



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016144052, 09.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.11.2016Дата регистрации:  
05.12.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.11.2016

(45) Опубликовано: 05.12.2017 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

125284, Москва, ул. Беговая, 13, кв. 53, Коротееву  
Алексею Васильевичу

(72) Автор(ы):

Коротеев Алексей Васильевич (RU),  
Бараков Владимир Николаевич (RU),  
Банин Евгений Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Коротеев Алексей Васильевич (RU),  
Бараков Владимир Николаевич (RU),  
Банин Евгений Петрович (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US5211546 A 18.05.1993.  
WO9403731 A1 17.02.1994. WO0019097 A1  
06.04.2000. US8007254 B2 30.08.2011.  
US2006155158 A1 13.07.2006. US2012226097  
A1 06.09.2012. US20130138205 A1 30.05.2013.  
RU2266141 C2 10.08.2003.

**(54) МИКРОАКСИАЛЬНЫЙ НАСОС ПОДДЕРЖКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к медицинской технике, а именно к вариантам устройства для перекачивания крови с бесконтактной магнитной муфтой. В первом варианте устройство включает расположенные в просвете крупных кровеносных сосудов многоступенчатую насосную часть. Насосная часть включает корпус и расположенный внутри корпуса соединительный вал. На соединительном валу находятся две осевые ступени, содержащие рабочие колеса с криволинейными лопатками и статорный аппарат. Устройство включает приводной узел, который включает герметичный корпус. Внутри герметичного корпуса располагается двигатель и приводимый в движение двигателем приводной вал. Приводной узел содержит магнитную муфту, которая включает внешнюю ведущую полумуфту, установленную на приводном валу приводного узла, и внутреннюю ведомую полумуфту, расположенную на торцевой поверхности основания рабочего колеса второй ступени

насосной части. Приводной узел позволяет передать крутящий момент на соединительный вал насосной части от двигателя с помощью магнитного поля. Во втором варианте приводной узел располагается вне тела пациента и содержит гибкий передающий вал, расположенный внутри тела пациента. На каждом конце гибкого вала жестко закреплена концевая магнитная полумуфта. Первая концевая полумуфта расположена в магнитном контакте с внутренней ведомой полумуфтой насосной части. Вторая концевая полумуфта расположена в магнитном контакте с внешней ведущей полумуфтой приводного узла. Техническим результатом является снижение травмы крови за счет уменьшения возмущения потока в проточной части и уменьшения скорости вращения рабочих колес. Также исключается необходимость подачи смазывающей жидкости, для исключения заклинивания двигателя приводного узла. 2 н. и 13 з.п. ф-лы, 8 ил.

RU  
2 637 605  
C1

RU  
2 637 605  
C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*A61M 1/10* (2006.01)  
*A61M 1/12* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016144052, 09.11.2016**(24) Effective date for property rights:  
**09.11.2016**Registration date:  
**05.12.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **09.11.2016**(45) Date of publication: **05.12.2017** Bull. № 34

Mail address:

**125284, Moskva, ul. Begovaya, 13, kv. 53, Koroteevu  
Aleksyu Vasilevichu**

(72) Inventor(s):

**Koroteev Aleksej Vasilevich (RU),  
Barakov Vladimir Nikolaevich (RU),  
Banin Evgenij Petrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Koroteev Aleksej Vasilevich (RU),  
Barakov Vladimir Nikolaevich (RU),  
Banin Evgenij Petrovich (RU)**(54) **MICROAXIAL PUMP FOR CIRCULATION MAINTENANCE (VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: in the first version, the device includes a multistage pumping part located in the lumen of large blood vessels. The pumping part includes a housing and a connecting shaft located inside the housing. On the connecting shaft, there are two axial stages containing impellers with curved blades and a stator apparatus. The device includes a drive assembly that includes a sealed housing. The sealed housing contains an engine and the driven drive shaft. The drive assembly contains a magnetic coupling, which includes an external drive half coupling on the drive shaft and an inner driven half coupling located on the face of the base of the second-stage impeller of the pumping part. The drive assembly allows the torque to be transmitted to the connecting shaft of the pumping part from the

engine by means of a magnetic field. In the second version, the drive assembly is located outside the patient's body and comprises a flexible transfer shaft located within the patient's body. An end magnetic half coupling is rigidly fixed at each end of the flexible shaft. The first end half coupling is in magnetic contact with the inner driven half coupling of the pumping part. The second end half coupling is in magnetic contact with the outer drive half coupling of the drive assembly.

EFFECT: reduced blood trauma by reducing flow disturbances in the passage and decreased speed of impellers rotation, eliminates the need to feed lubricating fluid to avoid jamming of the drive assembly engine.

