоксидная смола (например, полиакрилонитрил, ПАН), полиэфирная смола или их комбинации. Углеволокно, которое по сравнению со сталью одновременно прочное и легкое, включает в себя, но не ограничивается графитом, углепластиковыми композитами, твердыми упорядоченными волокнами, углеволокном с покрытием, углеволокном на основе ПАН, углеволокном на основе пека и их комбинациями. В некоторых конструктивных исполнениях оболочка криотермодинамической вентильной системы 80 может оснащаться внешним покрытием, содержащим углеволокно. Покрытие может быть выполнено с диагонально направленным относительно оболочки модуля углеволокном. Может использоваться любое углеволокно, например графит, углепластиковые композиты, твердые упорядоченные волокна, углеволокно с покрытием, углеволокно на основе ПАН, углеволокно на основе пека и их комбинации. Оболочка криотермодинамической вентильной системы 80 в целях безопасности может оборудоваться предохранительным клапаном.

В конструкции оболочки 81 могут быть предусмотрена теплоизоляция устройства для ввода хладагента 60 и теплообменника 10 от окружающей среды снаружи оболочки 81. Например, теплоизоляцией может служить слой теплоизолирующего покрытия с одной или обеих сторон оболочки. Теплоизоляция может представлять собой любой нетеплопроводный или слабо проводящий тепло материал, или оболочку из нетеплопроводного или слабо проводящего тепло материала. Примеры материалов с низкой теплопроводностью включают битум, цемент, глину, бетон, кориан с керамическим наполнителем, пробку, хлопковое волокно, диатомит (кизельгур), эпоксидную смолу, стекловолокно, вспененное стекло, стеклянные шарики или бусины, стекловату, гипс, магнезит, магнезитовую изоляцию, минеральную вату, нейлон, перлит, изоляцию из вспененного пластика, вспененный полистирол, полиуретан, керамику, ПТФЭ, ПВХ, боросиликатное стекло, песок, силикагель, пенопласт, пенополиуретан, вермикулит, виниловые эфиры, нетеплопроводные газы, имеющие более низкую теплопроводность, чем воздух, например бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторэтан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, диоксид углерода, диэтиловый эфир, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан и жидкости с низкой теплопроводностью, такие как CFC-11, HCFC-141b, метанол, этанол, глицерин, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводная силиконовая жидкость, содержащая стекло (стекловолокно или стеклянный наполнитель), пропиленгликоль и комбинации вышеперечисленного.

В некоторых конструктивных исполнениях оболочка может быть герметичной. В некоторых подобных вариантах конструкции воздух внутри оболочки может быть заменен на газ с более низкой теплопроводностью, чем воздух. Обычно тяжелые газы, такие как ксенон или дифтордихлорметан, имеют более низкую теплопроводность. Газами с более низкой теплопроводностью, чем у воздуха, являются бутан, криптон, трихлорметан, ксенон, 1,1,2-трихлортрифторметан, 1,2-дихлортetraфторэтан, тетрафторэтан, аргон, диоксид углерода, диэтиловый эфир, изобутан, пентан, перфторциклобутан, пропан и тетрафторметан. В некоторых конструктивных исполнениях воздух можно заменить жидкостью с низкой теплопроводностью. Примеры жидкостей с низкой теплопроводностью включают CFC-11, HCFC-141b, метанол, этанол, глицерин, эфир, ацетон, этиленгликоль, нетеплопроводную силиконовую жидкость, содержащую стекло (стекловолокно или стеклянный наполнитель), пропиленгликоль.

В оболочке могут быть предусмотрены тепловые контрольные приборы для измерения градиента температур вдоль трубопровода. Также в оболочке могут быть предусмотрены нагревательные элементы для контроля градиента температур, который возникает в трубопроводе от воздействия криотермодинамической вентильной системы. В некоторых конструктивных исполнениях оболочка может быть оборудована наружными нагревательными элементами, которые могут использоваться для управления градиентом температур и/или уменьшения образования льда на наружных концах трубопровода. Нагревательными элементами можно управлять для уменьшения термических напряжений в трубопроводе, для предотвращения выхода трубопровода из строя по причине образования в нем трещин или разрывов.

Примеры конструкций термодинамической вентильной системы приведены на фиг. 12А-12Е. На

фиг. 12А изображен теплообменник 10, который выполнен в виде трубопровода 2 и внешней оболочки 2с. Теплообменник имеет инжектор 67, который предназначен для ввода хладагента в поток, движущийся в трубопроводе 2. На фиг. 12А изображена термодинамическая вентильная система с вспомогательным инжектором 88. Днище 3 имеет отверстие, через которое проходит трубопровод 2, и присоединено к левой части внешней оболочки 2с и к трубопроводу 2 для герметизации левой части теплообменника 10. Днище 4 также имеет отверстие, через которое проходит трубопровод 2, и присоединено к правой части внешней оболочки 2с и к трубопроводу 2 для герметизации правой части теплообменника 10. Днища могут крепиться к оболочке 2с и трубопроводу 2 любым известным способом, таким как сварка, болты, шурупы, уплотнения, эпоксидная смола или любой комбинацией данных способов. При присоединении днища 3 и 4 образуется герметичная полость между трубопроводом 2 и оболочкой 2с, позволяя трубопроводу 2 выступать с обоих концов теплообменника.

Внутренняя полость теплообменника 10 между трубопроводом 2 и оболочкой 2с наполняется частицами, наполнителями, тюнингами, шавингами, нитками, таблетками или бусинами из теплопроводящего металла, заполняя пространство между трубопроводом 2 и оболочкой 2с. Экран 93 задерживает частицы, наполнители, тюнинги, шавинги, нитки, таблетки или бусины из теплопроводящего металла внутри теплообменника 10 и предотвращает их унос хладагентом во время работы теплообменника 10. Экраны могут изготавливаться из любого материала, например алюминия, стали, железа, пластика, армированной смолы, углеволокна, стекловолокна или любых их комбинаций. Поток жидкости через устройство показан стрелкой.

Оболочка 2с оборудуется вводными фитингами, которые образуют входное отверстие 12 теплообменника 10 для подачи в него хладагента от охладителей. Фиг. 12А изображает одно входное отверстие 12, хотя может быть предусмотрено любое их количество. Фиг. 12В-12D изображают варианты конструкции, в которых предусмотрено два входных отверстия 12. Кроме того, оболочка 2с подключается вводными фитингами к выпускному отверстию 13 из теплообменника 10, для сброса хладагента из теплообменника 10. Место соединения выпускного отверстия 13 с теплообменником 10 оборудовано экраном 93.

На фиг. 12А термодинамическая вентильная система также оборудована инжектором криогена 67. Вспомогательный инжектор 88, показанный на чертеже, может использоваться для подачи в поток в трубопроводе 2 таких жидкостей, как тампонажная жидкость или композиция поверхностно-активных веществ. Помимо того, на фиг. 12А показан нагреватель 45, который находится в непосредственном тепловом контакте с трубопроводом 2 внутри теплообменника 10. Входом и выходом нагревателя 45 являются входная линия 17 и выходная линия 18. Как изображено на чертеже, теплообменник 10 также включает в себя слой теплоизолирующего материала 30, закрепленный на теплообменнике 10 и/или обернутый вокруг него.

На фиг. 12В изображен теплообменник 10, который выполнен в виде трубопровода 2 и внешней оболочки 2с, как и на фиг. 12А. Как описано выше, устройство на фиг. 12В включает в себя два входа 12. Термодинамическая вентильная система, изображенная на фиг. 12В, также включает в себя ребристую трубу 2f. В данном конструктивном исполнении теплообменник 10 состоит из трубопровода 2, а также ребристой трубы 2f и двух сегментов нерребристой трубы 2a_{left} и 2a_{right}. Ребристая труба 2f и часть трубы 2a_{left} и 2a_{right} заключены в оболочку 2с, и два днища 3 и 4 крепятся методами, описанными выше. Днище 3 имеет отверстие, через которое выходит часть трубопровода 2a_{left}, а днище 4 имеет отверстие, через которое выходит часть трубопровода 2a_{right}. При установленных на место днищах 3 и 4 образуется замкнутое пространство между трубопроводом 2 и оболочкой 2с, позволяя трубопроводу 2a_{left} и 2a_{right} выступать с обоих концов теплообменника.

Внутренняя полость теплообменника 10 между трубопроводом 2 и внешней оболочкой 2с, а также пространство между ребрами 26 трубопровода 2 и между ребристым трубопроводом 2 и оболочкой 2с заполняется большим количеством частиц, наполнителей, тюнингов, шавингов, нитей, таблеток или дроби из теплопроводящего металла. Экран 93 задерживает частицы, наполнители, тюнинги, шавинги, нити, таблетки или дробь из теплопроводящего металла внутри теплообменника 10 и предотвращает их унос хладагентом во время работы теплообменника 10.

На фиг. 12с изображен теплообменник 10, который выполнен в виде трубопровода 2 и внешней оболочки 2с, как и в устройстве на фиг. 12В. Вариант конструкции, изображенный на фиг. 12с, оснащен двумя инжекторами криогена 67. В приведенном конструктивном исполнении, инжекторы находятся на одной стороне от оболочки 2с, но разнесены на некоторое расстояние. На фиг. 12D изображен теплообменник 10, который выполнен в виде трубопровода 2 и внешней оболочки 2с, как на фиг. 12с. Теплообменник оснащен двумя инжекторами криогена 67, но на изображенном конструктивном исполнении инжекторы криогена 67 находятся на противоположных сторонах оболочки 2с. И хотя два (или более) инжектора изображены как расположенные напротив друг друга, они могут быть размещены на оболочке 2с в радиальном направлении с любым углом между ними: 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 80 или 90°. Хотя фиг. 12А-12D изображают термодинамическую вентильную систему, расположенную горизонтально, система может быть расположена горизонтально, вертикально или под любым углом. В тех конструктивных исполнениях, где термодинамическая вентильная система должна быть расположена вертикаль-

но, как показано на фиг. 12E и 12F, система может оснащаться несколькими входами 12, расположенными радиально на оболочке 12с (фиг. 12E) или продольно на оболочке 2с (фиг. 12F).

D. Методы.

Когда устройства и системы, описанные здесь, развернуты, например, когда теплопередающее устройство закреплено на заполненном жидкостью трубопроводе и активировано, оно может снимать тепло с трубопровода с заданной скоростью, чтобы не вызывать в нем тепловых напряжений. Со временем, когда температура трубопровода снижается до значений порядка от -10 до -80°C , жидкость (вода или нефть) кристаллизуется под воздействием низкой температуры внутри трубопровода, толщина кристаллов увеличивается вплоть до образования пробки. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до значений от -20 до -100°C , или от -30 до -100°C , или от -50 до -100°C , или от -20 до -90°C , или от -30 до -120°C , или от -50 до -150°C , или от -10 до -150°C . В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -20°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -30°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -40°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -50°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -80°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -100°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -150°C и ниже. В некоторых вариантах способов, приведенных в данном документе, температура трубопровода может быть снижена до -200°C и ниже.

