

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201990679 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2019.10.31(22) Дата подачи заявки
2017.09.13(51) Int. Cl. F02G 1/043 (2006.01)
F04B 9/123 (2006.01)
F04B 19/24 (2006.01)

(54) ТЕПЛОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ДИНАМИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ВЫХОДОМ

(31) PV2016-559

(32) 2016.09.13

(33) CZ

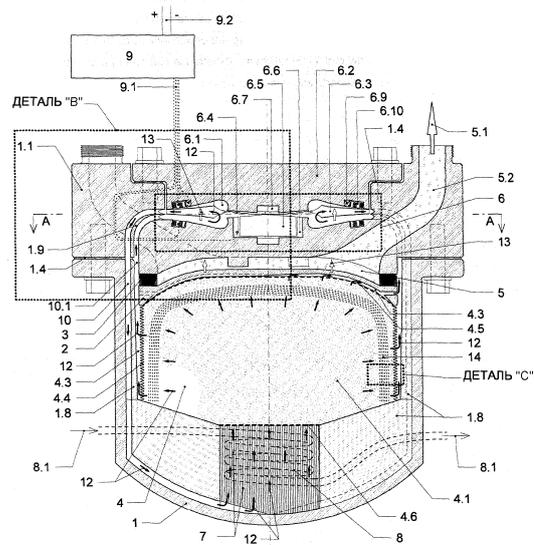
(86) PCT/CZ2017/050040

(87) WO 2018/050134 2018.03.22

(71)(72) Заявитель и изобретатель:
МЛЧЕК ИРЖИ (CZ)(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Тепловой двигатель с динамически управляемым гидравлическим выходом, приводимым в действие насосом высокого давления и газовой турбиной, содержащей сосуд (1) под давлением, крышку (1.1), подвижную перегородку (2), рабочее пространство (4) для газа, рабочее пространство (5) для жидкости и рекуператор (7), в котором между сосудом (1) под давлением и крышкой (1.1) расположено уплотнение (1.4), причем во внутреннем пространстве сосуда (1) под давлением перегородка (2) прикреплена с возможностью перемещения к складчатой мембране (3), которая прикреплена к крышке (1.1), причем перегородка (2) разделяет внутреннее пространство сосуда (1) под давлением на рабочее пространство (4) для газа и рабочее пространство (5) для жидкости, причем рабочее пространство (4) для газа занимает большую его площадь, указанное рабочее пространство (4) для газа окружено складчатой проницаемой мембраной (4.4) и, кроме того, фасонные части (1.8) расположены внутри сосуда под давлением, которые определяют внешний газовый канал (10), проходящий между оболочкой сосуда (1) под давлением и фасонными частями (1.8), а размещенный по окружности газовый канал (4.3) расположен между фасонными частями (1.8) и складчатой мембраной (3) и далее между первой проницаемой мембраной (4.5) и перегородкой (2), причем рабочее про-

странство (4) для газа заполнено микроструктурой (4.1), выполненной из твердого материала с пористостью, превышающей 99% его объема, и окруженной второй проницаемой мембраной (4.6), к которой присоединен рекуператор (7), в пространстве которого расположен теплообменник (8), соединенный с входом/выходом (8.1) теплоносителя, причем рекуператор (7) дополнительно окружен фасонными частями (1.8) и отделен от рабочего пространства (4) для газа посредством второй проницаемой мембраны (4.6), внешний газовый канал (10) входит в пространство рекуператора (7) с противоположной стороны его соединения с рабочим пространством (4) для газа, причем этот внешний газовый канал соединен с пневматическим приводом (6) камеры (6.1), в которую дополнительно входит внутренний газовый канал (10.1), соединенный с размещенным по окружности газовым каналом (4.3).



201990679 A1

201990679 A1

ТЕПЛОЙ ДВИГАТЕЛЬ С ДИНАМИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ВЫХОДОМ

Область техники

5

[0001] Изобретение относится к тепловому двигателю с динамически управляемым гидравлическим выходом, приводимым в действие насосом высокого давления, и газовой турбиной, предназначенной для рабочих операций с необходимым прямолинейным действием больших сил.

Уровень техники

[0002] Тепловые двигатели используют циклический процесс, в котором происходит преобразование энергии подаваемого материала в кинетическую энергию. Характеристика крутящего момента выходной энергии теплового двигателя не всегда может быть подходящей для его непосредственного использования, поэтому мы настраиваем его для удовлетворения практических потребностей. Для этой цели мы используем так называемый интерфейс передачи энергии. Гидравлические системы для передачи энергии в настоящее время обычно используют для привода машины и рабочих операций с необходимым прямолинейным действием больших сил.

[0003] В настоящее время в данной области техники в насосах высокого давления в качестве источника привода используют наиболее распространенные роторные машины, такие как электрический двигатель. При повышенной мощности и в специальных приложениях или при недоступности источника электрической энергии в качестве привода можно использовать двигатель внутреннего сгорания или турбину.

[0004] Один вариант реализации теплового двигателя, используемого в качестве источника электрической энергии для насоса высокого давления, описан в заявке WO 02070887, озаглавленной «Тепловой двигатель с гидравлическим выходом». Гидравлическая система в соответствии с указанным изобретением выполнена и сконструирована таким образом, что циклические скачки давления, вызванные поршнем, служат для перекачивания гидравлической жидкости и для преобразования механической энергии потока гидравлической жидкости в линейное или вращательное перемещение.

5

10 Тепловая энергия для работы указанного двигателя получена от горячих выхлопных газов. В базовом варианте реализации указанного изобретения оболочка теплового двигателя использован для передачи тепла от горячего выхлопного газа к рабочему газу. В оболочке двигателя со стороны горячего выхлопного газа, а также со стороны

15 рабочего газа внутри двигателя, расположены пластинчатые ребра для передачи тепла от горячего выхлопного газа к рабочему газу. Рабочий газ герметично закрыт внутри теплового двигателя в рабочей камере, упруго отделенной от основной камеры насоса, содержащей гидравлическую жидкость. Рабочая камера разделена на две части,

20 верхнюю и нижнюю, посредством вытеснителя. Вытеснитель соединен с валом, соединенным с электрическим двигателем, погруженным в гидравлическую жидкость в основной камере насоса. Вытеснитель разделяет рабочую камеру на две части: верхнюю и нижнюю. Вследствие циклического перемещения вытеснителя вверх и вниз

25 происходит попеременное изменение объема верхней и нижней частей рабочей камеры, причем предпочтительно так, что на одной стадии объем одной из частей рабочей камеры минимален, а объем другой части рабочей камеры максимален. Рабочий газ, входящий в верхнюю часть рабочей камеры, расположенной над вытеснителем, и выходящий из

30 нее, проходит через оболочку теплового двигателя. Здесь горячие выхлопные газы передают тепловую энергию рабочему газу. В фазе максимального рабочего объема газа в верхней части рабочей камеры объем и давление во всей рабочей камере максимальны. Расширение

рабочего газа оказывает давление на гидравлическую жидкость в основной камере насоса, которую впоследствии вытесняет из основной камеры насоса трубопровод. Гидравлическая жидкость течет из камеры насоса через трубопровод, реверсивный клапан и теплообменник в
5 первый контейнер. Она течет из первого контейнера в выходной рабочий блок и по трубопроводу во второй контейнер, откуда она течет обратно через другой реверсивный клапан и охлаждающую часть обратно в основную камеру насоса. Аккумулятор поддерживает большее
10 давление в системе, чем давление в двигателе, так что падение давления в камере насоса не останавливает поток гидравлической жидкости через реверсивный клапан, при перемещении вытеснителя вверх. Размер емкостей и диаметр трубопровода по всей гидравлической
15 системе должны быть достаточно большими для обеспечения необходимого потока гидравлической жидкости с целью отвода энергии от двигателя к выходному блоку. В варианте реализации с гидравлическим насосом, использующим периодические скачки
20 давления гидравлической жидкости в качестве источника энергии, происходит закачка гидравлической жидкости в тангенциальном направлении на входе и или в тангенциальном или аксиальном направлении на выходе. В этом использующем насос варианте
25 реализации гидравлическая жидкость входит в насос через тангенциальный впуск и течет по спиральной траектории в нижнюю часть насоса, в которой расположен выход насоса. Реверсивный клапан может быть использован на входе или выходе жидкости из насоса для
30 поддержания однонаправленного потока насоса. В варианте реализации теплового двигателя с гидравлическим насосом с осевым выходом гидравлическая жидкость поступает в насос через нижнюю часть насоса, в которой она далее протекает в трехмерное колено, которое обеспечивает поток по спиральной траектории к тангенциальному
выходу. Этот вариант реализации влечет за собой структурное ограничение в зависимости между давлением и скоростью потока жидкости через двигатель. Динамическое управление выходом для этих
технических решений невозможно.

[0005] Двигатель Стирлинга, используемый в качестве теплового насоса, описан в заявке WO8200319. В этом варианте реализации рабочий сосуд заполнен рабочим газом-гелием, происходит нагрев сосуда на нижнем конце и охлаждение на его верхнем конце. Сосуд содержит вытеснитель, который гибко прикреплен к рабочему сосуду. Вытеснитель перемещает рабочий газ с одной стороны на другую внутри рабочего сосуда для попеременного нагрева и охлаждения рабочего газа. Сосуд закрыт гибкой мембраной, которая выполняет изгиб под воздействием волн давления, создаваемых в сосуде. При изгибе мембраны она вытесняет гидравлическую жидкость в гидравлической камере и приводит в действие серводвигатель для управления линейным генератором и газовым компрессором.

[0006] Патент № CN103883425 В раскрывает гидравлическую трансмиссию двигателя Стирлинга с тепловым резервуаром в качестве источника тепла. Двигатель содержит тепловой контейнер во внешней оболочке, нагревательный элемент, систему теплообмена, воздухозаборник, элемент аккумуляции тепла, элемент гидравлической трансмиссии двигателя Стирлинга, гидравлический трубопровод, резервуар для жидкости гидравлической системы, гидравлический двигатель и воздухопровод горячего воздуха. Элемент гидравлического зацепления двигателя Стирлинга выполнен двухступенчатым.

[0007] В заявке на патент США № US2002073703 А раскрыта система без поршневого двигателя, в частности для моторизованных транспортных средств. Система содержит по меньшей мере один гидравлический насос, каждый из которых снабжен первым и вторым проходом для жидкости. Двигатель внутреннего сгорания без поршня содержит цилиндр сгорания и гидравлический цилиндр. Аккумулятор низкого давления соединен с гидравлическим цилиндром через жидкость. Первый регулирующий клапан соединяет аккумулятор низкого

давления с гидравлическим цилиндром. По меньшей мере один аккумулятор высокого давления соединен с гидравлическим цилиндром через жидкость, причем указанное соединение снабжено по меньшей мере одним вторым регулирующим клапаном. Третий регулирующий клапан соединяет гидравлический цилиндр с первым жидкостным каналом каждого насоса. Четвертый регулирующий клапан соединяет гидравлический цилиндр со вторым жидкостным каналом каждого насоса. Первый сосуд рабочего давления размещен между каждым насосом и третьим регулирующим клапаном или четвертым регулирующим клапаном.

[0008] WO8400399 А раскрывает тепловой двигатель, содержащий вытеснитель, способный к перемещению между горячим концом и холодным концом рабочей камеры, в которой расположен рабочий поршень, приводимый в действие рабочей жидкостью. Поршневой насос рабочей гидравлической жидкости и гидравлический регулирующий клапан соединены с гидравлическим выпускным трубопроводом, так что указанный клапан может регулировать поток гидравлической жидкости. Рабочий поршень может быть управляем с помощью блока управления независимо от перемещения вытеснителя.