15 cl, 8 dwg

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Группа изобретений относится к медицинской технике, в частности к устройствам для перекачивания однофазных или многофазных жидкостей без изменения их свойств (например, перекачивание крови при различных хирургических вмешательствах), и может быть использовано в качестве вспомогательного устройства при недостаточной работе сердца, а также в качестве основного насоса в системах вспомогательного кровообращения.

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

При перекачивании слабоустойчивых многофазных жидкостей (например, суспензий) при воздействии различных факторов (например, высоких сдвиговых напряжений, высоких температур) могут происходить необратимые изменения в структуре и составе рабочей среды.

Кровь - полидисперсная система (суспензия форменных элементов (эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов) в плазме). Кровь циркулирует в организме постоянно и находится в замкнутой системе кровообращения организма, что препятствует ее взаимодействию с окружающей средой и, как следствие, изменению свойств.

По результатам многочисленных исследований установлено, что при контакте с чужеродными материалами и при других воздействиях (например, механических) в крови может происходить разрушение эритроцитов с выделением гемоглобина в кровь, активация тромбоцитов (приводит к образованию тромбов). Такое влияние чужеродных материалов и воздействий может привести к большим осложнениям. Сформировавшиеся тромбы могут формироваться на чужеродных поверхностях, создавать дополнительное местное сопротивление кровотоку, а также отрываться и закупоривать мелкие сосуды. Повышение физиологического уровня гемолиза влияет на функционирование различных органов и в критических случаях приводит к их поражению.

За последние десятилетия основной причиной смертности стали сердечно-сосудистые заболевания. В случае необходимости замещения или поддержания функции сердца организму требуется пересадка донорского органа, ресурс которого ограничен. В последнее время исследователи получают все больше доказательств потенциальной возможности поддержания перекачивающей способности сердца за счет использования искусственных систем (например, искусственное сердце или искусственный желудочек сердца). На данный момент такие устройства не могут сравниться по гарантированной продолжительности жизни с донорскими органами, но успехи в этой области можно оценить уже в ближайшем времени.

По известному уровню техники можно заключить, что направление разработок систем поддержки кровообращения сконцентрировано на создании миниатюрных имплантируемых насосов, которые позволяют обеспечивать физиологический кровоток в организме при минимальном хирургическом вмешательстве. Такие насосы проектируются в основном исходя из заданной физиологической разности давлений, расходных параметров сердца. Миниатюрные насосы можно разделить на три класса: осевые насосы, центробежные насосы, диагональные насосы. Как правило, осевой и диагональный варианты исполнения насоса имеют меньшие конечные габариты устройства поддержки кровообращения, но при одинаковых входных условиях центробежный насос обеспечит требуемые параметры потока при меньшей скорости вращения подвижных частей, что в свою очередь приведет к меньшей травме крови.

Конструкции применяемых миниатюрных осевых насосов, включают, как правило, цилиндрическую трубку с встроенной в нее рабочим колесом и элементами опор. Условие миниатюрности устройства, а особенно имплантируемости его через сердечно-

сосудистую систему, приводит к очень высоким скоростям вращения рабочего колеса для обеспечения физиологических параметров кровотока. Высокие скорости вращения неизбежно приводят к повышенной травме крови и ограничивают не только ресурс двигателя, но и время использования насоса в организме. В основном такие насосы  
5 используются в краткосрочном периоде (до 15 дней) при критической необходимости вмешательства в организм при малом хирургическом вмешательстве. Такие устройства могут вводиться в организм через крупные сосуды и исключают применение торакальной хирургии.

Известен осевой лопаточный насос для вспомогательного кровообращения (RU  
10 2131271 C1, опубл. 10.06.1999), содержащий рабочее колесо с лопатками, размещенное в корпусе с возможностью вращения от гибкого вала, установленного в подшипниках, запрессованных во втулках корпуса спрямителя. Подобное решение используется в другом изобретении (EP 1207934 B1, опубл. 29.05.2002), представляющем собой  
15 интраваскулярный кровяной насос с гибким валом и двигателем, расположенным вне тела пациента. Отличительной особенностью двух решений является необходимость использования промывочной жидкости для исключения попадания крови в каналы между стационарными и вращающимися элементами насоса, а самое главное -  
20 попаданию крови в подшипники, что может привести к их заклиниванию. В ходе операции такие насосы вводятся через большие сосуды тела (например, через вену в области ниже паха) и подводятся к желудочку посредством гибкого проводника. Размер сосудов налагает существенные ограничения в габариты конечного изделия. Для различных пациентов максимальный размер проводимого насоса должен иметь диаметр  
25 меньше 10 мм. Вариант с использованием гибкого приводного вала позволяет отказаться от миниатюрных двигателей внутри тела и упростить конструкцию, но сложная конфигурация сосудов (например, в области дугообразного участка между нисходящим  
отделом аорты и аортальным клапаном), по которым идет гибкий вал, налагает  
ограничения на режимы работы двигателя, так как существует опасность заклинивания  
30 вала, вследствие большой длины вала и трения о стенку. Мало внимания уделено тому факту, что реализовать необходимый физиологический расход в диапазоне до 5 л/мин  
в диаметре до 10 мм возможно при достаточно высоких скоростях вращения (более  
30000 об/мин). Высокие скорости вращения рабочего колеса приводят в повышенной травме крови, т.к. скорость вращения напрямую влияет на сдвиговые напряжения в  
проточной части насоса.