Отнимая тепло, теплопередающее устройство постепенно слой за слоем замораживает жидкость (воду или нефть) внутри охлажденного трубопровода, уменьшая его внутренний диаметр и образуя, в конечном счете, пробку, которая закупоривает трубопровод. Трубопровод можно поддерживать в закупоренном состоянии, пока проводится его ремонт. Может потребоваться некоторое время для охлаждения теплопередающим устройством самого трубопровода и жидкости внутри него (воды или нефти) и формирования пробки, препятствующей течению жидкости через трубопровод. В некоторых случаях, например в Арктике или при глубоководном бурении, температура окружающей среды может быть очень низкой. В этих случаях можно не охлаждать трубопровод и жидкость внутри него, что является хорошей помощью в ламинарном намораживании нефти или воды на внутренних частях трубопровода.

В некоторых конструктивных исполнениях теплопередающее устройство является термоэлектрическим модулем. В некоторых конструктивных исполнениях теплопередающее устройство является элементом Пелтье. В некоторых конструктивных исполнениях теплопередающее устройство является жидкостным теплообменником, как описано в данном документе. В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -20°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -25°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -30°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -35°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -40°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -45°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -50°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -55°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -60°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -65°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -70°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем как минимум до -75°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем до значений от -40 до -60°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем до значений от -20 до -250°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем до значений от -30 до -240°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем до значений от -40 до -220°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем до значений от -40 до -220°C . В некоторых способах теплопередающее устройство, закрепленное на трубопроводе, снижает его температуру и температуру жидкости в нем до значений от -40 до -220°C .

значений от -50 до -200°C .

В некоторых вариантах способ включает в себя присоединение теплопередающего устройства к содержащему жидкость трубопроводу; теплоизоляцию теплопередающего устройства и по крайней мере части трубопровода от окружающей среды; включение теплопередающего устройства на необходимое время для намораживания пробки, препятствующей прохождению жидкости сквозь трубопровод. В некоторых конструктивных исполнениях теплопередающее устройство присоединяется к исправному трубопроводу и включается как аварийный отсекатель трубопровода в случае выхода его из строя или его порыва выше точки присоединения теплопередающего устройства. В таких конструктивных исполнениях описанная в данном документе система является профилактической. В некоторых конструктивных исполнениях описанная здесь система может использоваться для предотвращения тока жидкости через поврежденный или вышедший из строя трубопровод. В таких вариантах способ включает в себя идентификацию места порыва в трубопроводе; установку теплопередающего устройства, подобного описанному здесь, ниже точки порыва или трещины на неповрежденном участке трубопровода; включение теплопередающего устройства на необходимое время для формирования пробки, которая прекратит ток жидкости через трубопровод. В некоторых вариантах метода теплопередающее устройство остается включенным до тех пор, пока могут быть выполнены ремонтные работы трубопровода. В некоторых вариантах исполнения способ включает в себя постепенное повышение температуры теплопередающего устройства, которое нагревает трубопровод, расплавляя пробку и восстанавливая поток через трубопровод.

В некоторых вариантах способа, описанного в этом документе, теплопередающее устройство является жидкостным теплообменником, содержащим хладагент, и интенсивность теплопередачи в устройстве контролируется управлением потоком хладагента через систему. В некоторых вариантах способа нагретый жидкий хладагент из теплопередающего устройства регенерируется и используется повторно, образуя замкнутый цикл. В некоторых вариантах способа нагретый жидкий хладагент из теплопередающего устройства выбрасывается в окружающую среду, образуя открытый цикл.

В некоторых вариантах фазы охлаждения в способе, описанном в этом документе, жидкий теплопроводящий хладагент циркулирует сквозь систему при помощи одного или более насосов или благодаря повышенному давлению на стороне подачи хладагента. При прохождении жидкого хладагента через теплопроводящую поверхность теплообменника, находящуюся в тепловом контакте с трубопроводом, происходит передача тепла от более горячего трубопровода и его содержимого к более холодному жидкому хладагенту. Теплопроводящая поверхность теплопередающего устройства, находящаяся в тепловом контакте с трубопроводом, может быть сконструирована так, чтобы максимально увеличить эту передачу тепла. Для этого должна быть максимально увеличена площадь соприкосновения с проходящим хладагентом. Хладагент, несущий тепло, поглощенное из трубопровода и его содержимого, проходит сквозь выпускное отверстие или вентиль, и перед выбросом в окружающую среду его температура может быть поднята, по крайней мере, до температуры окружающей среды. Постоянная подпитка теплопередающего устройства свежим хладагентом гарантирует постоянный отвод тепла от трубопровода и его содержимого к жидкому хладагенту и охлаждение трубопровода и его содержимого до тех пор, пока хотя бы часть жидкости в трубопроводе не замерзнет, образовав пробку.

В некоторых вариантах фазы нагрева в способах, описанных в этом документе, например, после того, как ремонт окончен, и необходимо удалить пробку для восстановления потока жидкости сквозь трубопровод, постепенно поднимают температуру жидкого хладагента. Температуру хладагента можно повышать со скоростью, которая не подвергнет трубопровод тепловым напряжениям и не повлияет на сопротивление трубопровода разрыву или растяжению. При увеличении температуры жидкого хладагента увеличивается температура стенки трубопровода. При определенной температуре замороженная пробка начинает таять и отделяется от внутренней поверхности трубопровода. Как только пробка отделится от внутренней поверхности трубопровода, давление жидкости внутри трубопровода смещает пробку, восстанавливая поток жидкости сквозь него.

В некоторых вариантах фазы нагрева в способах, приведенных в данном документе, например, после того, как ремонт окончен, и необходимо удалить пробку для восстановления потока жидкости сквозь трубопровод, асимметрично включают нагреватели внутри теплопередающего устройства, нагревая только одну сторону трубопровода. Температуру нагревателей можно повышать со скоростью, которая не подвергнет трубопровод тепловым напряжениям и не повлияет на сопротивление трубопровода разрыву или растяжению. При увеличении температуры трубопровода с одной стороны замороженной пробки, увеличивается температура стенки трубопровода в точке подвода тепла. При определенной температуре замороженная пробка начинает таять в точке подвода тепла, жидкость начинает течь сквозь образовавшийся зазор между трубопроводом и пробкой, притом что она все еще будет закреплена на противоположной стороне трубопровода. Это приведет к увеличению потока через пробку до тех пор, пока она не расплавится или полностью не отделится. Как только пробка расплавится, или полностью отделится от трубопровода, поток жидкости сквозь трубопровод будет восстановлен.

Во время стартовых операций при глубоководном бурении, когда трубопровод окружен водой, необходимо предотвратить образование льда внутри или вдоль нижележащей части трубопровода во время его охлаждения для образования внутри него пробки из замороженной нефти. Это может быть достигну-

то размещением нагревательных элементов на нижележащей части трубопровода для поддержания локальной температуры выше точки замерзания. Подобным же образом нагреватели могут быть размещены на выходном вентиле или выходном отверстии для увеличения температуры хладагента, по крайней мере, до температуры окружающей среды, чтобы уменьшить или предотвратить образование льда в точке сброса.

Также предусмотрены способ и система для контроля скорости охлаждения заполненного жидкостью теплопроводящего металлического трубопровода. Раскрытые система и способ обеспечивают возможность быстрого охлаждения трубопровода и жидкости внутри него при помощи ламинарного течения жидкого хладагента. Быстрое охлаждение трубопровода может быть достигнуто точным контролем и регулировкой во времени температуры хладагента, который подается в систему. В некоторых конструктивных исполнениях способ контролируемого охлаждения трубопровода включает в себя стадии: (1) установку теплообменного устройства для достижения теплового контакта с трубопроводом, содержащим жидкость; (2) включение теплообменного устройства, после чего от трубопровода и содержащейся в нем жидкости начинает отниматься и передаваться теплообменному устройству тепло; (3) быстрое рассеивание поглощенной теплообменным устройством энергии для предотвращения возврата тепла от теплообменного устройства обратно к трубопроводу.

В некоторых конструктивных исполнениях в способе в качестве теплопередающего устройства применяются жидкостные теплообменники. В некоторых конструктивных исполнениях способ включает в себя: (1) установку жидкостного теплообменного устройства для достижения теплового контакта с трубопроводом, содержащим жидкость; (2) приготовление жидкого хладагента путем смешения жидкого низкотемпературного хладагента с растворителем для получения холодного жидкого хладагента нужной температуры, которая зависит от требуемой скорости охлаждения трубопровода и жидкости внутри него; (3) подачи ламинарного направленного потока жидкого хладагента необходимой температуры в теплообменное устройство для равномерного охлаждения трубопровода и его содержимого; (4) быстрый отвод жидкого хладагента из теплообменного устройства для предотвращения рециркуляции жидкого хладагента внутри теплообменного устройства.

Раскрытые в настоящем изобретении системы и способы обеспечивают возможность быстрого охлаждения теплопроводящего трубопровода и жидкости, содержащейся в нем, при помощи теплообменного устройства. Это происходит, главным образом, за счет вынужденного конвективного охлаждения и ламинарного потока жидкого хладагента, который обменивается теплом с теплопроводящим трубопроводом. Вдобавок к этому, данная система и способ дают возможность быстро охладить трубопровод до любой заданной температуры для создания и поддержания намороженной пробки жидкости внутри трубопровода без образования в нем тепловых напряжений.

Строго говоря, быстрое охлаждение трубопровода достигается точным контролем и регулировкой во времени температуры хладагента, который подается в систему. В одном конструктивном исполнении система может быть адаптирована для обеспечения ступенчатого или быстрого снижения температуры для более быстрого охлаждения внутри трубопровода, чтобы минимизировать экзотермический эффект фазового перехода жидкости (например, переход вода-лед) внутри трубопровода. В некоторых исполнениях процесс охлаждения с заданной скоростью или криогенная система охлаждения и способы, приведенные в данном документе, адаптированы для обеспечения потока жидкого хладагента, который обеспечивает падение температуры примерно на -5 или на $-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ для быстрого охлаждения трубопровода при минимальных тепловых напряжениях в нем. В некоторых исполнениях поток жидкого хладагента или криогена может быть увеличен для обеспечения быстрого падения температуры примерно на $-15^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В некоторых исполнениях поток жидкого хладагента или криогена может быть увеличен для обеспечения быстрого падения температуры примерно на $-20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В некоторых исполнениях поток жидкого хладагента или криогена может быть увеличен для обеспечения быстрого падения температуры примерно на $-25^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В некоторых исполнениях поток жидкого хладагента или криогена может быть увеличен для обеспечения быстрого падения температуры примерно на $-30^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В некоторых исполнениях поток жидкого хладагента или криогена может быть увеличен для обеспечения быстрого падения температуры примерно на $-40^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В некоторых исполнениях поток жидкого хладагента или криогена может быть увеличен для обеспечения быстрого падения температуры примерно на $-50^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Температуры жидкого хладагента, введенного в теплообменник, могут регулироваться или модулироваться смешиванием или добавлением различных растворителей к жидкому криогену, таких как жидкий азот или жидкий или твердый диоксид углерода. В некоторых вариантах модуль подачи жидкого хладагента может включать два или более жидких хладагентов, которые содержат различные растворители, смешанные с криогеном, и температура жидкого хладагента может быть модулирована изменением соотношения одного жидкого хладагента к другому жидкому хладагенту. Смешанный жидкий хладагент затем вводится и протекает через теплообменник. Используя подходящую смесь жидких хладагентов, имеющих различные температуры, предложенная система может создать ламинарный поток жидкого хладагента через всю охлаждающую поверхность, на которую направлен теплообменник. Из-за равномерного потока жидкого хладагента было обнаружено, что точное управление температурой жидкого хладагента и температурным градиентом в трубопроводе находится в прямой зависимости с наблюдае-

мыми скоростями охлаждения в теплообменнике.