[0009] Международная патентная заявка WO 0004287 А раскрывает генератор перемещения, содержащий корпус и камеру, содержащую несжимаемую жидкость. Отверстие в корпусе закрыто подвижным элементом. Противоположные выпуклые, гибкие стенки в корпусе образуют внутреннюю камеру модуляции, содержащую сжимаемый газ. Противоположные концы стенок могут выполнять перемещение навстречу друг другу и друг от друга посредством преобразователя перемещения, например керамических пьезоэлектрических элементов, для сжатия и расширения камеры, перемещая тем самым подвижный элемент и образуя выходное перемещение.

[0010] Патентная заявка WO 2006044387 А раскрывает насос для перекачки жидкости из первого источника низкого давления во второй источник жидкости высокого давления, причем насос содержит камеру. Разделительный элемент расположен с возможностью перемещения в камере и разделяет камеру на первую и вторую подкамеры разных 5 объемов. Первая подкамера содержит отверстие, соединенное с возможностью управления со вторым источником жидкости или третьим источником жидкости. Вторая подкамера имеет впускное и выпускное отверстия, соединенные с возможностью управления с первым и вторым 10 источниками жидкости. Насос дополнительно содержит охлаждающее устройство для охлаждения жидкости в первой подкамере.

[0011] Гидравлическая трансмиссия обычно включает преобразование механической работы двигателя в потенциальную или кинетическую энергию жидкости. Эти гидравлические системы содержат 15 три основные части: насос высокого давления, систему управления потоком жидкости и гидравлический привод или двигатель. В соответствии с этим вариантом реализации в гидравлической системе могут возникать скачки давления в ходе управления потоком гидравлической жидкости вследствие инерции и практической 20 несжимаемости гидравлической жидкости. Устранение этих явлений требует технически сложного и дорогостоящего решения. Потери давления, вызванные распределением трубопровода, регулированием потока гидравлической жидкости и скачками давления, снижают 25 эффективность и срок службы всей системы.

[0012] Тепловые двигатели с внешними источниками тепловой энергии ранее появились в технической практике. При техническом усовершенствовании двигателей внутреннего сгорания преимущества 30 тепловых двигателей с внешними источниками тепла не преодолели структурных затруднений своих существующих технических решений. Проблемы в технической практике в основном вызваны выходом механической мощности из устройства с постоянным внутренним

избыточным давлением и необходимостью использования механически сильно нагруженных внутренних подвижных частей. Недостаточные эксплуатационная надежность, герметичность и простота обслуживания препятствуют использованию этого типа двигателей в технической
5 практике.

[0013] Настоящее изобретение направлено на создание устройства с динамически управляемой передачей тепловой энергии на выход гидравлической жидкости высокого давления. Такое устройство
10 представляет собой тепловой двигатель с гидравлическим выходом, одной жидкостной камерой и одной рабочей камерой, заполненной газом, в котором перемещение газа в рабочей камере можно контролировать с помощью пневматического привода.

15 Раскрытие сущности изобретения

[0014] Упомянутые выше недостатки устранены тепловым двигателем с динамически управляемым выходом, приводимым в действие насосом высокого давления, и газовой турбиной, содержащей
20 сосуд под давлением, крышку, подвижную перегородку, рабочее пространство для газа, рабочее пространство для жидкости и рекуператор, принцип действия которого состоит в том, что он содержит сосуд под давлением с крышкой, между которыми расположено уплотнение, причем во внутреннем пространстве сосуда под давлением
25 перегородка прикреплена с возможностью перемещения к мембране, которая дополнительно прикреплена к крышке, причем перегородка делит внутреннее пространство сосуда под давлением на рабочее пространство для газа и рабочее пространство для жидкости, причем рабочее пространство для газа занимает большую его площадь, причем
30 указанное рабочее пространство для газа окружено первой проницаемой мембраной в области первой перегородки с помощью проницаемой складчатой проницаемой мембраны по ее периметру и второй проницаемой мембраной в точке соединения рекуператора, и кроме того,

другие фасонные детали расположены внутри сосуда под давлением, которые образуют внешний газовый канал, который расположен между оболочкой сосуда под давлением и фасонными деталями, а размещенный по окружности газовый канал расположен между фасонными деталями и складчатой проницаемой мембраной, а также между перегородкой и первой проницаемой мембраной, причем рабочее пространство для газа заполнено микроструктурой большой пористости, усиленной сетками. Заполненное рабочее пространство для газа соединено через вторую проницаемую мембрану с рекуператором, в пространстве которого расположен теплообменник, соединенный с источником тепловой энергии, причем рекуператор дополнительно окружен фасонными деталями, внешний газовый канал входит в рекуператор на стороне, противоположной входу рабочего пространства для газа, внешний газовый канал которого соединен с камерой пневматического привода, в которую входит внутренний газовый канал, соединенный с размещенными по окружности газовыми каналами и далее со складчатой проницаемой мембраной и проницаемой мембраной, окружающей рабочее пространство для газа.

[0015] Этот вариант реализации газового теплового двигателя, в котором рабочий газ герметично уплотнен в рабочей камере для газа сосуда под давлением. При изменении его тепла/объема/давления происходит выполнение работы.

[0016] Принцип действия настоящего изобретения состоит в замене механического вытеснителя пневматическим приводом, и при этом, следовательно, отсутствует необходимость разделения горячей и холодной частей рабочего пространства. В соответствии с настоящим изобретением рабочее пространство, первоначально разделяемое вытеснителем на горячую и холодную части, выполнено в виде одной рабочей камеры. Это рабочее пространство заполнено микроструктурой с высокой пористостью и, следовательно, с минимальным объемным весом. Эта микроструктура должна выдерживать небольшое давление

газа, протекающего через пространство, заполненное таким образом. Для сохранения такой микроструктуры в большем масштабе, она послойно переплетена сетками из армирующих волокон в плоскости, перпендикулярной направлению объемных изменений рабочего пространства для газа. Взаимные расстояния между сеткой и сетчатыми волокнами будут зависеть от желаемой динамики потока рабочего газа в рабочем пространстве. Эти расстояния составляют от 100 до 10000 от среднего расстояния между элементами микроструктуры.

10 [0017] Эта микроструктура значительно уменьшает возможности конвективного и радиационного распространения тепла в рабочем пространстве для газа. В точках входа и выхода газа в рабочее пространство для газа расположены мембраны с затрудненной газопроницаемостью. Эти мембраны обеспечивают равномерный поток рабочего газа в рабочее пространство для газа и минимизируют, наряду с микроструктурой внутри рабочего пространства для газа, турбулентное смешивание холодного и горячего газа. Микроструктура может иметь разные объемные плотности в разных местах рабочего пространства для газа. Таким образом, сопротивление прохождению рабочего газа через эту микроструктуру может быть определено локально, а также можно определить направление распространения рабочего газа в рабочем пространстве для газа с целью использования в полной мере его максимального объема для изменения физических параметров рабочего газа. Заполнение и опорожнение рабочего пространства для газа газом с более высокой температурой происходит или с одной стороны или из центра, а заполнение и опорожнение газом с более низкой температурой происходит или с другой стороны или с окружности. Перемещение газа внутри микроструктуры за счет устранения турбулентного потока в большем масштабе одновременно создает динамически перемещаемую зону с высоким градиентом температуры на границе раздела между рабочим газом с более высокой температурой и рабочим газом с более низкой температурой. Эта зона будет испытывать перемещение и изменение вследствие изменения потока рабочего газа, контролируемого

пневматическим приводом. Регулирование потока в рабочем пространстве для газа будет нацелено на минимизацию воздействия на изменения температуры части рабочего пространства для газа с большей массой и, следовательно, даже на теплоемкость, в идеале только на микроструктуру и сетчатые волокна. В предпочтительном варианте реализации отсутствие вытеснителя массы в рабочем пространстве для газа обеспечивает быстрое изменение средней температуры и, следовательно, давления/объема рабочего газа в рабочем пространстве для газа. При соединении под давлением рабочего пространства для газа с рабочим пространством для жидкости это изменение давления/объема немедленно происходит в рабочем пространстве для жидкости. Это изменение средней температуры стало возможным благодаря заполнению и одновременному опорожнению рабочего пространства для газа через охлаждающие и нагревательные теплообменники и рекуператор. Динамика изменения определена скоростью этого потока, которая обусловлена перепадом давления, создаваемым пневматическим приводом. Эта разница давления, создаваемая пневматическим приводом, определена не только его скоростью вращения, но также и настройкой крыльчатки в камере пневматического привода относительно пары двунаправленных газовых каналов. Увеличение или уменьшение средней температуры и, следовательно, давления и объема в рабочем пространстве для газа и, следовательно, давления во всем двигателе, определено направлением внутреннего потока рабочего газа. Перемещение рабочего газа в рабочем пространстве для газа можно точно контролировать посредством пневматического привода; необходимо обеспечить, что влияние потока газа в рабочем пространстве для газа никогда не превысит предельного значения, при котором происходит необратимое сжатие или разрушение микроструктуры или механическое повреждение других частей. Кроме того, необходимо обеспечить, что температура рабочего газа внутри рабочего пространства не превысит предельное значение термостойкости микроструктуры и других частей оборудования.

[0018] Основные недостатки известного уровня техники устранены принципом объединения приводной и управляющей частей гидравлической системы. Разработанное таким образом техническое решение значительно снижает вероятность скачков давления в 5 приводной и управляющей гидравлической системе. Двигатель значительно проще по конструкции и не содержит каких-либо значительно механически нагруженных деталей в части с постоянным высоким давлением. В случае использования магнитного подшипника с пневматическим приводом между подвижными частями внутри теплового 10 двигателя отсутствуют помехи, что существенно влияет на его надежность и срок службы. В гидравлических приложениях с высокой динамикой изменений давления этот тепловой двигатель обеспечивает техническое решение с динамикой, которое не реализуемо существующими системами. Другие параметры, такие как соотношение 15 веса и производительности, значительно улучшены вследствие меньшей нагрузки при скачках давления в гидравлической системе и вследствие возможного отсутствия регулирующих элементов. Вследствие потенциально короткого, неограниченного подключения к гидравлическому двигателю/приводу можно ожидать значительного 20 снижения перепада давления в системе и, следовательно, даже увеличения общего КПД, особенно для гидравлических систем с высокой динамикой изменения давления. Поскольку в этом варианте реализации настоящего изобретения тепловая энергия представляет собой источник энергии, выбор источника энергии намного шире, чем в существующих 25 гидравлических системах. В то же время это позволяет использовать альтернативные и возобновляемые источники тепла и энергии. При циклических изменениях в оптимальном режиме гидравлическая выходная мощность устройства может быть использована непосредственно в качестве насоса. В предпочтительном варианте 30 реализации настоящего изобретения устройство будет работать при высоких давлениях, причем более высокая мощность может быть достигнута посредством увеличения давления в той же рабочей области.

[0019] Затруднения, связанные с эксплуатационной надежностью, герметичностью и простотой обслуживания, общие с существующими проектными решениями, разрешены во вновь разработанном устройстве. Высокая надежность обеспечена конструкцией устройства, обеспечивающей полную герметизацию без необходимости герметизации в точке перемещения. Внутри теплового двигателя отсутствуют части с высокой механической нагрузкой, и нет необходимости во взаимном контакте перемещаемых частей, поэтому смазка не нужна, что существенно влияет на срок службы этих частей, и, следовательно, обеспечена возможность выполнения части под высоким давлением в устройстве в постоянном герметичном исполнении без необходимости регулярного технического обслуживания и замены внутренних частей или жидкостей.