Из уровня техники также известен осевой лопаточный насос для вспомогательного  
35 кровообращения (RU 2051695 C1, опубл. 10.01.1996), который является усовершенствованием для изобретения (RU 2131271 C1, опубл. 10.06.1999). В указанном техническом решении существуют проблемы конструкции насоса с гибким валом, а именно, недостаточная производительность насоса в необходимом диапазоне расходов. Скорость вращения рабочего колеса 15-20 тыс. оборотов в минуту позволяет обеспечить  
40 расход до 3,5 л/мин, что недостаточно для замещения функции сердца.

Известно изобретение (US 5507629 A, опубл. 16.04.1996), которое описывает насос с приводом рабочего колеса, расположенном в полости желудочка. Установка насоса предполагает внедрение его через вершину левого желудочка, что позволяет не  
проводить насос через изогнутую область между нисходящим отделом аорты и  
45 аортальным клапаном, а разместить насос в области между вершиной желудочка и аортальным клапаном. Такая конструкция насоса приводит к перераспределению потоков, так как создателями предусмотрено выталкивание крови не только через аортальный клапан, но и в обратную сторону (через вершину желудочка напрямую в

нисходящий отдел аорты ниже левого желудочка). Насос состоит из большого количества магнитных элементов, что делает его изготовление достаточно трудоемким. Также стоит отметить, что установка такого насоса требует существенного хирургического вмешательства.

5 Изобретение (US 20120029265 A1, опубл. 02.02.2012) представляет собой насос с одним или несколькими статорами. Насос посредством проводника проводится через крупные сосуды и вводится в полость желудочка, крепление и позиционирование осуществляется посредством стента с памятью формы. Обмотки электродвигателя расположены непосредственно в области желудочка или восходящего отдела аорты,  
10 что позволяет отказаться от гибкого вала за счет некоторого усложнения конструкции. Основным недостатком данной конструкции является необходимость обеспечения высокой скорости вращения рабочего колеса (от 20000 до 60000 тыс. оборотов в минуту) при обеспечении физиологического расхода и малые зазоры между корпусом и ротором (около 0,1 мм). Совокупность этих факторов станет причиной существенного гемолиза  
15 из-за высоких сдвиговых напряжений в проточной части насоса.

Наиболее близким аналогом является устройство для вспомогательного кровообращения (US 6176822 B1, опубл. 23.01.2001), которое представляет собой миниатюрный насос с миниатюрным электродвигателем. Вал двигателя имеет консольное закрепление с одной стороны (проксимальной). С другой, дистальной  
20 стороны вал двигателя проходит через подшипник скольжения и кольцевое уплотнение. На конце вала двигателя расположено рабочее колесо. Приводная часть располагается в области над аортальным клапаном. Насос вводится в полость желудочка посредством гибкого проводника через крупные сосуды. Недостатками данного изобретения являются:

- 25 - высокие скорости вращения ротора;
- консольное крепление рабочего колеса на валу привода требует повышенной надежности подшипника;
- кольцевое уплотнение, которое при высоких скоростях вращения и консольном креплении вала имеет повышенный износ, что приводит к проникновению крови в  
30 полости двигателя и, как следствие, заклиниванию мотора из-за существенной концентрации в плазме крови солей и других включений.

#### РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящая группа изобретений направлена на решение технической проблемы, обусловленной существенным изменением параметров перекачиваемых одно- и  
35 многофазных жидкостей (например, крови), в том числе травмой крови и наличием зон застоя и рециркуляции.

Технический результат группы изобретений заключается в снижении травмы крови за счет уменьшения возмущений потока в проточной части насоса, уменьшения скорости вращения рабочих колес, исключении необходимости подачи смазывающей жидкости  
40 в область, исключения заклинивания двигателя приводного узла.

Дополнительным техническим результатом в одном из вариантов осуществления является сохранение кожных покровов интактными. Для достижения указанного технического результата предлагаемые варианты конструкции устройства для перекачивания крови с бесконтактной магнитной муфтой выполнены следующим  
45 образом.