В точке замерзания растворов теплота кристаллизации препятствует падению температуры растворов, и иногда температура в трубопроводе может повышаться. С использованием одного или более тепловых или температурных датчиков 15 в или на трубопроводе температура или скорость потока жидкого хладагента могут быть при необходимости отрегулированы для снижения температурных отклонений. Другими словами, управление системой может быть предварительно запрограммированным или быть операцией с обратной связью в реальном времени.

Возможность точного управления скоростью охлаждения трубопровода предоставляет множество преимуществ. Например, трубопровод может подвергаться различным напряжениям во время замораживания и последующего оттаивания, что может ухудшить функционирование или целостность трубопровода. Правильное проектирование процесса замораживания может уменьшить такие напряжения, и данные системы и методы позволяют осуществлять точное управление процессом замораживания для достижения однородности процесса замораживания наряду с минимизацией теплового напряжения в трубопроводе.

Температура жидкого хладагента может быть измерена тепловым контрольным прибором 15 или другим температурным датчиком, таким как термопара, расположенная ниже по потоку по отношению к модулю подачи хладагента. Точным регулированием потока хладагента от модуля подачи хладагента 50 к теплообменнику 10 возможно быстро изменить температуру теплообменника 10, что позволяет охладить трубопровод 2 посредством широкого диапазона профилей охлаждения для оптимизации рабочих режимов и максимизации скорости замораживания наряду с минимизацией тепловых напряжений в трубопроводе. Кроме того, посредством модулирования температуры жидкого хладагента, например, смешиванием двух жидких хладагентов с изначально разными температурами, возможно подать хладагент с измененной температурой от модуля подачи жидкого хладагента 50 к теплообменнику 10, что позволяет быстро изменить температуру теплообменника 10, что позволяет охладить трубопровод 2 посредством широкого диапазона профилей охлаждения для оптимизации рабочих режимов и максимизации скорости замораживания наряду с минимизацией тепловых напряжений в трубопроводе.

Также предложены способы формирования временно замороженной пробки из жидкости, такой как нефть или газ, в трубопроводе, таком как скважина, для остановки потока жидкости в трубопроводе. В некоторых способах пробка используется для временной остановки выработки нефтяной скважины. В некоторых вариантах нефтяная скважина может быть надземным трубопроводом. В некоторых вариантах нефтяная скважина может быть расположена в открытом море и может быть глубоководной нефтяной скважиной. Существует множество случаев, когда поток жидкости в трубопроводе, такой как нефть в скважине, должен быть остановлен. Например, поток нефти в морской нефтяной скважине в штормовых условиях или во время выполнения технического обслуживания в устье скважины или при запасном выключении в случае катастрофического события, при котором трубопровод поврежден или разрушен, требует использования пробки какого-либо рода для остановки потока. В некоторых случаях в производственный трубопровод или в обсадную трубу скважины могут быть включены вентили, которые могут быть перекрыты для остановки потока. В других случаях может быть использовано устройство штормовой пробки, содержащее извлекаемый сервисный пакер и штормовой клапан. Подобные штормовые пробки в основном помещаются в обсаженном стволе скважины на уровне около 200 футов ниже границы ила (т.е. ниже 200 футов от дна океана). В традиционных "шельфовых" применениях, поскольку самоподъемные буровые установки работают на максимальных глубинах около 200-300 футов, штормовые пробки могут быть настроены для глубин до около 500 футов. В глубоководных применениях, в которых буровые суда или полупогружные буровые установки работают на глубинах в 6000 футов и более, штормовые пробки могут быть настроены для глубины 6500 футов или более. Размещение штормовой пробки зачастую может привести к повреждению клапанов или даже трубы скважины из-за искривления скважины. Поэтому желательно размещение системы, предложенной здесь, способной создать замороженную пробку, которая может быть использована для временного изолирования скважины, включая глубоководные скважины, которая не требует механического размещения пробки в трубопроводе. В системах и способах, предложенных здесь, пробка может быть сформирована на месте и может быть легко удалена плавлением при пассивном или управляемом модулировании температуры теплообменника.

Одним вариантом является способ прекращения потока нефти в трубопроводе, включая морскую скважину, заключающийся в подведении переносящего тепло устройства к трубопроводу таким образом, чтобы он был в тепловом контакте по крайней мере с одной частью трубопровода, и установка модуля инжектора криогена, который при активации впрыснул бы криоген в жидкость в трубопроводе, как, например, в нефть в скважине. Модуль инжектора криогена впрыскивает криоген в жидкость для охлаждения жидкости. В некоторых вариантах криоген может быть жидким азотом, жидким кислородом, жидким гелием, жидким неонем, жидким метаном, жидким природным газом, жидким аргоном, жидкой закисью азота, жидкой двуокисью углерода, сухим льдом или комбинациями этих веществ. В некоторых вариантах модуль инжектора криогена расположен наиболее близко к источнику жидкости, текущей по трубопроводу, таким образом, впрыскивание криогена в жидкость охлаждает жидкость до того, как она достигнет области трубопровода, к которой присоединено переносящее тепло устройство. В данных спосо-

бах теплообменник может быть активирован на время, достаточное для создания пробки из замороженной жидкости, которая предотвращает поток жидкости в трубопроводе, и прочного удержания пробки из замороженной жидкости на внутренней стене трубопровода, тем самым предотвращая поток жидкости после пробки в трубопроводе. В некоторых вариантах переносящее тепло устройство может быть присоединено к неповрежденному трубопроводу и может быть активировано как запасный механизм перекрытия трубопровода в случае отказа или нарушения трубопровода выше точки крепления теплообменника. В таких вариантах способ служит профилактическим обслуживанием для предотвращения или минимизации утечки нефти, попадающей в окружающую среду. В некоторых вариантах способ предотвращает поток жидкости через нарушенный или сломанный трубопровод. В таких вариантах способ включает определение места нарушения трубопровода; присоединение переносящего тепло устройства, такого как описанное здесь, к точке ниже трещины, повреждения или отверстия в неповрежденной области трубопровода; присоединение ниже переносящего тепло устройства модуля инжектора криогена к точке ниже трещины, повреждения или отверстия в неповрежденной области трубопровода; и активирование переносящего тепло устройства на время, достаточное для создания пробки из замороженной жидкости, которая предотвращает поток жидкости в трубопроводе. В некоторых вариантах способа переносящее тепло устройство может поддерживаться в состоянии активного теплового обмена до осуществления ремонта на трубопроводе. В некоторых вариантах способ включает стадию увеличения температуры переносящего тепло устройства таким образом, что оно передает тепловую энергию трубопроводу, тем самым расплавляя замороженную пробку и восстанавливая поток жидкости в трубе.

Также предложены способы для того, чтобы временно изолировать нефтяную скважину, способы включают стадии присоединения переносящего тепло устройства к части производственного трубопровода в нефтяной скважине так, чтобы он был в тепловом контакте по крайней мере с одной частью производственного трубопровода, и установка модуля инжектора криогенной смеси так, чтобы после активации модуль впрыснул криоген в жидкость, такую как нефть, в производственном трубопроводе, причем инъекция криогена в нефть снижает температуру нефти прежде, чем она войдет в контакт с областью производственного трубопровода, к которой может быть присоединено переносящее тепло устройство, и переносящее тепло устройство извлекает достаточную тепловую энергию от нефти, чтобы она была заморожена, и формирует пробку из замороженной нефти, которая обратимо присоединяется к боковым стенкам производственного трубопровода. В некоторых вариантах криоген может быть жидким азотом, жидким кислородом, жидким гелием, жидким неоном, жидким метаном, жидким природным газом, жидким аргоном, жидкой закисью азота, жидкой двуокисью углерода или комбинациями этих веществ. В некоторых вариантах переносящее тепло устройство может быть содержащим жидкость теплообменником, содержащим жидкий хладагент. В некоторых вариантах хладагент включает криоген и растворитель. В некоторых вариантах хладагент включает: (а) жидкий азот, жидкий кислород, жидкий гелий, жидкий неон, жидкий метан, жидкий природный газ, жидкий аргон, жидкую закись азота, жидкую двуокись углерода или сухой лед или комбинации этих веществ и (b) растворитель, выбранный из группы, содержащей тетрахлорметан, м-дихлорбензол, нитрометан, бромбензол, ацетонитрил, хлорбензол, м-ксилол, амин n-бутила, n-октан, хлороформ, амин t-бутила, трихлорэтилен, бутиловый эфир уксусной кислоты, этилацетат, гептан, циклопентан, гексан, метанол, циклогексан, м-пентан, 1,5-гексадиен, изопентан, 3-гептанон, циклогексанон, диэтиловый карбитол, ацетат карбитола, этиловый спирт, ацетон, изопропиловый спирт, этилметилкетон, диэтиловый эфир и комбинации этих веществ.

В некоторых вариантах способ включает подачу хладагента к теплообменнику и удаление использованного хладагента (после того как он был нагрет вследствие контакта с производственным трубопроводом) в окружающую среду. В некоторых вариантах способ включает подачу хладагента к теплообменнику и рециркуляцию использованного хладагента его прохождением это через систему охлаждения замкнутой системы. В некоторых вариантах способ включает прохождение использованного хладагента через ультранизкотемпературную систему охлаждения. В некоторых способах способ включает восстановление использованного хладагента его прохождением через систему охлаждения, включающую компрессор, конденсатор, сушилку фильтра и/или теплообменник. В некоторых вариантах способа использованный хладагент может быть пропущен через поршневой компрессор, ротационный компрессор, шнековый компрессор, спиральный компрессор или комбинацию любых двух из этих компрессоров. В некоторых вариантах способ включает прохождение использованного хладагента через один или более теплообменников.

В некоторых способах инжектор криогена может включать дрель, приспособленную для работы с полый буровой головкой, и активация инжектора криогена включает включение дрели так, чтобы она прошла через обсадную трубу так, чтобы конец полый буровой головки вошел в жидкостную связь с нефтью в обсадной трубе. В некоторых вариантах способов, как только полая буровая головка войдет в жидкостную связь с нефтью в обсадной трубе, подача криогена может быть осуществлена прямо или не прямо к полый буровой головке, так чтобы полая буровая головка функционировала как инжектор криогена в нефть.