15 Краткое описание чертежей

[0020] Настоящее изобретение будет пояснено со ссылкой на прилагаемые чертежи, причем

на ФИГ. 1 показан взятый в качестве примера вариант реализации настоящего изобретения с внутренним теплообменником в фазе расширения;

на ФИГ. 2 показан взятый в качестве примера вариант реализации с внутренним теплообменником в фазе сжатия;

на ФИГ. 3 показана деталь электрического рекуператора;

на ФИГ. 4 показан взятый в качестве примера вариант реализации теплового двигателя с теплообменником в оболочке в фазе расширения;

на ФИГ. 5 показан взятый в качестве примера вариант реализации теплового двигателя с теплообменником в оболочке в фазе сжатия.

[0021] На ФИГ. 6 показана деталь «В» варианта реализации газового привода, в варианте реализации с роликовым подшипником;

на ФИГ. 7 показан вид по сечению А-А пневматического привода;

на ФИГ. 8 показана деталь пневматического привода в варианте реализации с магнитным подшипником;

на ФИГ. 9 показана крыльчатка привода;

на ФИГ. 10 показана деталь «С» варианта заполнения рабочего пространства;

на ФИГ. 11 показан взятый в качестве примера вариант реализации сетки;

на ФИГ. 12 показана деталь варианта реализации «D» края сетки, прикрепленного к складкам складчатой проницаемой мембраны.

10

Осуществление изобретения

[0022] В последующем описании взятого в качестве примера варианта реализации теплового двигателя с динамически управляемым гидравлическим выходом настоящее изобретение будет объяснено со ссылкой на соответствующие чертежи. На этих чертежах изобретение иллюстрировано с помощью взятого в качестве примера варианта реализации теплового двигателя с внутренним теплообменником и теплового двигателя с нагревательным теплообменником в оболочке сосуда под давлением.

20

[0023] Тепловой двигатель с внутренним теплообменником показан на ФИГ. 1 и 2. В этом варианте реализации тепловой двигатель состоит из сосуда 1 под давлением и крышки 1.1, между которыми расположено уплотнение 1.4. Сосуд 1 под давлением имеет цилиндрическую форму и оптимален с точки зрения компактности объема и внутреннего давления, причем такая форма контейнера не обязательна для правильной работы устройства. Сосуд 1 под давлением дополнительно разделен перегородкой 2 на два рабочих пространства. Это рабочее пространство 4 для газа и рабочее пространство 5 для жидкости, в которое входит канал 5.2 для жидкости, который закончен гидравлическим входом/выходом 5.1, служащим для выпуска механической работы из теплового двигателя. Рабочее пространство 4 для газа занимает

25

30

большую часть сосуда 1 под давлением, его оптимальная форма компактна, подобна шару с наименьшей поверхностью относительно объема, причем это рабочее пространство 4 для газа окружено первой проницаемой мембраной 4.5, складчатой проницаемой мембраной 4.4 и 5 второй проницаемой мембраной 4.6. Кроме того, внутри сосуда под давлением предусмотрены фасонные части 1.8, которые определяют внешний газовый канал 10, расположенный между оболочкой сосуда 1 под давлением и фасонными частями 1.8; тогда как размещенные по окружности газовые каналы 4.3 расположены между фасонными частями 10 1.8 и первой проницаемой мембраной 4.5, перегородкой 2, складчатой мембраной 3 и складчатой проницаемой мембраной 4.4. Для обеспечения организованного и определяемого перемещения 12 рабочего газа и минимизации изменения температуры рабочего газа вследствие хаотического потока, теплового излучения и проводимости в 15 рабочем пространстве 4 для газа, он заполнен микроструктурой 4.1. Эта микроструктура 4.1 состоит из материала, устойчивого к циклическим изменениям температуры в диапазоне температур двигателя, и обладает достаточной упругостью и прочностью в этом диапазоне температур. Микроструктура 4.1 имеет пористость, превышающую 99% в расчете на 20 ее общий объем, с плотностью от 1×10^{-4} до $0,03 \text{ г/см}^3$. Однородность и способ соединения отдельных элементов в микроструктуре 4.1 должны учитывать объемные изменения без постоянной деформации и с высоким сроком службы. Подходящими материалами для выполнения 25 микроструктуры 4.1 являются углеродные, керамические и металлические микро- и нановолокна, аэрографит, графитовый аэрогель или другие материалы, отвечающие указанным выше условиям, налагаемым на свойства материала.

[0024] Эта микроструктура 4.1 может быть усилена сетками 4.2, 30 расположенными на определенном расстоянии друг от друга, причем сетки 4.2 ориентированы перпендикулярно направлению изменения размеров рабочего пространства 4 для газа во время рабочих фаз. Сетки 4.2 образованы переплетенными волокнами внутри кольца, имеющего V-

образную или W-образную форму, повернутую на 90°. Волокна в форме сетки могут быть прикреплены к кольцам посредством пайки, склеивания, вдавливания в край одного кольца или между двумя кольцами, или введения между двумя кольцами перед сваркой. Кольца и, следовательно, складчатая проницаемая мембрана 4.4 выполнены из тонкой металлической пластины с высокими значениями упругости и усталостной прочности; идеальный материал для этого легированная сталь или титановый сплав. Кольца снабжены отверстиями 4.7 по окружности, которые обеспечивают складчатой проницаемой мембране 4.4, собранной из этих колец, ее проницаемость для рабочего газа (см. ФИГ. 10 и ФИГ. 12). Пространства между сетками 4.2 заполнены микроструктурой 4.1. Сетки 4.2 предназначены для поддержания однородности микроструктуры 4.1 как в отношении изменения объема рабочего пространства 4 газа, так и в отношении внутреннего перемещения 12 рабочего газа. Расположение сеток 4.2 и микроструктуры 4.1 в рабочем пространстве 4 для газа показано на ФИГ. 10 и ФИГ. 11. На ФИГ. 12 показана деталь «D» варианта выполнения края складчатой проницаемой мембраны 4.4. Для высокотемпературных применений волокна сетки 4.2 могут быть изготовлены из углерода, керамики или металла.

[0025] Конструкция как рабочего пространства 4 для газа, так и рабочего пространства 5 для жидкости должна обеспечивать возможность перемещения разделяющей их перегородки 2. Конструкция перегородки 2 и складчатой мембраны 3 предназначена для выдерживания давления в рабочем пространстве 4 для газа даже после выхода жидкости из рабочего пространства 5 для жидкости. Складчатая мембрана 3 одновременно образует поверхность теплообмена между рабочим газом, текущим во внутреннем газовом канале 10.1, и гидравлической жидкостью внутри рабочего пространства 5 для жидкости, образуя второй теплообменник. В этой части размещенного по окружности газового канала 4.3 рабочий газ будет проходить с максимальным увеличением теплообмена между рабочим газом и

складчатой мембраной 3. Поток рабочего газа в одной фазе (в другой - наоборот) будет проходить из камеры пневматического привода 6 во внутренний газовый канал 10.1, затем в эту часть размещенного по окружности газового канала 4.3, затем к проницаемой мембране 4.5 и складчатой проницаемой мембране 4.4 в рабочее пространство 4 для газа и в рекуператор 7, в котором расположен теплообменник 8, который соединен с входом/выходом 8.1 теплоносителя; рабочий газ далее проходит через внешний газовый канал 10 в камеру 6.1, которая представляет собой часть пневматического привода 6. Конструктивно необходимо обеспечить наилучшее соотношение между объемом рабочего пространства 4 для газа и объемом других частей теплового двигателя, в котором расположен рабочий газ.

[0026] На ФИГ. 3 показан вариант реализации рекуператора 7 с электрическим нагревательным элементом 8.2. В этом варианте реализации электрический нагревательный элемент 8.2 подключен между рекуператором 7 и рабочим пространством 4 для газа, которое электрически соединено посредством электрических проводов 9.1 с блоком 9 управления, который подключен к источнику 9.2 электрического напряжения. Рекуператор 7 дополнительно размещен впритык к фасонным частям 1.8 и отделен от одной стороны рабочего пространства 4 для газа второй проницаемой мембраной 4.6, причем второй конец рекуператора 7 соединен с внешним газовым каналом 10.

[0027] В этом варианте реализации настоящего изобретения тепловой двигатель работает следующим образом. Перемещение рабочего газа внутри рабочего пространства 4 для газа происходит от центра рабочего пространства 4 для газа до внутренней оболочки сосуда 1 под давлением и наоборот. Заполнение рабочего пространства 4 для газа предназначено для обеспечения равномерности потока рабочего газа внутри рабочего пространства, а также, вследствие чередования направления потока рабочего газа, для образования высокотемпературной области 14, перемещаемой во время рабочих фаз

в почти весь объем рабочего пространства 4 для газа. Направление потока и скорость рабочего газа различны во всех частях теплового двигателя. После запроса на повышение давления и сжатие в рабочем пространстве 5 для жидкости рабочий газ протекает из пневматического привода 6 через внешний газовый канал 10 через рекуператор 7 и теплообменник 8 через внутренний объем рабочего пространства 4 для газа в размещенные по окружности газовые каналы 4.3. Таким образом, средняя температура рабочего газа внутри устройства возрастает и в рабочей камере 4 для газа происходит увеличение давления и расширение, и в то же время происходит сжатие в рабочем пространстве для жидкости. После запроса на понижение давления и расширение в рабочем пространстве для жидкости происходит подача рабочего газа из пневматического привода 6 через внутренний газовый канал 10.1 в размещенные по окружности газовые каналы 4.3, расположенные на стенках рабочего пространства 4 для газа, далее через внутренний объем рабочего пространства 4 для газа, а затем через теплообменник 8 и рекуператор 7. Это снижает среднюю температуру рабочего газа внутри устройства, а снижение давления и сжатие происходят в рабочем пространстве 4 для газа, в то же время расширение происходит в рабочем пространстве для жидкости. Рабочее пространство 5 для жидкости реагирует на расширение и сжатие рабочего пространства 4 для газа при практически одинаковом рабочем давлении, рабочее пространство 5 уменьшается при расширении рабочего пространства 4 для жидкости в том же соотношении; и рабочее пространство 5 увеличивается при сжатии рабочего пространства 4 для газа в том же соотношении. Двигатель выполняет работу, изменяя давление и объем в рабочем пространстве 5 для жидкости. Сумма объемов обеих рабочих пространств 4 и 5 практически одинакова на всех рабочих этапах. Двигатель на разных рабочих фазах показан на ФИГ. 1 и 2. В случае работы двигателя на входе/выходе теплоносителя 8.1 при температурах ниже, чем в рабочем пространстве для жидкости, и в случае отвода тепла от двигателя посредством среды теплопередачи, фазы расширения

и сжатия будут обратными по отношению к направлению внутреннего потока рабочего газа.

[0028] Согласно настоящему изобретению в технической практике
5 сосуд 1 под давлением с внутренним теплообменником должен выдерживать только нормальные температуры на выходе рабочего газа из рекуператора 7 во внешний газовый канал 10.