Также предлагаются способы осуществления замораживания жидкости, которая содержится в теплопроводящем металлическом трубопроводе, с контролируемой скоростью. В некоторых вариантах спо-

соб включает стадии: (а) установки модуля инжектора криогена, приведенного здесь, так, что при активации модуль инжектора впрыснул бы криоген в жидкость; (b) приведения теплообменника в тепловой контакт с трубопроводом, содержащим жидкость, в точке, находящейся ниже по направлению потока от инжектора криогена; (с) активации инжектора криогена так, чтобы он впрыснул бы криоген в жидкость и тем самым снизил бы температуру жидкости; (d) активации теплообменника так, чтобы хладагент поглощал тепловую энергию и образовывал использованный хладагент, тем самым извлекая тепловую энергию из трубопровода и жидкости, содержащейся в нем, и передавал ее теплообменнику; (е) быстрого рассеивания тепла, поглощенного теплообменником, чтобы предотвратить рециркуляцию тепла от теплообменника назад к трубопроводу. В некоторых вариантах тепло поглощается теплообменником и рассеивается удалением использованного хладагента в окружающую среду. В некоторых вариантах использованный хладагент восстанавливается прохождением через систему охлаждения для удаления тепловой энергии, поглощенной использованным хладагентом из теплообменника в тепловом контакте с трубопроводом.

Также предлагаются способы для того, чтобы получить обратимую пробку в жидкости, которая содержится в теплопроводящем металлическом трубопроводе. В некоторых вариантах способ включает стадии: (а) приведения одного или более теплообменников в тепловой контакт с трубопроводом, содержащим жидкость; и (b) активацию теплообменника (теплообменников) так, чтобы хладагент или криоген в теплообменнике поглощал тепловую энергию и образовывал использованный хладагент или криоген, тем самым извлекая тепловую энергию из трубопровода и жидкости, содержащейся в нем; и (с) быстрого рассеивания тепла, поглощенного теплообменником (теплообменниками), чтобы предотвратить рециркуляцию тепла от теплообменника (теплообменников) назад к трубопроводу и жидкости, содержащейся в нем. В некоторых вариантах тепло, поглощенное теплообменником (теплообменниками), рассеивается удалением использованного хладагента в окружающую среду. В некоторых вариантах использованный хладагент восстанавливается прохождением через систему охлаждения для удаления тепловой энергии, поглощенной использованным хладагентом из теплообменника (теплообменников) в тепловом контакте с трубопроводом.

Также предлагаются способы для того, чтобы получить обратимую пробку в жидкости, которая содержится в теплопроводящем металлическом трубопроводе, с использованием теплообменника и впрыскивания криогена в жидкость. В некоторых вариантах способ включает стадии: (а) приведения одного или более теплообменников в тепловой контакт с трубопроводом, содержащим жидкость; (b) установки одного или более инжекторов криогена так, чтобы при активации один или более инжекторов впрыснули бы криоген в жидкость в трубопроводе; и (с) активации теплообменника так, чтобы хладагент или криоген в теплообменнике поглощал тепловую энергию и образовывал использованный хладагент или криоген, тем самым извлекая тепловую энергию из трубопровода и жидкости, содержащейся в нем; (d) активации одного или более инжекторов криогена так, чтобы он впрыснул бы криоген в жидкость; и (е) быстрого рассеивания тепла, поглощенного теплообменником (теплообменниками), чтобы предотвратить рециркуляцию тепла от теплообменника назад к трубопроводу и жидкости, содержащейся в нем. В некоторых вариантах тепло, поглощенное теплообменником, рассеивается удалением использованного хладагента в окружающую среду. В некоторых вариантах использованный хладагент восстанавливается прохождением через систему охлаждения для удаления тепловой энергии, поглощенной использованным хладагентом из теплообменника в тепловом контакте с трубопроводом. В некоторых вариантах инжекторы криогена могут быть установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику так, чтобы криоген и охлажденная жидкость входила и протекала через теплообменник. В некоторых вариантах инжекторы криогена могут быть установлены выше по потоку и ниже по потоку по отношению к теплообменнику для альтернативной активации, если направление потока модулируется. Криоген может впрыскиваться в жидкость до тех пор, пока жидкость не станет вязкой, или до тех пор, пока жидкость не замерзнет или не станет оказывать сопротивление потоку, или не станет твердой. Хладагент или криоген в теплообменнике могут быть поддержаны в активном режиме таким образом, чтобы температура теплообменников оставалась ниже, чем в трубопроводе и жидкости, содержащейся в нем, так, чтобы замороженная пробка не расплавилась.

В некоторых вариантах поток в трубопроводе восстанавливают активацией одного или более нагревательных элементов в нагревающем канале в теплообменнике. Активация нагревательных элементов может направленно передать тепловую энергию к трубопроводу и содержащейся в нем замороженной пробке, тем самым позволяя сформировать зону плавления в пробке и формируя канал в пробке. Хладагент или криоген в теплообменнике позволяет поддерживать адгезию оставшейся пробки к трубопроводу, тем самым предотвращая запуск пробки в качестве "ледяной пули" в трубопроводе. При манипулировании нагревательными элементами в нагревающем канале способ позволяет сформировать канал в замороженной пробке, тем самым восстанавливая частичный поток жидкости в трубопроводе и тем самым контролируемо расплавляя замороженную пробку, пока она остается присоединенной к стенке трубопровода.

В некоторых вариантах в систему может быть включен шунтирующий контур для устранения перепада давления в теплообменнике до оттаивания и, тем самым минимизируя или устраняя возможность

запуска частично замороженной пробки по системе в качестве "ледяной пули". Шунтирующий контур позволяет для контролируемой жидкости повысить давление на стороне трубопровода с низким давлением до оттаивания, тем самым выравнивая давления в производственном трубопроводе или трубопроводе.

В некоторых вариантах пробка, сформировавшаяся в углеводородной жидкости в результате изъятия тепловой энергии из жидкости, является аморфной из-за различных скоростей осаждения/замораживания молекул с более высоким молекулярным весом по сравнению с материалами с более низким молекулярным весом. В таких вариантах было определено, что впрыскивание поверхностно-активного вещества в жидкость до изъятия тепловой энергии и замораживания углеводородной жидкости приводит к более гомогенному замораживанию жидкости и способствует лучшей адгезии замороженной пробки к внутренней поверхности трубопровода. Когда введено поверхностно-активное вещество, высокомолекулярный материал не образует кластеры в жидкости, и формируется более гомогенная пробка.

Соответственно также предложены способы получения замороженной пробки в жидкости, в которых способ включает введение поверхностно-активного вещества в жидкость до замораживания жидкости. Предпочтительным путем исполнения данного способа является использование устройства, описанного здесь, которое включает вспомогательные инжекторы для впрыскивания поверхностно-активного вещества в жидкость до, после или одновременно с впрыскиванием криогена в жидкость в трубопроводе.

В некоторых вариантах способ включает стадии: (1) установки криотермодинамической вентильной системы, которая включает (а) один или более теплообменников в тепловом контакте с трубопроводом, содержащим жидкость; (b) один или более инжекторов криогена так, чтобы при активации один или более инжекторов впрыскивали бы криоген в жидкость в трубопроводе; и (с) один или более вспомогательных инжекторов, которые при активации одного или более дополнительных инжекторов впрыскивали бы поверхностно-активное вещество в жидкость в трубопроводе; (2) активации криотермодинамической вентильной системы таким образом, чтобы: (а) тепловая энергия поглощалась хладагентом или криогеном в теплообменнике с образованием использованного хладагента или криогена в теплообменнике, тем самым удаляя тепловую энергию из трубопровода и жидкости, содержащейся в нем; (b) инжектор (инжекторы) криогена впрыскивал (впрыскивали) криоген в жидкость; (с) вспомогательный инжектор (инжекторы) впрыскивал (впрыскивали) поверхностно-активное вещество в жидкость; и (3) предоставления достаточного времени жидкости в трубопроводе на то, чтобы стать вязкой и/или замерзшей, тем самым останавливая поток жидкости в трубопроводе. В предложенных способах тепло, поглощенное теплообменником (теплообменниками), быстро рассеивается, чтобы предотвратить рециркуляцию тепла от теплообменника назад к трубопроводу и жидкости, содержащейся в нем. В некоторых вариантах тепло, поглощенное теплообменником, рассеивается удалением использованного хладагента в окружающую среду. В некоторых вариантах использованный хладагент восстанавливается прохождением через систему охлаждения для удаления тепловой энергии, поглощенной использованным хладагентом из теплообменника в тепловом контакте с трубопроводом. В некоторых вариантах инжекторы криогена установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику так, чтобы смесь криоген-охлажденная жидкость протекала через теплообменник. В некоторых вариантах инжекторы криогена установлены ниже по потоку по отношению к теплообменнику. В некоторых вариантах инжекторы криогена установлены выше по потоку и ниже по потоку по отношению к теплообменнику. Криоген может впрыскиваться в жидкость до тех пор, пока жидкость не станет вязкой или до тех пор, пока жидкость не замерзнет или не станет оказывать сопротивление потоку, или не станет твердой. Хладагент или криоген в теплообменнике могут быть поддержаны в активном режиме таким образом, чтобы температура теплообменников оставалась ниже, чем температура в трубопроводе и жидкости, содержащейся в нем, так, чтобы замороженная пробка не расплавилась. В некоторых вариантах вспомогательные инжекторы установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику и инжектору криогена. В некоторых вариантах вспомогательные инжекторы установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику, но ниже по потоку по отношению к инжектору криогена.

В способах, где вспомогательные инжекторы впрыскивают одно или более поверхностно-активных веществ в жидкость в трубопроводе, может быть использовано любое поверхностно-активное вещество. Например, поверхностно-активное вещество может включать любое анионное, катионное, цвиттерионное, неионное или кремнийорганическое поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ, включая пример поверхностно-активного вещества, описанный здесь, и такие поверхностно-активные вещества могут быть впрыснуты в жидкость в трубопроводе или производственный трубопровод с использованием одного или более вспомогательных инжекторов.

В некоторых вариантах, в частности в вариантах, где жидкость является газом, таким как природный газ, в жидкость может быть впрыснута шунтирующая жидкость для активации формирования замороженной пробки в жидкости.

Соответственно также предлагаются способы создания замороженной пробки в жидкости, в частности в жидком газе, но не ограничиваясь им, где способ включает впрыскивание шунтирующей жидкости в жидкость до замораживания жидкости. Предпочтительным методом исполнения данного способа является использование устройства, описанного здесь, которое включает вспомогательные инжекторы для

впрыскивания шунтирующей жидкости в жидкость до, после или одновременно с впрыскиванием криогена в жидкость в трубопроводе. В некоторых вариантах способ включает стадии: (1) установки криотермодинамической вентильной системы, которая включает (а) один или более теплообменников в тепловом контакте с трубопроводом, содержащим жидкость; (b) один или более инжекторов криогена так, чтобы при активации один или более инжекторов впрыскивали бы криоген в жидкость в трубопроводе; и (с) один или более вспомогательных инжекторов, которые при активации одного или более дополнительных инжекторов впрыскивали бы шунтирующую жидкость в жидкость в трубопроводе; (2) активации криотермодинамической вентильной системы таким образом, чтобы: (а) тепловая энергия поглощалась хладагентом или криогеном в теплообменнике с образованием использованного хладагента или криогена в теплообменнике, тем самым удаляя тепловую энергию из трубопровода и жидкости, содержащейся в нем; (b) инжектор (инжекторы) криогена впрыскивал (впрыскивали) криоген в жидкость; и (с) вспомогательный инжектор (инжекторы) впрыскивал (впрыскивали) шунтирующую жидкость в жидкость; и (3) предоставления достаточного времени жидкости в трубопроводе на то, чтобы стать вязкой и/или замерзшей, тем самым останавливая поток или жидкость в трубопроводе. В предложенных способах тепло, поглощенное теплообменником (теплообменниками), быстро рассеивается, чтобы предотвратить рециркуляцию тепла от теплообменника назад к трубопроводу и жидкости, содержащейся в нем. В некоторых вариантах тепло, поглощенное теплообменником, рассеивается удалением использованного хладагента в окружающую среду. В некоторых вариантах использованный хладагент восстанавливается прохождением через систему охлаждения для удаления тепловой энергии, поглощенной использованным хладагентом из теплообменника в тепловом контакте с трубопроводом. В некоторых вариантах инжекторы криогена установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику так, чтобы смесь криоген-охлажденная жидкость протекала через теплообменник. В некоторых вариантах инжекторы криогена установлены ниже по потоку по отношению к теплообменнику. В некоторых вариантах инжекторы криогена установлены выше по потоку и ниже по потоку по отношению к теплообменнику. Криоген может впрыскиваться в жидкость до тех пор, пока жидкость не станет вязкой или до тех пор, пока жидкость не замерзнет или не станет оказывать сопротивление потоку, или не станет твердой. Хладагент или криоген в теплообменнике могут быть поддержаны в активном режиме таким образом, чтобы температура теплообменников оставалась ниже, чем в трубопроводе и жидкости, содержащейся в нем, так, чтобы замороженная пробка не расплавилась. В некоторых вариантах вспомогательные инжекторы установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику и инжектору криогена. В некоторых вариантах вспомогательные инжекторы установлены выше по потоку по отношению к теплообменнику, но ниже по потоку по отношению к инжектору криогена.

Е. Примеры.

Следующие примеры приведены только для пояснительных целей и не предназначены ограничить объем предложенного изобретения.

Пример 1. Вертикальный трубопровод.

Криотермодинамическая вентильная система КристоПлаг была изготовлена и протестирована на вертикальном трубопроводе. Пример варианта изображен схематически на фиг. 13. Конфигурация вертикального трубопровода по примеру 1, как описано более подробно ниже, имела скорость потока нефтяной пены в системе около 550 баррель в день или 10 фут/с.

В этой системе вертикального трубопровода система включала теплообменник 10 и инжектор криогена 67. В этом примере теплообменник 10 включал трубопровод 2, который включал 3 фута ребристой трубы из углеродистой стали (труба из углеродистой стали, высота ребра: 5/8 дюйма, шаг ребер: 1/4 дюйма) с внутренним диаметром в 13/16 дюйма и сегментом размером 6 дюймов $1a_{top}$ ребристой трубы из углеродистой стали на верхнем конце и сегментом размером 6 дюймов $1a_{bottom}$ ребристой трубы из углеродистой стали на нижнем конце ребристого трубопровода, с достижением полной длины трубопровода в 4 фута. Трубопровод 2 и часть каждой из труб $1a_{top}$ и $1a_{bottom}$ были заключены в стальную трубу диаметром 3 дюйма 2с в качестве внешней обсадной колонны, и стальная плита шириной 1/8 дюйма 4 с отверстием, через которое проходила часть трубопровода $2a_{bottom}$, была приварена к нижней части внешней обсадной трубы 2с и вокруг трубопровода $2a_{bottom}$ для герметизации нижней части теплообменника 10, тем самым формируя герметизированную трубу с полостью между трубопроводом 2 и обсадной трубой 2с, но позволяя трубопроводу $2a_{bottom}$ выходить наружу. Днище 4 было оснащено стальными фитингами размером 3/8 дюйма для создания впускного отверстия 12 в теплообменнике для того, чтобы вводить хладагент от устройства подачи 50 в теплообменник 10. Внутренняя часть впускного отверстия 12 была оснащена алюминиевым экраном 93. Сосуд Дьюара объемом 180 л с жидким аргонем (Air Products and Chemicals, Inc., Чикаго, Иллинойс, США) использовался как модуль подачи хладагента 50, представляя жидкий аргон в качестве хладагента. Впускное отверстие 12 было прикреплено изолированной медной трубой размером 3/8 дюйма к модулю подачи хладагента 50. Поток жидкого аргона от модуля подачи хладагента 50 (сосуд Дьюара с жидким аргонем) к впускному отверстию 12 теплообменника 10 регулировался с использованием вентиля подачи жидкого аргона сосуда Дьюара 50.

Внутренняя полость теплообменника 10 между трубопроводом 2 и обсадной трубой 2с была заполнена тысячами стальных таблеток (дробь диаметром 0,177 дюйма), заполняя пространство между ребра-

ми трубопровода 2 и между ребристым трубопроводом 2 и внешней обсадной трубой диаметром 3 дюйма 2с. Алюминиевый экран 8, через который проходит трубопровод 2, был прикреплен к концу 2с и поверхности трубопровода 2 с использованием шланговых зажимов для удержания стальных таблеток в теплообменнике 10 и предотвращения их удаления при нагрузке теплообменника 10. Прямоугольные металлические стойки (не показаны на фиг. 13) были приварены к обсадной трубе диаметром 3 дюйма 2с для обеспечения самоустойчивости прототипа. Теплообменник 10 включал изоляционный слой 30 из пенополиуретана в качестве изоляции. Для прикрепления пенополиуретанового изоляционного слоя 30 использовалась клейкая изолирующая лента.

Вертикально-ориентированная криотермодинамическая вентильная система также включала инжектор криогена 67. Медный фитинг размером 3/8 дюйма был приварен к ребристой стальной трубе 2a_{bottom} в качестве инжектора 67. Инжектор 67 был прикреплен к модулю подачи 75 посредством изолированной медной трубы размером 3/8 дюйма и модулирующего вентиля 72, который регулировал поток криогенной смеси от выхода 76 модуля подачи 75. Сосуд Дьюара объемом 180 л с жидким аргоном (Air Products and Chemicals, Inc., Чикаго, Иллинойс, США) использовался как модуль подачи хладагента 75. Модулирующий вентиль 72 был соединен с впускным отверстием 63 для подачи криогена к инжектору 67.

Стальные фитинги размером один дюйм были использованы для прикрепления изолированного гибкого шланга диаметром 1 дюйм 92 для подачи сырого топлива 70 от пластикового резервуара 95 к насосу 40 и манометру 82 к днищу трубопровода 2. Сырая нефть 70 была нефтяной пеной, отделенной от пластовой воды системой устранения пластовых вод. 10 галлонов нефтяной пены было использовано и добавлено в резервуар 95. Центробежный электрический насос мощностью 1 л.с. (W.W. Grainger, Inc., Лейк-Форест, Иллинойс, США, устройство номер 4UA65) был использован в качестве насоса 40. Манометром 82 был 2 1/2" заполненный жидкостью манометр из нержавеющей стали (W.W. Grainger, Inc., Лейк-Форест, Иллинойс, США, устройство номер 4CFH7).

Фитинги размером один дюйм были использованы для прикрепления изолированного гибкого шланга диаметром 1 дюйм 91 к верхнему концу трубопровода 2 для возврата сырой нефти 70 от теплообменника 10 обратно в резервуар 95. Температура сырой нефти в резервуаре и/или возвращающейся от теплообменника контролировалась одним или более приборами контроля тепла 15 (Extech IR thermometers, Extech Instruments, Уолтем, Массачусетс, США, модель L-1004264, с диапазоном температур от -50° до 380° С). Две камеры Flip minoHD с треногами (Cisco Systems, Inc., Сан-Хосе, Калифорния, США) и видекамера Olympus X-560WP с треногой (Olympus America, Inc., Сентер-Валли, Пенсильвания, США) были расположены вокруг системы для создания видеозаписи тестирования.

Методика испытаний.

Поток нефти 70 от резервуара 95 был инициирован активацией насоса 40, и на стабилизацию потока нефти 70 в системе было отведено по меньшей мере 5 мин. Температура нефти 70 в резервуаре 95 составляла 35°С. Давление на манометре 82 было равно приблизительно 0 фут/кв.дюйм (открытая система). Измеренная скорость потока перекачиваемой нефти составляла 5 галлонов за 18 с или 0,28 галлон/с, что составляло 16,67 галлон/мин, что равняется около 0,4 баррель/мин или около 570 баррель в день.

Аргоновый хладагент был введен в теплообменник 10 активированием потока аргона от сосуда Дьюара с аргоном (модуль подачи хладагента 50) или регулировкой вентиля 19 для предоставления возможности аргону втечь во впускное отверстие 12. Начальный поток был относительно слабым во избежание удаления дробы из теплообменника 10. Скорость потока жидкого аргона из сосуда Дьюара была увеличена до тех пор, пока теплообменник 10 не был заполнен жидким хладагентом, на что указывало видимое распыливание аргона с верхней части через экран 8 и его подтекание с нижней части теплообменника 10. После заполнения теплообменника 10 жидким аргоном температура нефти 70 в резервуаре 95 была перепроверена и была обнаружена равной 38°С.

Аргоновый криоген был впрыснут в систему постепенным открыванием модулирующего вентиля 72 для инициации потока аргонового криогена через впускное отверстие 63. Поток аргонового криогена сопровождался быстрыми слышимыми акустическими импульсами. После того как 3/8" медный подводный трубопровод 63 и инжектор 67 охладилась, на внешней части медного трубопровода и трубопровода образовались ледяные кристаллы, и инжектор стал белого цвета. В течение нескольких секунд частота акустических импульсов снизилась и затем стремительно остановилась, раздался свистящий шум и поток нефти прекратился. Модулирующий вентиль 72 был закрыт для остановки потока аргона из сосуда Дьюара (модуль подачи хладагента 50). Газообразный аргон в системе продолжал удаляться из системы через возвратную трубу гибкого шланга 91 в резервуар 95 много секунд спустя после прекращения потока нефти. Дальнейшего потока нефти не наблюдалось. Давление на манометре 82 составляло 20 футов на квадратный дюйм, и насос издавал громкий звук, когда прикладывал усилия для прокачивания против замороженной нефти. Насос 40 был отключен, вентиль 19 в сосуде Дьюара 50 был закрыт, и система была оставлена оттаиваться на ночь. Добываемая нефть обычно смешана с водой. Вода замерзает при более высокой температуре, чем нефть. Таким образом, ожидается, что добываемую нефть легче заморозить, чем нефтяную пену, использованную в этом примере.

Пример 2. Горизонтальный трубопровод.

Криотермодинамическая вентиляционная система была изготовлена и испытана в горизонтальном трубопроводе. Образцовый вариант изображен схематически на фиг. 14А и 14В.