[0029] Другой вариант реализации теплового двигателя с
10 теплообменником на оболочке сосуда под давлением показан на ФИГ. 4 и ФИГ. 5. Этот вариант реализации теплового двигателя отличен от технического решения, показанного на ФИГ. 1 и ФИГ. 2. Вариант реализации отличен конструкцией сосуда 1 под давлением, который в этом случае должен выдерживать высокие температуры. Сосуд 1 под
15 давлением состоит из следующих частей. Средняя часть 1.2 расположена между крышкой 1.1 и кольцом 1.5. Средняя часть 1.2 упирается в дно 1.3, которое поддержано на кольце 1.5, причем указанное кольцо соединено с крышкой 1.1 посредством шпилек 1.7, которые проходят
20 через распределяющую пластину 1.6. Кроме того, между крышкой 1.1 и средней частью 1.2, а также дном 1.3 сосуда 1 под давлением, предусмотрено уплотнение 1.4.

[0030] С точки зрения эффективности теплового двигателя
25 необходимо изготовление вышеупомянутых частей сосуда 1 под давлением из материала с максимально возможным тепловым сопротивлением и в то же время с механической прочностью, способной выдерживать изменение внутреннего давления. Обычные материалы, выдерживающие высокие температуры, имеют твердо-кристаллические
30 атомные связи, однако, они выдерживают циклическое воздействие напряжения и релаксации лишь с затруднениями. Эта нагрузка в местах естественных дефектов может привести к их увеличению и, следовательно, к постепенному снижению прочности такого материала. Эти нагрузки также представляют собой результат неравномерного

нагрева частей. Оптимальная конструкция частей, подвергаемых воздействию высокой температуры, обеспечивает их разрушение при постоянном давлении и не создает релаксационных состояний с внутренним натяжением. Это может быть достигнуто только посредством введения дополнительного давления на часть посредством ее предварительной нагрузки. Эта предварительная нагрузка должна быть введена в эти части сосуда 1 под давлением: в среднюю часть 1.2, в кольцо 1.5 и в дно 1.3. Углеродное волокно представляет собой идеальный материал для предварительной нагрузки, способный выдерживать высокие растягивающие напряжения даже при высоких температурах. В настоящем варианте реализации упомянутые части сосуда 1 под давлением, такие как дно 1.3 сосуда под давлением и средняя часть 1.2 сосуда 1 под давлением, выполнены в виде композита из кристаллического материала с высоким растягивающим напряжением при высоких температурах и предварительно нагруженных углеродных волокон, как материала с высоким растягивающим напряжением при высоких температурах. Кроме того, материал дна 1.3 сосуда 1 под давлением также должен иметь самую высокую теплопроводность или энергопроницаемость, особенно для электромагнитного излучения, в отношении работы его внутренней поверхности в качестве теплообменника. С точки зрения теплопроводности идеальный материал для дна 1.3 сосуда под давлением представляет собой, например, кристаллический карбид кремния (SiC) или его модификации. С точки зрения энергопроницаемости сапфировое стекло (Al_2O_3) представляет собой идеальный материал для дна сосуда под давлением.

[0031] Оболочка сосуда 1 под давлением, примыкающая к внешнему газовому каналу 10, может одновременно служить также теплообменником и рекуператором тепла в вариантах на ФИГ. 1 и ФИГ. 2, а также в варианте по ФИГ. 4 и ФИГ. 5, тем самым дополняя работу складчатой мембраны 3 в качестве теплообменника.

[0032] Как видно из прилагаемых чертежей, отдельные соединенные компоненты теплового двигателя герметизированы с использованием уплотнения 1.4. Крышка 1.1 сосуда 1 под давлением имеет доступ к пневматическому приводу 6 в виде сервисной крышки 5 6.2. В случае не требующей технического обслуживания версии пневматического привода 6 с магнитными подшипниками 6.8 можно изготовить соединения на сервисной крышке 6.2, а также постоянное соединение во время производства с более высокой непроницаемостью.

10 [0033] Для обеспечения минимально возможных гидравлических потерь и быстрых реакций двигателя предпочтительны большие поперечные сечения жидкостных каналов 5.2. Жидкость в рабочей области 5 для жидкости также служит охлаждающей средой. По мере увеличения мощности также происходит увеличение обмена жидкостью в 15 рабочем пространстве 5 для жидкости, а также происходит отвод тепла от теплового двигателя. В конструкции соединения каналов 5.2 для жидкости с рабочим пространством 5 для жидкости предпочтительно обеспечить поддержку одностороннего идущего по окружности потока 20 внутренней жидкости внутри рабочего пространства 5 для жидкости, для максимизации обмена жидкости и передачи тепла на складчатую мембрану 3 или из нее в рабочем пространстве 5 для жидкости.

[0034] Наибольшая зона для охлаждения рабочего газа представляет собой складчатую мембрану 3, в дополнение к ее 25 поверхности; также предпочтительная ее небольшая толщина. В теплообменнике такой конструкции объем рабочего газа, связанного в его пространстве по завершении фазы расширения, уменьшена, что помогает повысить эффективность при минимальном объеме рабочего газа за пределами рабочего пространства для газа. Складчатая мембрана 30 3 может быть дополнена другими теплообменными поверхностями и элементами, обеспечивающими большой поток по всей ее поверхности.

[0035] Существует возможность модификации конструкции с учетом конкретного назначения динамики выходного сигнала, требований к средней мощности и пиковой производительности. Подходящие размеры отдельных частей системы могут значительно улучшить необходимые характеристики гидравлической мощности 5.1. При необходимости высокой динамики и эффективности устройство может быть оснащено теплообменниками с большой поверхностью теплопередачи, оптимальной теплоаккумулирующей способностью в рекуператоре 7. Рекуператор 7 и теплообменники должны иметь 10 наилучшее соотношение потерь давления и эффективности. Более высокая мощность пневматического привода 6 и поперечные сечения внутреннего и внешнего газовых каналов 10.1 и 10 могут обеспечить большую динамику двигателя. Для обеспечения высокой динамики гелий также представляет собой предпочтительный рабочий газ.

15

[0036] Как видно из ФИГ. 1, ФИГ. 2, ФИГ. 4 и ФИГ. 5, крышка 1.1 сосуда под давлением в обоих описанных вариантах теплового двигателя идентична. Подробности варианта выполнения пневматического привода 6 в вариантах с различными подшипниками показаны на ФИГ. 6 и ФИГ. 20 8. При таком расположении пневматического привода 6 в крышке 1.1 предусмотрено место для его размещения. Это пространство закрыто сервисной крышкой 6.2. В промежутке между сервисной крышкой 6.2 и крышкой 1.1 предусмотрено уплотнение 1.4. В этом пространстве расположены статор 6.6 и ротор 6.5 электрического двигателя и 25 крыльчатка 6.3. Ротор 6.5 электродвигателя размещен в магнитном подшипнике 6.8 и/или в шарикоподшипнике 6.7. Пневматический привод 6 содержит камеру 6.1 и крыльчатку 6.3. Крыльчатка 6.3 прикреплена к валу ротора 6.5 электродвигателя посредством плоской пружины 6.4. Пример крыльчатки 6.3 показан на ФИГ. 9. В этом варианте реализации 30 крыльчатка 6.3 состоит из плоской пружины 6.4, установленной на роторе 6.5, который соединен с лопастями 6.11, которые в свою очередь размещены в газовых очистителях 6.12.

[0037] На ФИГ. 7 показан разрез А-А через крышку 1.1 сосуда 1 под давлением, в котором расположен пневматический привод 6. В разрезе А-А видно, что в крышке 1.1 расположены каналы 5.2 для жидкости, между которыми внутренние газовые каналы 10.1 и внешние газовые каналы 10 разделены перегородкой 1.9. Внутри пространства крышки 1.1 сосуда 1 под давлением образована камера 6.1 пневматического привода 6, в которой расположена крыльчатка 6.3. В пространстве крышки 1.1 электромагниты 6.10, которые отклоняют крыльчатку 6.3, расположены на месте над лопатками крыльчатки 6.3. В середине крышки 1.1 сосуда 1 под давлением расположен, по его оси, ротор 6.5 электрического двигателя, который образует ось крыльчатки 6.3.

[0038] Пневматический привод 6 вызывает перемещение рабочего газа и управляет его перемещением. Он приводится в действие ротором 6.5 электрического двигателя. Скорость вращения ротора 6.5 электродвигателя определяет скорость перемещения рабочего газа. Направление перемещения 12 рабочего газа определено установкой крыльчатки 6.3 относительно пары, состоящей из внутреннего газового канала 10.1 и внешнего газового канала 10. Изменение настройки крыльчатки 6.3 обеспечено ее упругим прикреплением к ротору 6,5 электродвигателей. Такое упругое крепление обеспечивает возможность отклонения крыльчатки 6.3 в направлении, параллельном оси вращения. Это отклонение в идеале, но не обязательно, обеспечено плоской пружиной 6.4. Отклонение крыльчатки 6.3 в направлениях оси вращения ротора 6.5 может быть достигнуто с помощью электромагнитов 6.10, но также может быть осуществлено с помощью магнитно-управляемых подшипников 6.8 с электронным управлением посредством прочного соединения крыльчатки 6.3 с ротором 6.5 электрического двигателя. Датчик 6.9 положения измеряет фактическое положение крыльчатки 6.3 и служит средством обратной связи для электронного блока 9 управления для управления перемещением крыльчатки 6.3, причем электронный блок 9 управления соединен с электромагнитами 6.10,

магнитными подшипниками 6.8 и статором 6.6 электродвигателя посредством электрических проводов 9.2. Во взятом в качестве примера варианте реализации теплового двигателя, содержащего теплообменник в его оболочке согласно ФИГ. 4 и ФИГ. 5, датчик/датчики 9.3 температуры, предпочтительно предусмотренные в размещенных по окружности газовых каналах 4.3 на входе в рабочее пространство 4 для газа, необходимы для управления перемещением крыльчатки и для тепловой защиты устройства.

10 *Промышленная применимость*

[0039] Описанное устройство может быть использовано в качестве динамически управляемого источника гидравлического давления/объема для гидравлических приводов с источником тепловой энергии, не требующего гидравлических насосов и клапанов. Его можно использовать во всех случаях использования гидравлических приводов, и оно предпочтительно для их более быстрой работы и с более высокой эффективностью при использовании более доступного источника тепла.

[0040] В обычном циклическом режиме чередования фаз, при выполнении гидравлического выхода двумя однонаправленными клапанами, устройство может служить в качестве насоса высокого давления. Устройство может быть использовано для получения механической работы при достаточном объеме тепловой энергии или в случае невозможности использования обычного источника энергии перемещения, такого как электрический двигатель, двигатель внутреннего сгорания и т.д. Предложены большие возможности, например, для прямого преобразования солнечной энергии в механическую работу. В технической практике реализация этого подхода обеспечивает широкие возможности в качестве источника энергии при опреснении морской воды методом обратного осмоса.

- [0041] 1. сосуд под давлением.
- 1.1 крышка сосуда под давлением
- 1.2 средняя часть сосуда под давлением
- 5 1.3 дно сосуда под давлением
- 1.4 уплотнение
- 1.5 кольцо
- 1.6 распределяющая пластина
- 1.7 предварительно напряженные шпильки
- 10 1.8 фасонные части
- 1.9 перегородка канала
- 2. перегородка
- 3. складчатая мембрана
- 4. рабочее пространство для газа
- 15 4.1 микроструктура
- 4.2 сетка
- 4.3 размещенные по окружности газовые каналы
- 4.4 складчатая проницаемая мембрана
- 4.5 первая проницаемая мембрана
- 20 4.6 вторая проницаемая мембрана
- 4.7 отверстие
- 5. рабочее пространство для жидкости
- 5.1 гидравлический вход / выход
- 5.2 канал для жидкости
- 25 6. пневматический привод
- 6.1 камера
- 6.2 сервисная крышка
- 6.3 крыльчатка
- 6.4 плоская пружина
- 30 6.5 ротор электродвигателя
- 6.6 статор электродвигателя
- 6.7 подшипник
- 6.8 магнитный подшипник

- 6.9 датчик положения
- 6.10 электромагнит
- 6.11 лопасти
- 6.12 газовые очистители
- 5 7. рекуператор
- 8. теплообменник
- 8.1 вход/выход теплоносителя
- 8.2 электрический нагревательный элемент
- 9. электронный блок управления
- 10 9.1 электрические провода
- 9.2 источник электрического напряжения
- 9.3 датчик температуры
- 10. внешний газовый канал
- 10.1 внутренний газовый канал
- 15 11. источник лучистой энергии
- 12. направление перемещения рабочего газа
- 13. направление перемещения внутренних частей
- 14. высокотемпературная градиентная область

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Тепловой двигатель с динамически управляемым выходом, приводимый в действие насосом высокого давления и газовой турбиной, содержащий сосуд (1) под давлением, крышку (1.1), подвижную перегородку (2), рабочее пространство (4) для газа, рабочее пространство (5) для жидкости и рекуператор (7), отличающийся тем, что

10 между сосудом (1) под давлением и крышкой (1.1) расположено уплотнение (1.4),

во внутреннем пространстве сосуда (1) под давлением перегородка (2) прикреплена с возможностью перемещения к складчатой мембране (3), которая дополнительно прикреплена к крышке (1.1),

15 перегородка (2) разделяет внутреннее пространство сосуда (1) под давлением на рабочее пространство (4) для газа и рабочее пространство (5) для жидкости,

рабочее пространство (4) для газа занимает большую его площадь, указанное рабочее пространство (4) для газа окружено складчатой проницаемой мембраной (4.4) в области первой перегородки

20 и, далее, внутри сосуда под давлением расположены фасонные части (1.8), которые образуют внешний газовый канал (10), проходящий между оболочкой сосуда (1) под давлением и фасонными частями (1.8), а

25 размещенный по окружности газовый канал (4.3) расположен между фасонными частями (1.8) и складчатой мембраной (3) и далее между первой проницаемой мембраной (4.5) и перегородкой (2),

30 рабочее пространство (4) для газа заполнено микроструктурой (4.1), выполненной из твердого материала с пористостью, превышающей 99% его объема, и окружено второй проницаемой мембраной (4.6), к которой присоединен рекуператор (7), в пространстве которого расположен теплообменник (8), соединенный с входом/выходом (8.1) теплоносителя, причем

рекуператор (7) дополнительно окружен фасонными частями (1.8) и отделен от рабочего пространства (4) для газа второй проницаемой мембраной (4.6),

5 внешний газовый канал (10) входит в пространство рекуператора (7) на противоположной стороне его соединения с рабочим пространством (4) для газа, внешний газовый канал которого соединен с камерой (6.1) пневматического привода (6),

в которую дополнительно входит внутренний газовый канал (10.1), соединенный с размещенным по окружности газовым каналом (4.3).

10

2. Тепловой двигатель по п. 1, отличающийся тем, что

15 пневматический привод (6) содержит статор (6.6) и ротор (6.5) электрического двигателя и камеру (6.1), в которой расположена крыльчатка (6.3), снабженная лопастями (6.11) и газовыми очистителями (6.12), причем

крыльчатка (6.3) соединена с валом ротора (6.5) электродвигателя посредством плоской пружины (6.4), и

ротор (6.5) электрического двигателя размещен в магнитном подшипнике (6.8) или подшипнике (6.7).

20

3. Тепловой двигатель по п. 1, отличающийся тем, что

оболочка сосуда (1) под давлением содержит среднюю часть (1.2), которая расположена между крышкой (1.1) и дном (1.3), причем

25 дно (1.3) упирается в кольцо (1.5), которое расположено на распределяющей пластине (1.6),

распределяющая пластина (1.6) соединена с крышкой (1.1) посредством шпилек (1.7), и, кроме того,

уплотнение (1.4) расположено между крышкой (1.1), средней частью (1.2) и дном (1.3).

30

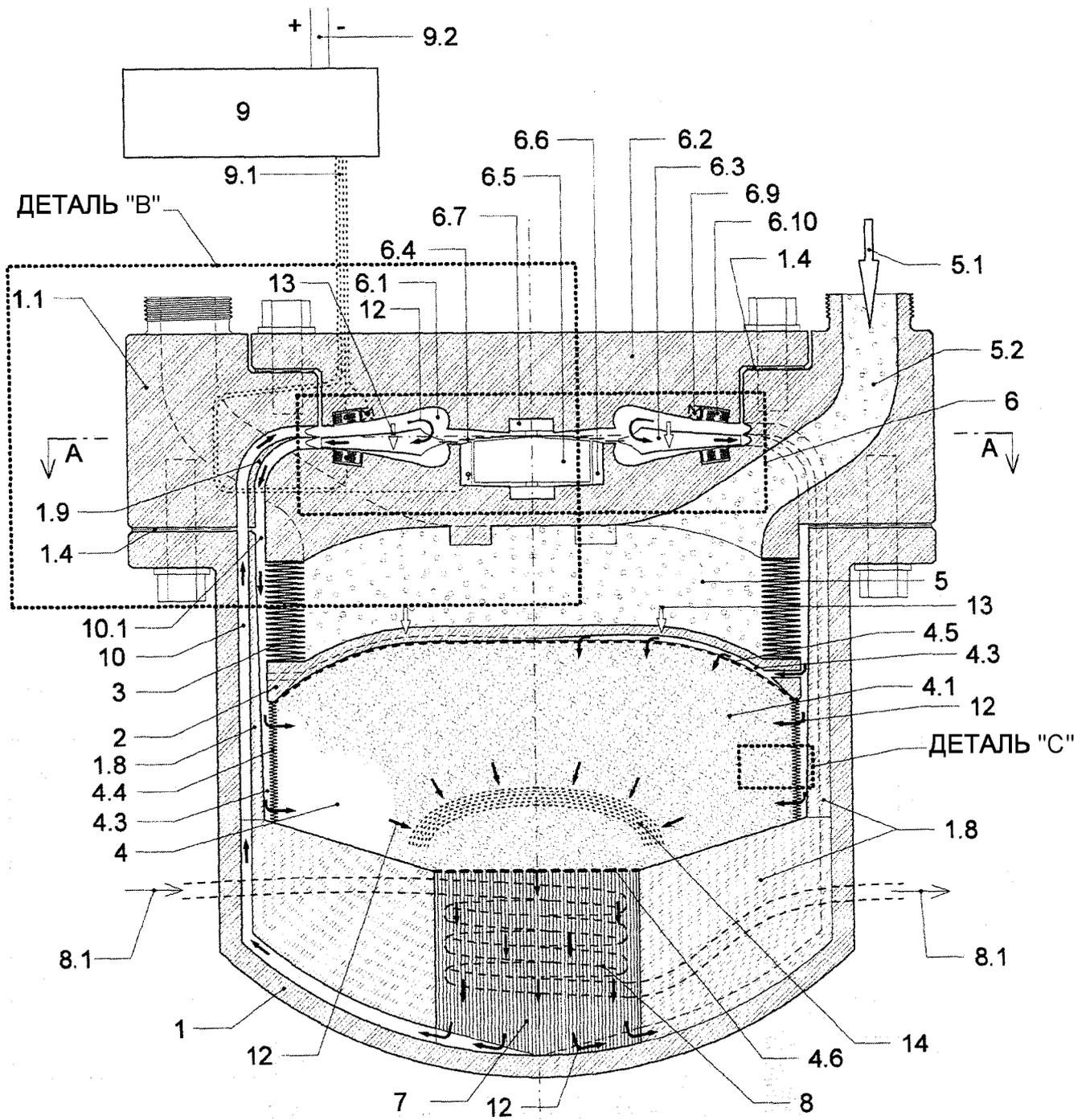
4. Тепловой двигатель по п. 1, отличающийся тем, что микроструктура (4.1) содержит материал с пористостью выше 99% в расчете на его общий объем, с плотностью от 1×10^{-4} до $0,03 \text{ г/см}^3$.

5. Тепловой двигатель по пп. 1 или 4, отличающийся тем, что микроструктура (4.1) состоит из углеродных, керамических и металлических микроволокон и нановолокон, аэрографита или графитового аэрогеля.

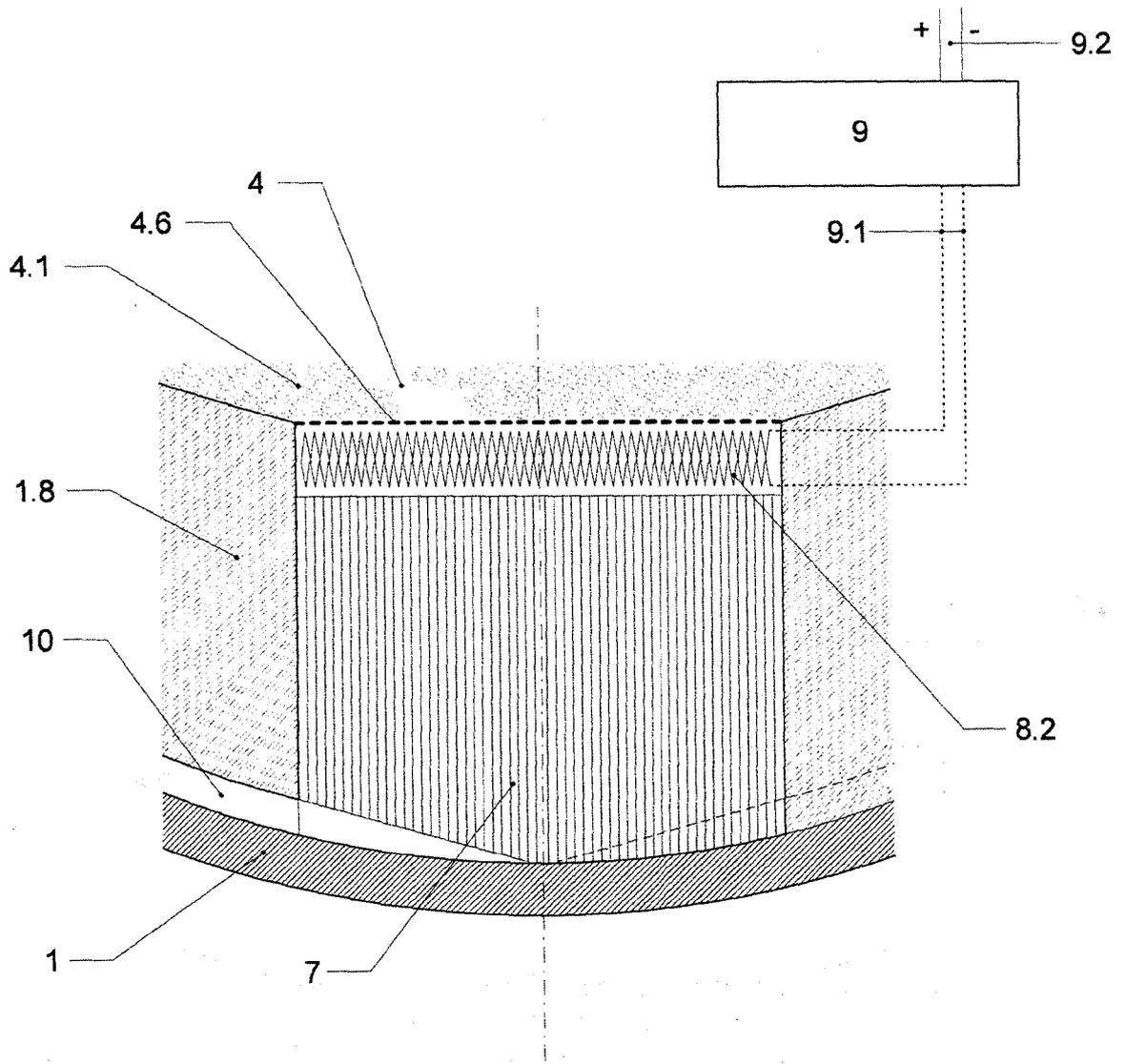
6. Тепловой двигатель по п. 1, отличающийся тем, что складчатая мембрана (3) выполнена газонепроницаемой.