В этой системе горизонтально-ориентированного трубопровода система включала теплообменник 10 и инжектор криогена 60, увеличенное изображение которого приведено на фиг. 14А. В этом примере теплообменник 10 включал трубопровод 2, который включал ребристую трубу из нержавеющей стали 304 длиной 6 футов 2f (нержавеющая стальная ребристая труба, высота ребра: 3/4 дюйма, шаг ребер: 1/4 дюйма) с внешним диаметром в 3 дюйма (толщина стен: 0,120") и сегмент 2a_{left} размером 12 дюймов не ребристой трубы из нержавеющей стали на левом конце, и сегмент 2a_{right} размером 12 дюймов не ребристой трубы из нержавеющей стали на правом конце ребристой трубы 2f для достижения полного размера трубопровода в 8 футов. Ребристая труба 2f и части каждой из труб 2a_{left} и 2a_{right} были заключены в трубу из углеродистой стали диаметром 5 дюймов 2с в качестве внешней обсадной трубы. Днище 3 размером 1/8 дюйма с отверстием, через которое проходила часть трубопровода 2a_{left}, была приварена к левой части внешней обсадной трубы 2с и вокруг трубопровода 2a_{left} для герметизации левой части теплообменника 10. Днище 4 толщиной 1/8 дюйма с отверстием, через которое проходила часть трубопровода 2a_{right}, была приварена к правой части внешней обсадной трубы 2с и вокруг трубопровода 2a_{right} для герметизации правой части теплообменника 10. С приваренными днищами 3 и 4 была сформирована труба с полостью между трубопроводом 2 и обсадной трубой 2с с выходящими наружу трубопроводами 2a_{left} и 2a_{right}.

Внутренняя полость теплообменника 10 между трубопроводом 2 и обсадной трубой 2с была заполнена тысячами стальных таблеток (диаметром 0,177 дюйма), заполняя пространство между ребрами 2б трубопровода 2 и между ребристым трубопроводом 2 и внешней обсадной трубой диаметром 3 дюйма 2с. Алюминиевые экраны 93 удерживают стальные таблетки в теплообменнике 10 и предотвращают их удаление криогеном при нагрузке теплообменника 10.

Обсадная труба 2с была оснащена медными фитингами размером 1/2 дюйма для создания впускного отверстия 12 в теплообменнике 10 для того, чтобы вводить криоген от модулей подачи в теплообменник 10. В эксперименте каждое впускное отверстие 12 было соединено с двумя сосудами Дьюара с жидким азотом. Внутренние части впускных отверстий 12 в теплообменнике 10 были оснащены алюминиевыми экранами 93. Обсадная труба 2с также была оснащена медными фитингами размером 1/2 дюйма, которые создавали выпускное отверстие 13 в теплообменнике 10 для удаления криогена из теплообменника 10. Внутренние части выпускного отверстия 13 в теплообменнике 10 были оснащены алюминиевыми экранами 93. К концам выпускных отверстий 13 были прикреплены уплотнители 100 для минимизации распыления капель криогена при активации устройства.

Горизонтально-ориентированная криотермодинамическая вентиляционная система в этом примере также включала инжектор криогена 67. Медный фитинг размером 1/2 дюйма был приварен к не ребристой стальной трубе 2a_{right} как инжектор 67. Опциональный вспомогательный инжектор 88, показанный на чертеже, не был включен в криотермодинамическую вентиляционную систему по этому примеру. Также на фиг. 14А изображен канал 45, который находится в тепловой связи с ребристой трубой 2f в теплообменнике 10. Входное отверстие нагревающего канала 17 и выходное отверстие нагревающего канала 18 предоставляют доступ к нагреваемому каналу 45. Теплообменник 10 включал изоляционный слой 30 из пенополиуретана в качестве изоляции. Для прикрепления пенополиуретанового изоляционного слоя 30 использовалась изолирующая лента.

Криотермодинамическая вентиляционная система в горизонтальной конфигурации изображена на фиг. 14В. Как показано на чертеже, теплообменник 10 был таким, как описанный на фиг. 14А, за исключением того, что инжектор криогена 67 был заменен модулем инжектора криогена 60, который включал инжектор криогена 67, вентиль отвода криогена 33, вентиль сброса давления криогена 32 и вентиль контроля криогена 31 на одной прямой с инжектором криогена до его соединения с не ребристой трубой 2a_{right}. Модуль инжектора 60 был выше по потоку по отношению к теплообменнику 10. Модуль инжектора 60 был соединен с двумя сосудами Дьюара с жидким азотом (Air Products and Chemicals, Inc., Чикаго, Иллинойс, США), которые использовались как модуль подачи криогена. Выходные отверстия криогена 13 в этом эксперименте также включали отверстие переполнения криогеном 34, из которого жидкий криоген может удаляться при заполнении теплообменника 10 жидким криогеном.

Не ребристая стальная труба 2a_{right} была соединена с насосом мощностью 40 л.с. 40, который был расположен выше по потоку по отношению к инжектору 67. Насос 40 был соединен с резервуаром 95 посредством трубы или трубопровода, показанного на фиг. 14В как всасывающий трубопровод 27. При активации насос 40 перемещает жидкость 70 из резервуара 95 через всасывающий трубопровод 27 и доставляет жидкость 70 мимо инжектора 67 в теплообменник 10. В трубопроводе между инжектором 67 и насосом 40 расположены опциональные контрольные приборы. В этом эксперименте датчик давления 24 и тепловой контрольный прибор 15 были включены выше по потоку по отношению к инжектору 67 между инжектором 67 и насосом 40. Также между насосом 40 и инжектором 67 был вентиль сброса давления 21 и ручной обводной вентиль 22, и обводной контур 28 для возвращения жидкости 70 в резервуар 95 при необходимости. Система в этом примере также включала расположенный ниже по потоку температурный датчик 38, расположенный ниже по потоку ультразвуковой датчик скорости потока 25 и расположенный ниже по потоку датчик давления 39. Основной обратный трубопровод жидкости 84 был со-

единен с выходом теплообменника 10 посредством соединения с не ребристой стальной трубой 2a_{left}. Основной обратный трубопровод жидкости 84 был соединен с входным отверстием резервуара 95, который включал смотровое окно 85.

Жидкость 70 была нефтяной пеной, отделенной от пластовой воды системой захоронения пластовых вод. Температура сырой нефти 70 в резервуаре 95 и/или возвращающейся из теплообменника 10 контролировалась одним или более приборами контроля тепла 38. Цифровые видеокамеры были расположены вокруг системы для создания видеозаписи тестирования.

Методика испытаний.

Поток нефти 70 от резервуара 95 был инициирован активацией насоса 40, и на стабилизацию потока нефти 70 в системе было отведено по меньшей мере 5 мин для достижения запланированной скорости потока 2 баррель/мин. Скорость потока модулировалась регулированием вентилей 21 и 22 в комбинации с вентилем 19. Температура нефти 70 в резервуаре 95 была измерена и определена равной 24°C. Скорость потока жидкости 70 была измерена, и насос был отрегулирован для обеспечения скорости потока 2,5 фут/с.

Жидкий азот в качестве криогена был введен в теплообменник 10 активированием потока жидкого азота от сосуда Дьюара с жидким азотом, соединенным с модулем инжектора криогена 60 регулировкой вентилей в сосуде Дьюара для предоставления возможности жидкому азоту втечь во впускное отверстие 12 и через трубопровод 29 в теплообменник 10. Скорость потока жидкого аргона из сосуда Дьюара была увеличена до тех пор, пока теплообменник 10 не был заполнен жидким хладагентом, на что указывал выход жидкого азота из наполненного вентиля 34. В рамках этого эксперимента полное наполнение теплообменника 10 жидким азотом не было достигнуто.

Криоген затем был впрыснут в систему постепенным открыванием модулирующего вентиля в сосуде Дьюара с жидким азотом для инициации потока жидкого азота через модуль инжектора криогена 60. В течение около 45 с поток через теплообменник 10 был нулевым, и поток не возобновился после остановки впрыскивания жидкого азота через модуль инжектора криогена 60. Жидкость ниже по потоку и выше по потоку по отношению к пробке была удалена, и пробка наблюдалась визуально с использованием беспроводного бороскопа (DeWalt 12-Volt Max Inspection Camera Kit) и тактически (прижиманием бороскопа к пробке). Пробка была прочно прикреплена к стенам трубопровода.

Этот эксперимент был повторен с использованием смеси жидкого азота и жидкого аргона в теплообменнике, что также приводило к формированию замороженной пробки в текущей жидкости.

Несмотря на то что были описаны различные варианты предложенного здесь предмета, следует понимать, что они были представлены только в качестве примеров, но не ограничения.

Поскольку модификации изобретения будут очевидны квалифицированным специалистам, предполагается, что изобретение ограничивается только рамками прилагаемой "Формулы изобретения".

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство передачи тепла для модуляции тепловой энергии жидкости в теплопроводящем трубопроводе, включающее

устройство для инъекции криогенной жидкости, которое впрыскивает криогенную жидкость через инжектор в протекающую в трубопроводе жидкость; причем криогенная жидкость выбирается из жидкого азота, жидкого кислорода, жидкого гелия, жидкого неона, жидкого метана, сжиженного природного газа, жидкого аргона, жидкой закиси азота, сжиженного углекислого газа или их комбинации;

теплообменник типа труба в трубе, через который может протекать жидкий хладагент, где внутренняя труба теплообменника образует внутреннюю стенку и является либо частью трубопровода, либо окружает часть трубопровода, а внешняя труба образует внешнюю стенку теплообменника, причем область между внутренней стенкой и внешней стенкой заполнена частицами, наполнителями, тюнингами, шавингами, таблетками или бусинами из теплопроводящего металла, где по крайней мере часть частиц, наполнителей, тюнингов, шавингов, таблеток или бусин из теплопроводящего металла находится в тепловой взаимосвязи по меньшей мере с частью трубопровода; причем расстояние между внутренней и внешней стенками составляет приблизительно от 0,05 до 500 дюймов, либо приблизительно от 10 до 500% внутреннего диаметра теплообменника; причем теплообменник выполнен с возможностью подачи жидкого хладагента в область теплообменника, содержащую частицы, наполнители, тюнинги, шавинги, таблетки или бусины из теплопроводящего металла, причем устройство инъекции расположено выше по течению относительно теплообменника.

2. Устройство по п.1, дополнительно включающее вспомогательный инжектор для впрыскивания некриогенного материала в жидкость, находящуюся в трубопроводе.

3. Устройство по п.1 или 2, в котором частицы, наполнители, тюнинги, шавинги, таблетки или бусины включают теплопроводящий металл, выбранный из меди, латуни, бериллия, кадмия, кобальта, хромоникелевой стали, золота, серебра, иридия, железа, свинца, магния, молибдена, никеля, платины, олова, цинка, углеродистой стали, нержавеющей стали и любой комбинации или сплава этих веществ.

4. Устройство по любому из пп.1-3, в котором теплообменник дополнительно включает один или

более нагревающих каналов, которые проходят через теплообменник по всей его длине или по части его длины, при этом

нагревающие каналы выполнены таким образом, чтобы содержать жидкость; или

нагревающие каналы выполнены таким образом, чтобы содержать один или более нагревательных элементов.

5. Устройство по п.4, где нагревательный элемент выбран из нагревателя до температуры Кюри, нагревателя с ограничением температуры, источника тепла, представляющего собой проводник в трубопроводе, ленточного нагревателя, полосы для нагревания, имеющей высокое сопротивление, керамического нагревателя с положительным температурным коэффициентом, толстого пленочного керамического нагревателя, провода высокого сопротивления или устройства для нагревания с лентой высокого сопротивления.

6. Устройство по любому из пп.1-5, в котором хладагент включает криогенную жидкость, жидкий растворитель или их комбинацию, где криогенная жидкость выбрана из жидкого азота, жидкого кислорода, жидкого гелия, жидкого неона, жидкого метана, сжиженного природного газа, жидкого аргона, жидкой закиси азота, жидкой двуокиси углерода или их комбинации.

7. Устройство по любому из пп.1-6, где теплообменник дополнительно включает первую пластину 3, имеющую отверстие, через которое может проходить первый конец внутренней трубы 2, причем пластина 3 прикреплена к первому ее концу и образует первый конец теплообменника; вторую пластину 4, имеющую отверстие, через которое может проходить второй конец внутренней трубы 2, причем пластина 4 прикреплена ко второму ее концу и образует второй конец теплообменника; впускное отверстие 12 для введения хладагента в теплообменник; выходное отверстие 13 для удаления хладагента из теплообменника.

8. Устройство по п.7, дополнительно включающее теплопроводящие ребра, находящиеся в тепловой связи с трубопроводом 2, где

ребра расположены радиально по отношению к трубопроводу 2; или

ребра расположены продольно вдоль трубопровода 2; или

ребра расположены радиально и продольно по отношению к трубопроводу 2;

ребра сконфигурированы таким образом, чтобы иметь одинаковую длину; или

ребра сконфигурированы таким образом, чтобы обладать двумя или больше различными длинами;

ребра могут быть зубчатыми, или перфорированными, или иметь обе этих особенности.

9. Устройство по п.7 или 8, в котором впускное отверстие 12 включает входной трубопровод, присоединенный к 2 или больше отверстиям в теплообменнике, чтобы распределить хладагент к двум или больше местам инъекции в теплообменнике.

10. Устройство по п.9, в котором входной трубопровод, присоединенный к двум или больше отверстиям в теплообменнике, распределяет хладагент к

двум или больше местам инъекции, радиально расположенным в теплообменнике; или

двум или больше местам инъекции, продольно расположенным в теплообменнике; или

двум или больше местам инъекции, аксиально расположенным в теплообменнике, и к двум или больше местам инъекции, аксиально расположенным в теплообменнике.

11. Устройство по любому из пп.1-10, дополнительно включающее дефлектор, который модулирует поток хладагента внутри теплообменника.

12. Устройство по любому из пп.1-11, дополнительно содержащее одно или более устройств контроля тепла, расположенных по пути потока хладагента через теплообменник.

13. Система для удаления тепловой энергии из теплопроводящего трубопровода, содержащего жидкость, включающая

устройство передачи тепла по любому из пп.1-12;

систему управления, выполненную с возможностью регулирования отвода тепла от трубопровода с помощью устройства передачи тепла, при этом система управления содержит один или более дозирующих клапанов для регулировки потока хладагента через теплообменник.

14. Система по п.13, дополнительно содержащая

подающий контур, соединенный с модулем подачи жидкого хладагента для обеспечения потока жидкого хладагента к теплообменнику;

выходной контур, включающий выходную трубу для удаления жидкого хладагента из теплообменника после того, как он абсорбировал тепловую энергию из трубопровода.

15. Система по п.13 или 14, дополнительно включающая модуль подачи криогенной жидкости, который подает криогенную жидкость в устройство инъекции криогенной жидкости.

16. Система по любому из пп.13-15, дополнительно включающая средства теплоизоляции для теплоизоляции теплообменника и по крайней мере части трубопровода с одной или с обеих сторон от точки крепления теплообменника от окружающей среды.

17. Система по любому из пп.13-16, дополнительно включающая один или больше чем один нагревательный элемент, расположенный вдоль пути выходного контура.

18. Система по любому из пп.13-17, дополнительно включающая насос для прокачивания хладагента.

та через теплообменник.

19. Система по любому из пп.13-18, дополнительно включающая компьютерный модуль с компьютерным процессором.

20. Система по любому из пп.13-19, дополнительно включающая устройства, обеспечивающие контроль тепла и расположенные внутри теплообменника или вдоль трубопровода.

21. Система по любому из пп.14-20, дополнительно включающая контур рециркуляции, который направляет жидкий хладагент из системы после того, как он поглотил тепловую энергию из трубопровода, в систему охлаждения, которая забирает поглощенную тепловую энергию от жидкого хладагента и рециркулирует хладагент назад к модулю подачи хладагента.

22. Система по п.21, в которой система охлаждения, которая удаляет из жидкого хладагента поглощенную тепловую энергию и рециркулирует хладагент назад к модулю подачи хладагента, включает замкнутую систему охлаждения; или

систему охлаждения до ультранизких температур, или компрессор, конденсатор, сушилку фильтра и теплообменник; или

поршневой компрессор, ротационный компрессор, шнековый компрессор, компрессор спирального типа или комбинацию любых из этих компрессоров.

23. Система по любому из пп.13-22, дополнительно включающая один или более дозирующих клапанов регулирования расхода для контроля или модуляции потока жидкого хладагента через теплообменник, или потока криогенной жидкости к устройству инъекции криогенной жидкости, или обоих потоков;

компьютерный модуль с компьютерным процессором, где компьютерный модуль находится в связи с одним или больше дозирующим клапаном регулирования расхода и управляет работой одного или больше дозирующего клапана регулирования расхода системы.

24. Способ временного предотвращения движения жидкости в трубопроводе с помощью устройства передачи тепла по любому из пп.1-12, присоединенного к трубопроводу таким образом, чтобы оно находилось в тепловом контакте по крайней мере с одной частью трубопровода, включающий введение хладагента в теплообменник и впрыскивание криогенной жидкости в жидкость, находящуюся в трубопроводе; причем впрыскивание криогенной жидкости в жидкость из трубопровода снижает температуру жидкости из трубопровода до того, как она вступает в контакт с областью трубопровода, к которой присоединено устройство передачи тепла; причем устройство передачи тепла и инъекция криогенной жидкости удаляют такое количество тепловой энергии, чтобы заставить жидкость в трубопроводе сформировать пробку, препятствующую движению жидкости по трубопроводу.

25. Способ по п.24, в котором способ дополнительно включает как стадию повышение температуры устройства передачи тепла с тем, чтобы оно передало тепловую энергию трубопроводу, таким образом расплавляя по меньшей мере часть замороженной пробки и восстанавливая поток жидкости через трубу.

26. Способ по п.24 или 25, в котором

трубопровод включает эксплуатационную трубу, расположенную в нефтяной скважине, а жидкость представляет собой нефть;

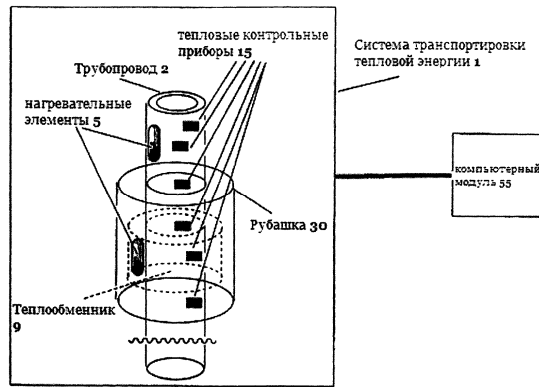
инъекция криогенной жидкости в нефть снижает температуру нефти прежде, чем она войдет в контакт с областью эксплуатационной трубы, к которой присоединено устройство передачи тепла.

27. Способ по любому из пп.24-26, где устройство передачи тепла содержит вспомогательный инжектор, который впрыскивает композицию, включающую шунтирующую жидкость, или поверхностно-активное вещество, или их комбинацию в жидкость, при этом поверхностно-активное вещество представляет собой анионное, катионное, цвиттерионное, неионное или кремнийорганическое поверхностно-активное вещество или комбинацию этих веществ, и шунтирующая жидкость включает воду, метанол, этиловый спирт, изопропиловый спирт или смеси этих веществ.

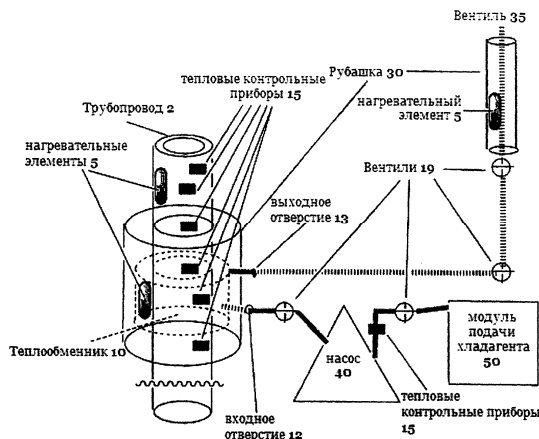
28. Способ по любому из пп.24-27, где жидкость в трубопроводе включает углеводород.

29. Способ по любому из пп.24-28, где жидкость в трубопроводе включает сырую нефть.

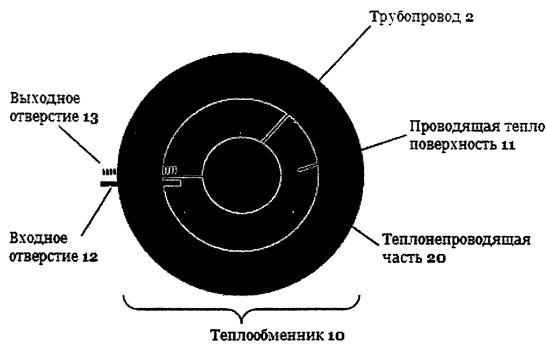
30. Способ по любому из пп.24-29, где жидкость в трубопроводе включает природный газ, содержащий алкан, алкен или алкин, или любую их комбинацию.