10 7. Тепловой двигатель по п. 1, отличающийся тем, что микроструктура (4.1) расположена между сетками (4.2), расположенными на расстоянии друг от друга, причем
сетки расположены в плоскостях, перпендикулярных вектору перемещения перегородки, и соединены со складками складчатой
15 мембраны (4.4).

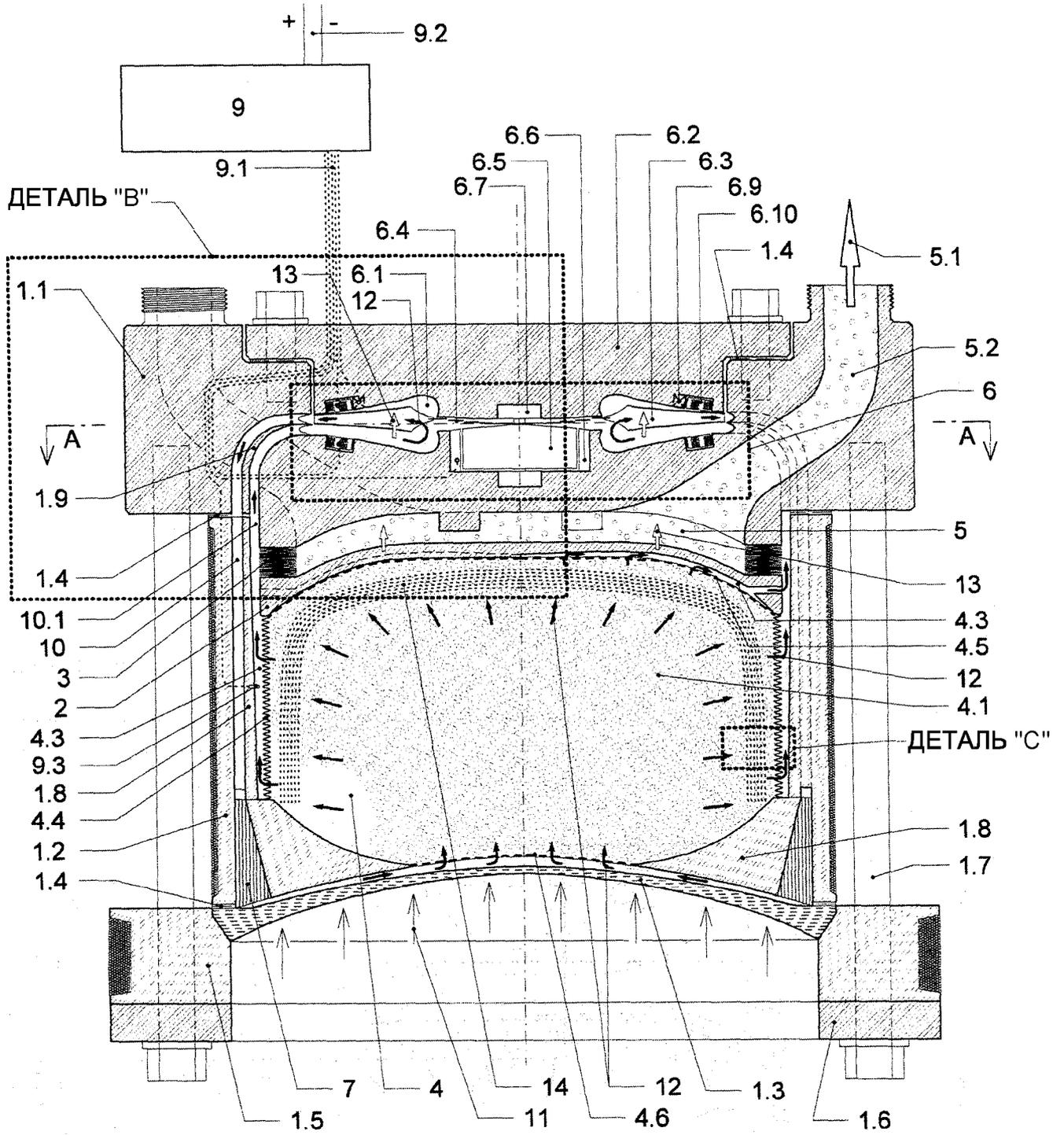
8. Тепловой двигатель по п. 7, отличающийся тем, что сетки (4.2) состоят из углеродных, керамических или металлических волокон, причем
20 взаимное расстояние между сетками и сетчатыми волокнами в их плоскости находится в диапазоне от 100 до 10000 средних расстояний между элементами микроструктуры (4.1).