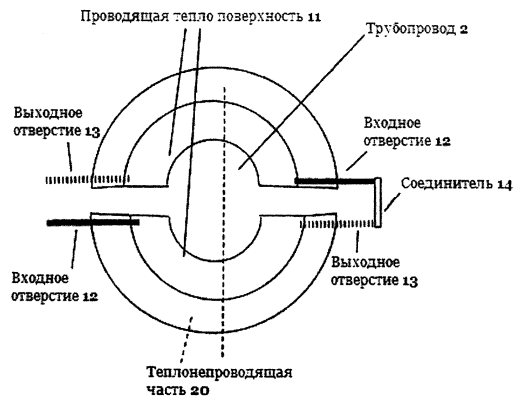
Фиг. 1



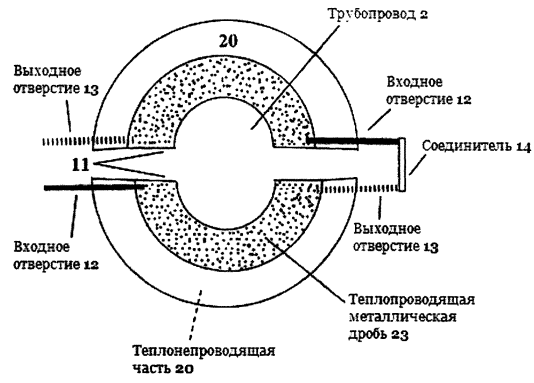
Фиг. 2



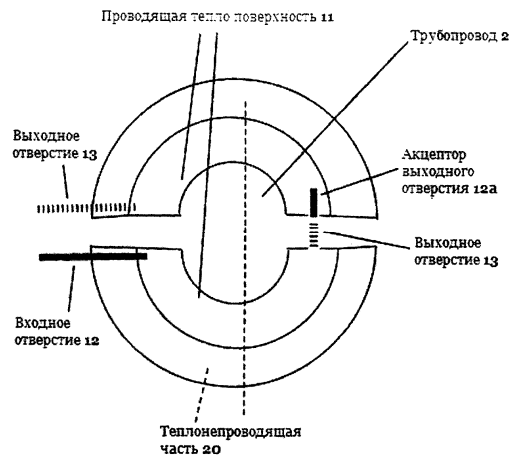
Фиг. 3



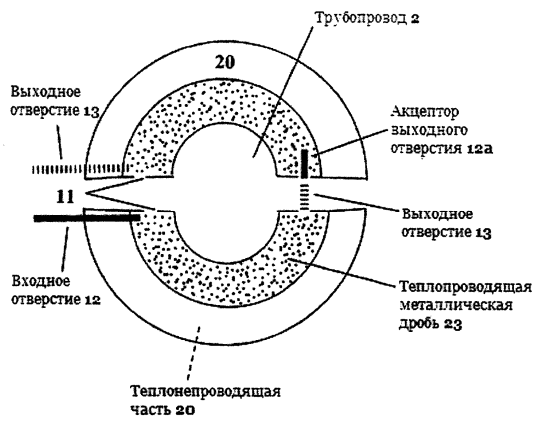
Фиг. 4А



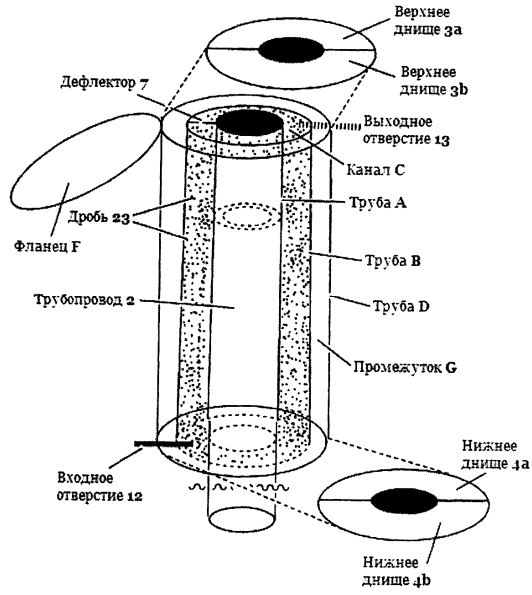
Фиг. 4В



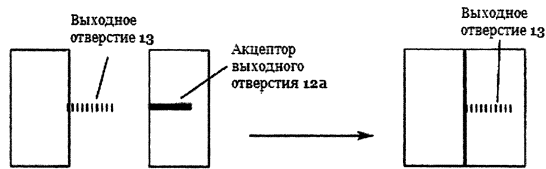
Фиг. 5А



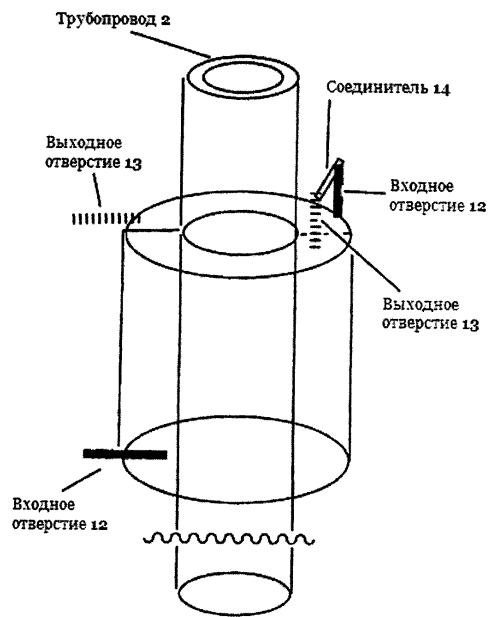
Фиг. 5В



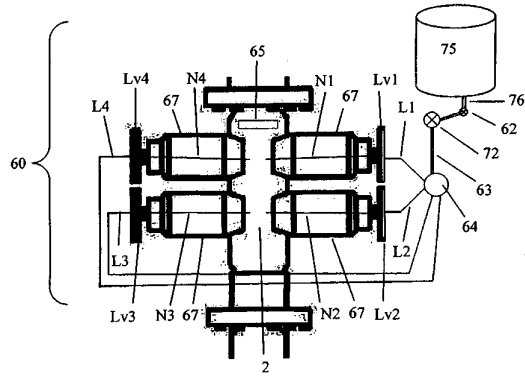
Фиг. 6



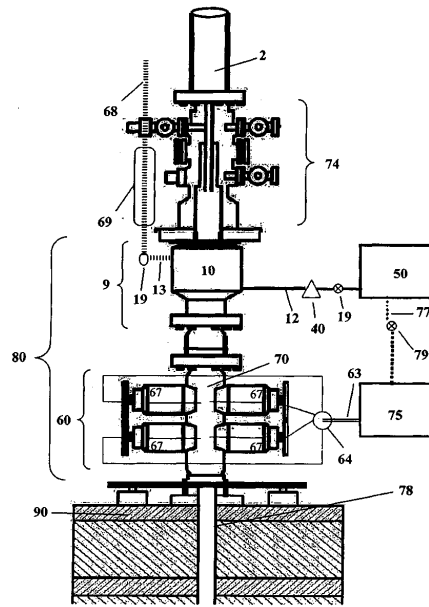
Фиг. 7



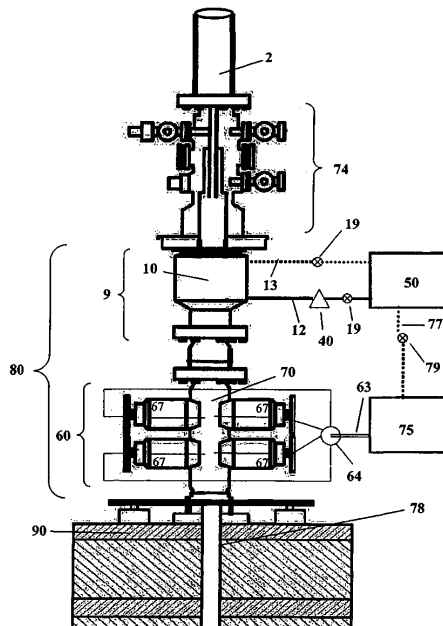
Фиг. 8



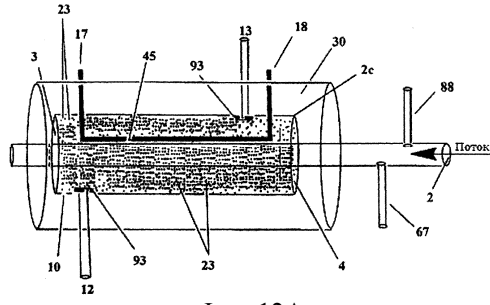
Фиг. 9



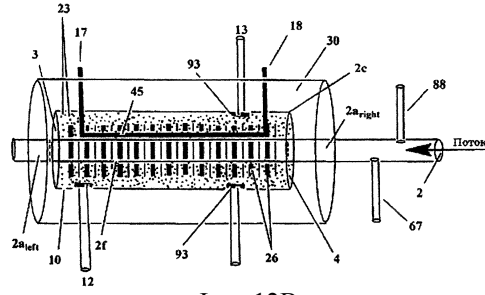
Фиг. 10



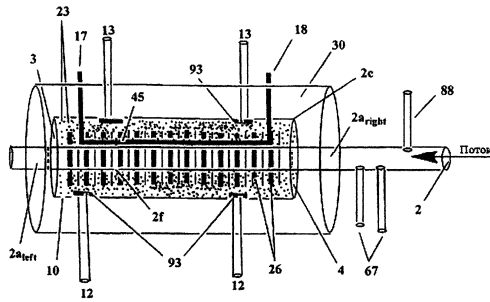
Фиг. 11



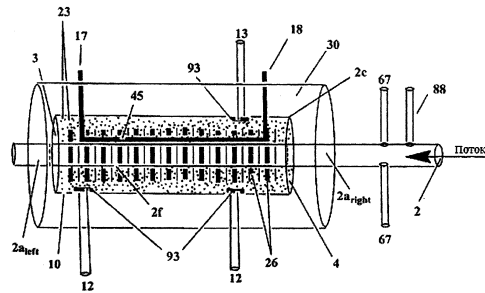
Фиг. 12А



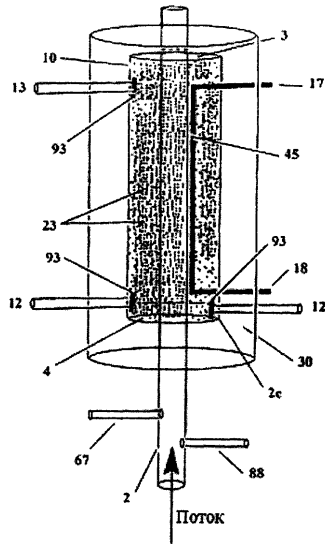
Фиг. 12В



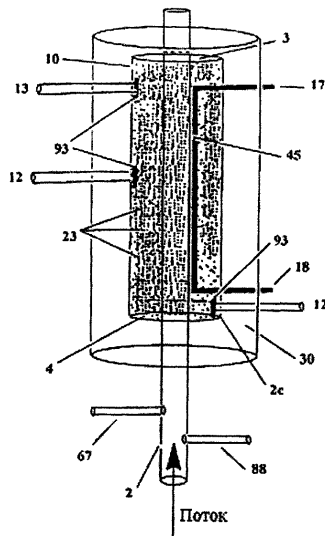
Фиг. 12С



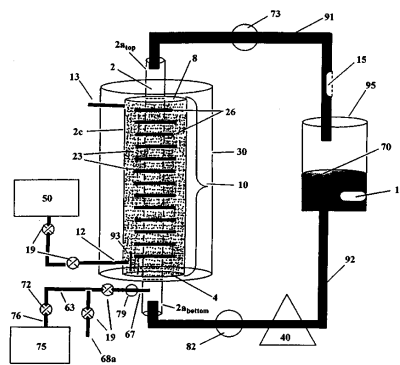
Фиг. 12D



Фиг. 12Е

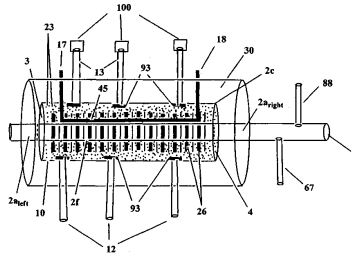


Фиг. 12F

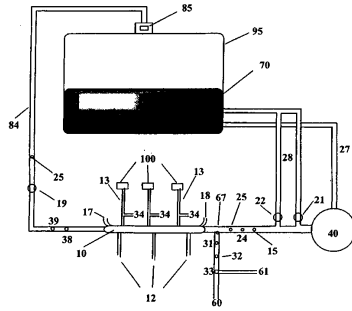


Фиг. 13

026872



Фиг. 14А



Фиг. 14В