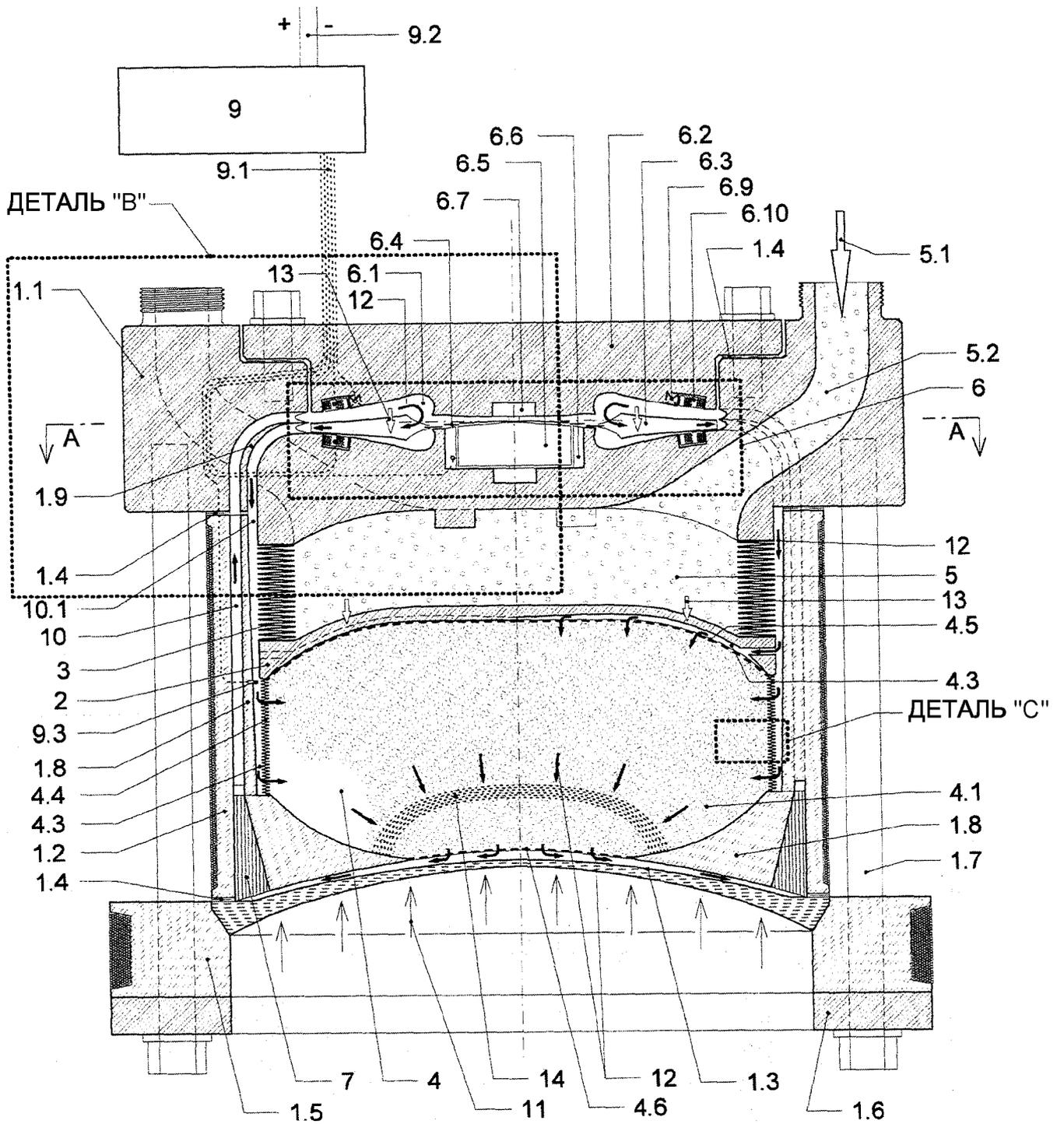
Фиг. 2



Фиг. 3

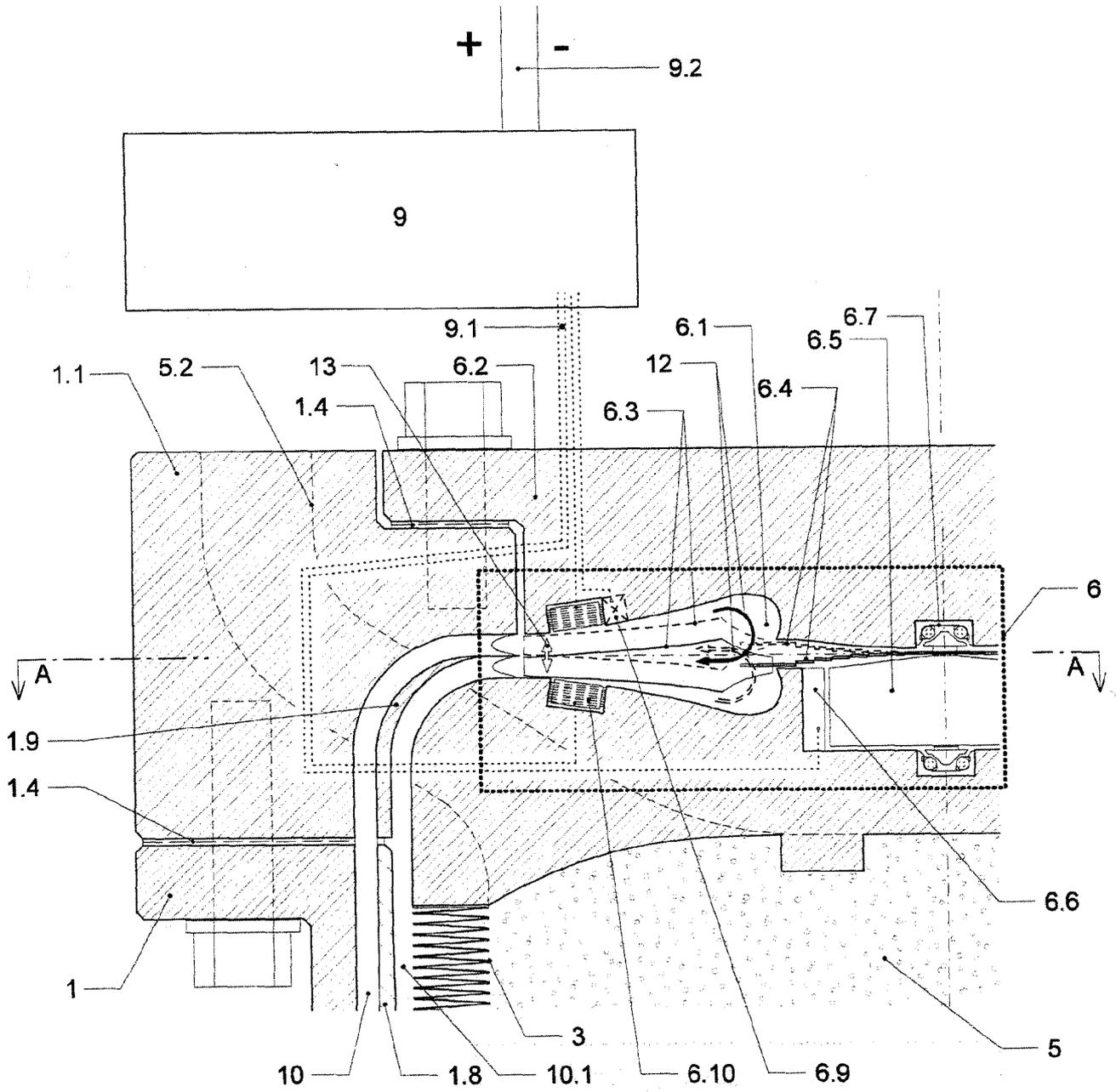


Фиг. 4



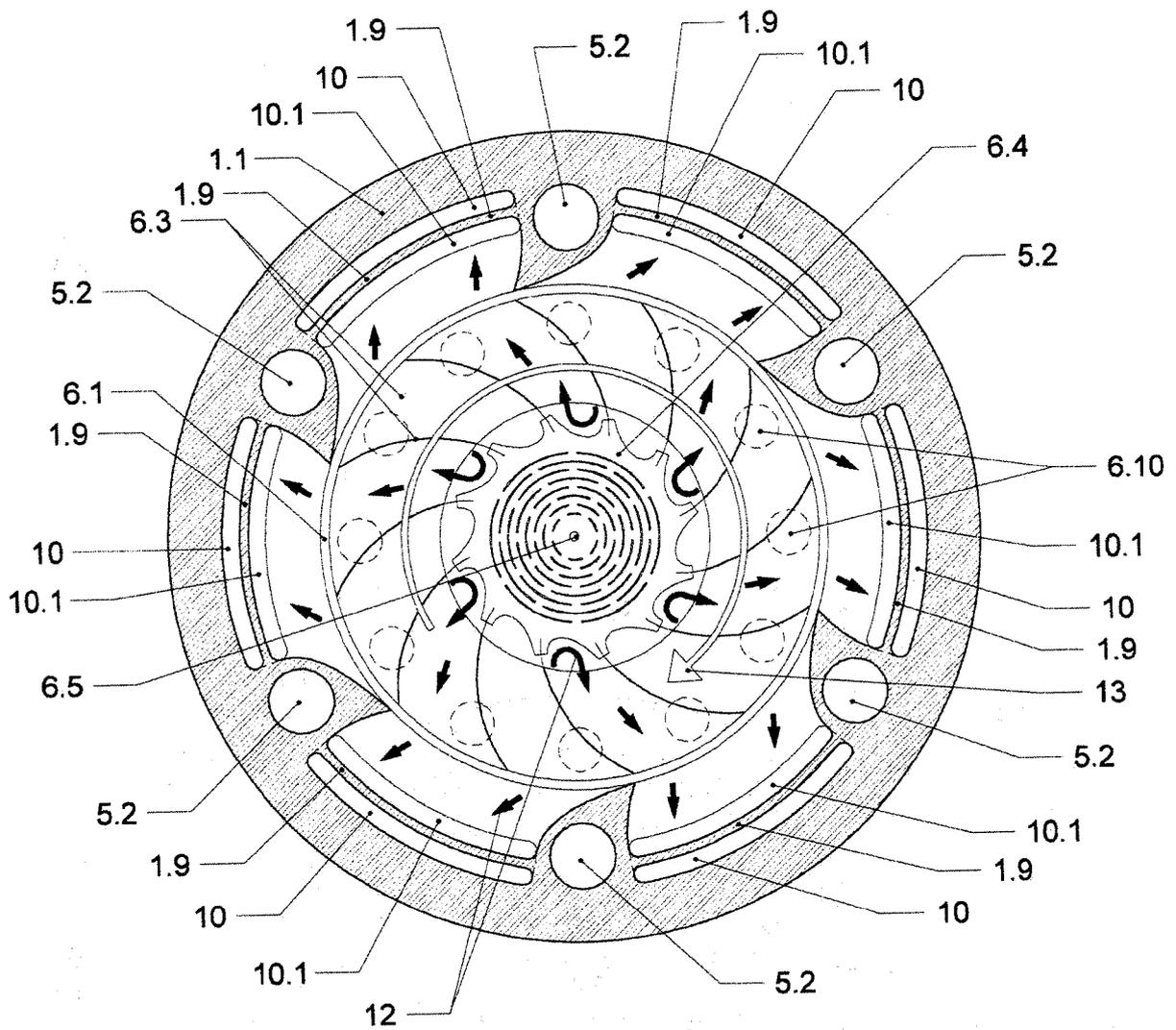
Фиг. 5

ДЕТАЛЬ "D"

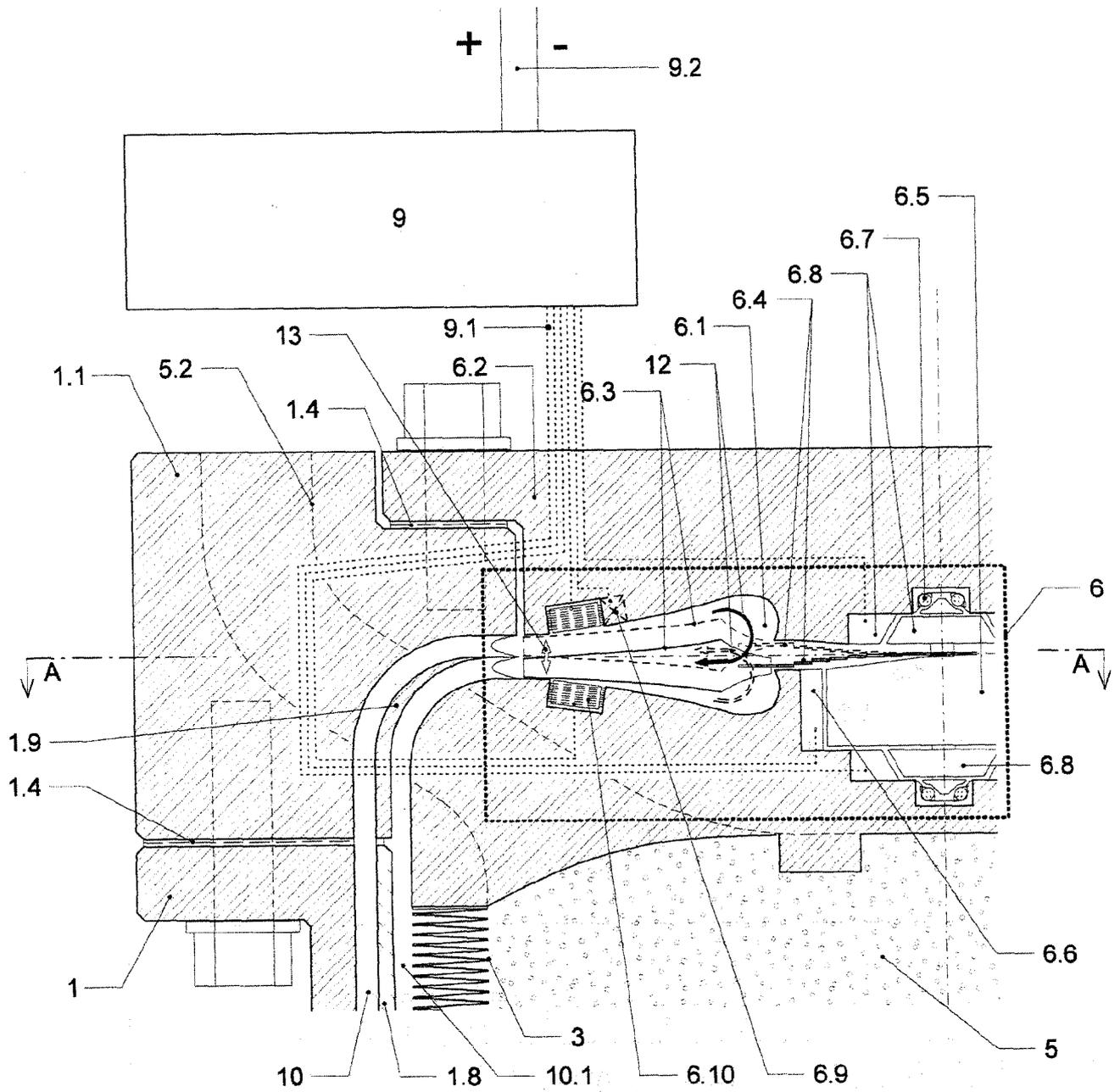


Фиг. 6

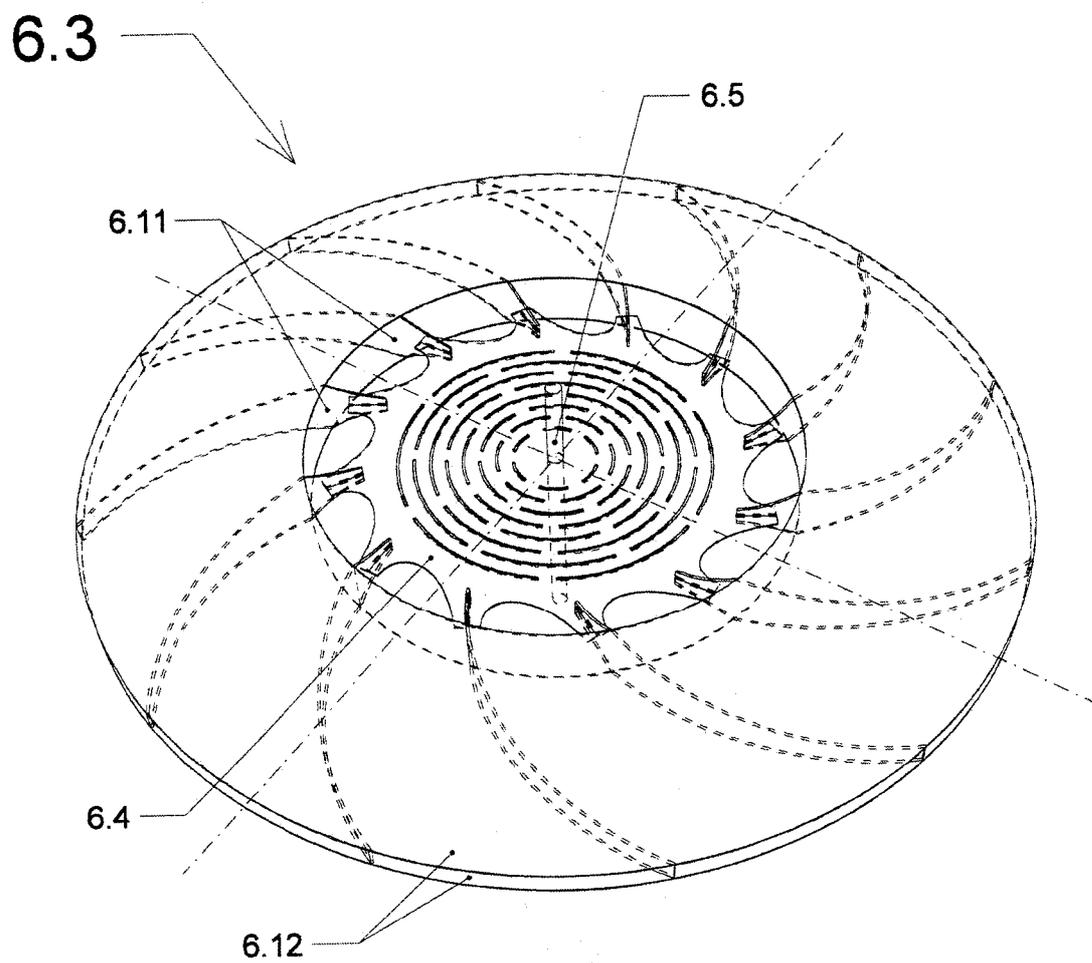
"A - A"



Фиг. 7

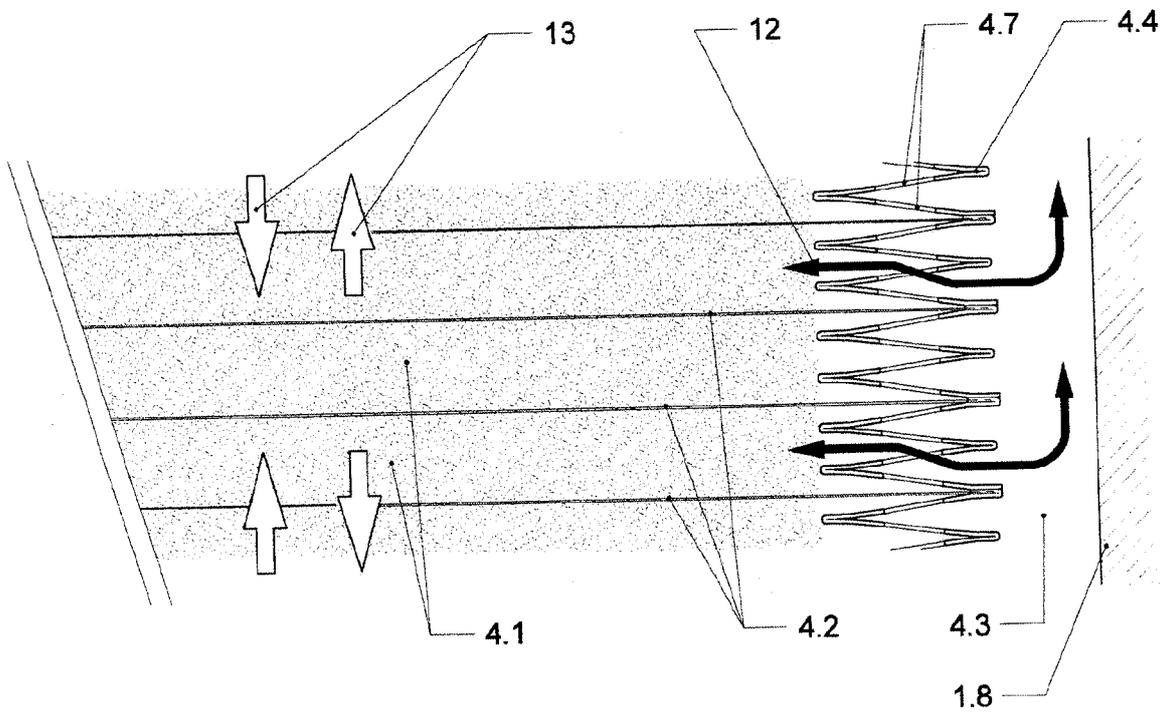


Фиг. 8

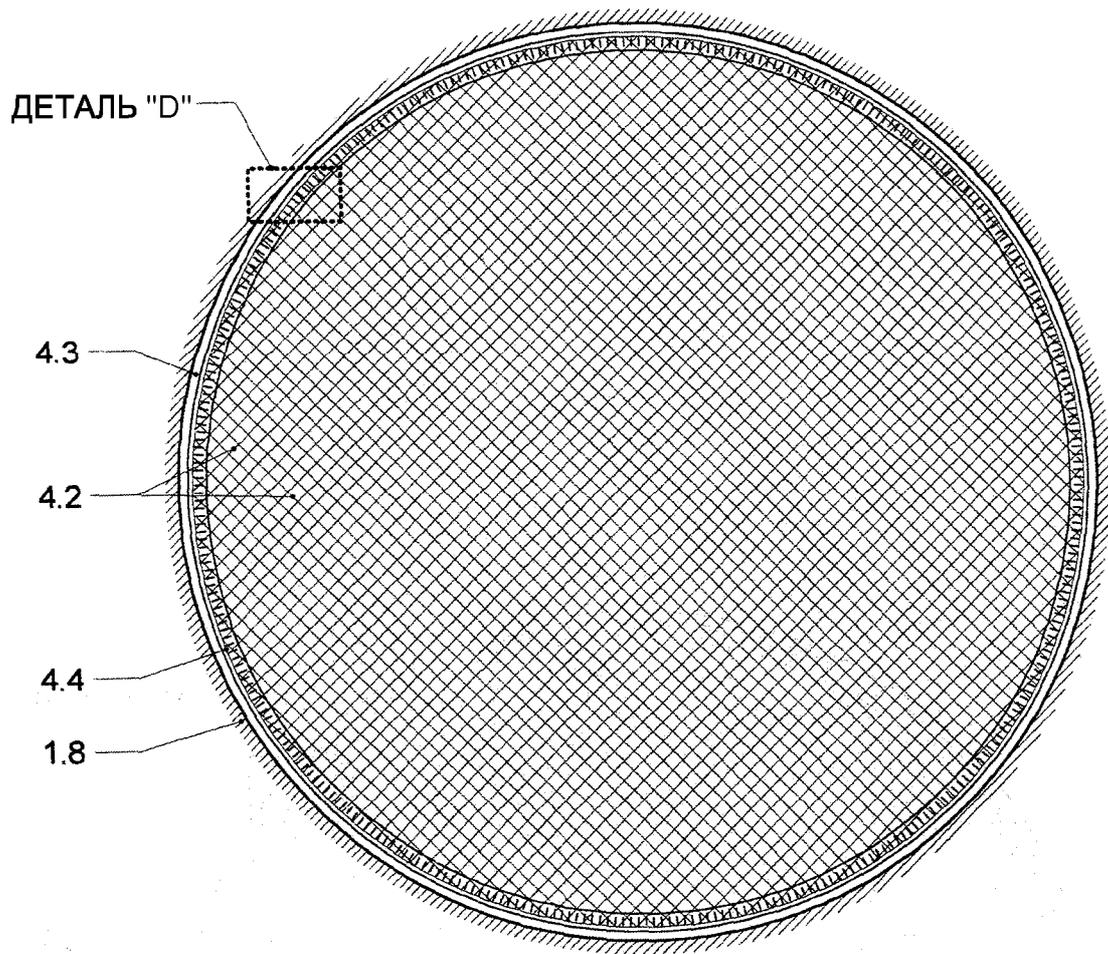


Фиг. 9

ДЕТАЛЬ "С"

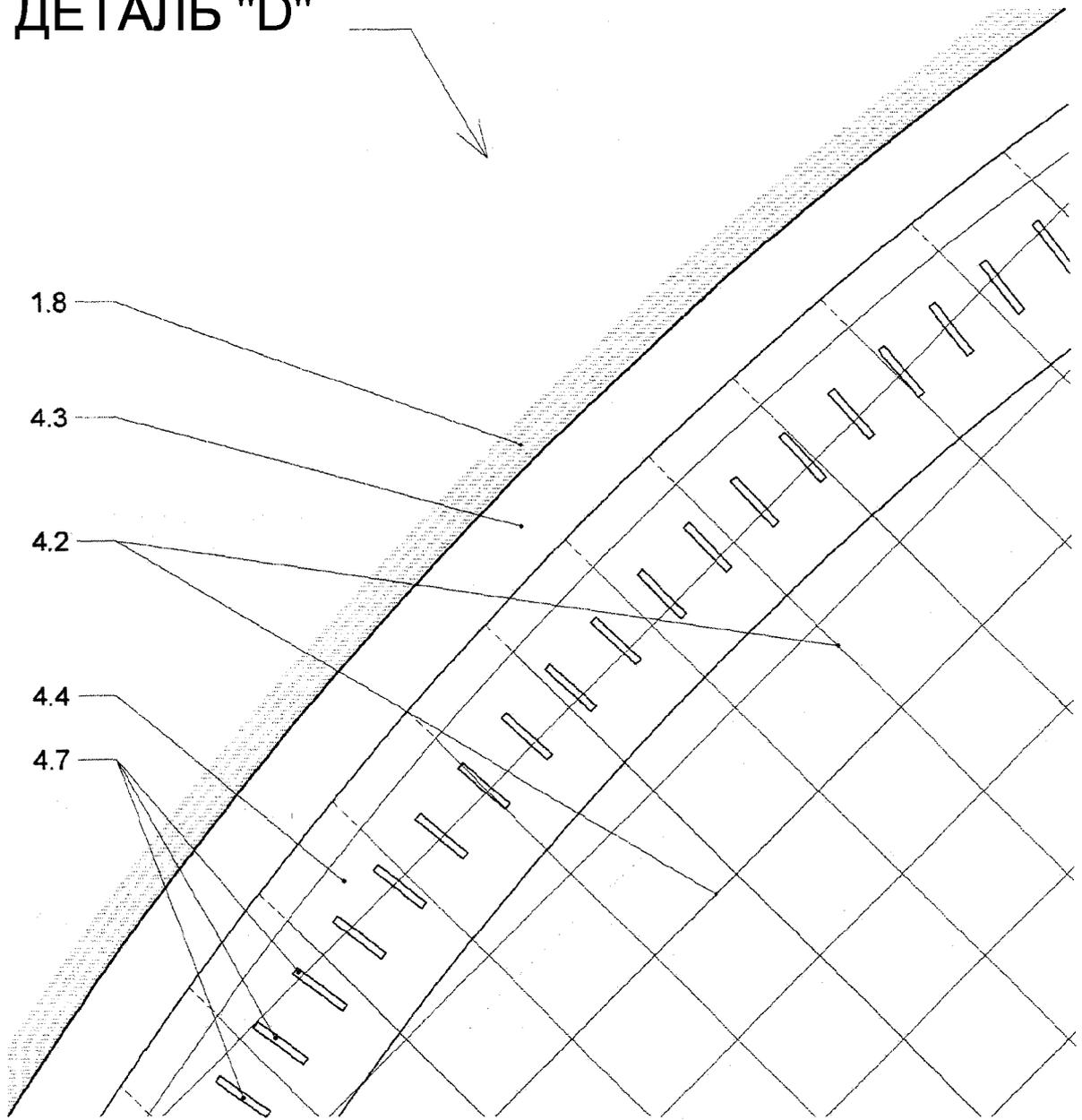


Фиг. 10



Фиг. 11

ДЕТАЛЬ "D"



Фиг. 12