В первом варианте осуществления устройство включает многоступенчатую насосную часть и приводной узел, при этом многоступенчатая насосная часть включает расположенные на соединительном валу внутри корпуса насосной части по меньшей

мере две осевые ступени, содержащие рабочие колеса с криволинейными лопатками, и статорный аппарат, а приводной узел включает расположенные в герметичном корпусе приводного узла двигатель с приводным валом, при этом рабочее колесо связано с приводным валом посредством бесконтактной магнитной муфты, включающей  
5 внешнюю ведущую полумуфту, установленную на приводном валу, и внутреннюю ведомую полумуфту, расположенную на торцевой поверхности основания рабочего колеса.

В некоторых вариантах реализации статорный аппарат включает по меньшей мере три спрямителя, один из которых является спрямителем входного потока.

10 В некоторых вариантах реализации лопатки спрямителя входного потока ориентированы вдоль оси соединительного вала и/или под углом к ней

В некоторых вариантах реализации количество криволинейных лопаток по меньшей мере одного рабочего колеса отличается от количества лопаток по меньшей мере одного спрямителя статорного аппарата.

15 При этом лопатки спрямителя входного потока могут быть ориентированы вдоль оси соединительного вала и/или под углом к ней.

Во втором варианте осуществления устройство включает многоступенчатую насосную часть и приводной узел, при этом многоступенчатая насосная часть включает расположенные на соединительном валу внутри корпуса насосной части по меньшей  
20 мере две осевые ступени, содержащие рабочие колеса с криволинейными лопатками, и статорный аппарат, при этом приводной узел расположен вне тела пациента и включает корпус, двигатель с приводным валом, вращение от которого передается соединительному валу насосной части посредством гибкого передающего вала и магнитной муфты с помощью магнитного поля; бесконтактная магнитная муфта  
25 включает внешнюю ведущую полумуфту, установленную на приводном валу, и внутреннюю ведомую полумуфту, расположенную на торцевой поверхности основания рабочего колеса насосной части, а гибкий передающий вал расположен внутри тела пациента, и на каждом из его концов жестко закреплена концевая магнитная полумуфта: первая концевая полумуфта расположена в магнитном контакте с внутренней ведомой  
30 полумуфтой насосной части, вторая концевая полумуфта расположена в магнитном контакте с внешней ведущей полумуфтой приводного узла.

В обоих вариантах осуществления в некоторых вариантах реализации соединительный вал расположен в по меньшей мере одной сквозной и по меньшей мере одной концевой подшипниковой опоре.

35 В обоих вариантах осуществления в некоторых вариантах реализации качестве подшипников используются подшипники скольжения и/или подшипники качения.

В обоих вариантах осуществления в некоторых вариантах реализации криволинейные лопатки рабочего колеса многоступенчатой насосной части имеют одинаковый или  
40 разный профиль.

В некоторых вариантах реализации гибкий передающий вал опирается на подшипники скольжения и/или качения с постоянным или переменным шагом вдоль оси вала, при этом гибкий передающий вал расположен в полой гибком зонде.

В некоторых вариантах реализации гибкий вал представляет собой стальную струну круглого сечения.

45 В обоих вариантах осуществления внешняя ведущая полумуфта выполнена в виде шкива с расположенными постоянными магнитами в нем, а внутренняя ведомая полумуфта представляет собой постоянные магниты, расположенные в основании рабочего колеса второй ступени.

В некоторых вариантах реализации первая концевая полумуфта выполнена в виде шкива с постоянными магнитами, а вторая концевая полумуфта выполнена в виде втулки с расположенными в ее основании постоянными магнитами.

5 В некоторых вариантах реализации шкив первой концевой полумуфты и втулка второй концевой полумуфты расположены в соответствующих герметичных корпусах с крышкой-переходником, жестко связанной с гибким зондом.

В обоих вариантах осуществления в некоторых вариантах реализации внешний диаметр корпуса многоступенчатой насосной части меньше, чем диаметр крупных кровеносных сосудов.

10 Снижение скорости вращения рабочих колес достигается за счет использования по меньшей мере двухступенчатой схемы осевого насоса.

Использование двух ступеней позволяет уменьшить скорость вращения двигателя, что приводит к уменьшению сдвиговых напряжений в зазорах между корпусом насосной части и рабочими колесами, что способствует более благоприятному прохождению 15 форменных элементов крови (эритроциты, тромбоциты, лейкоциты) через проточную часть насоса. Для двухступенчатого насоса обеспечить нормальные физиологические параметры работы сердца (расход до 5-6 л/мин, перепад давления до 140-150 мм рт.ст) удается при скоростях вращения до 15000-18000 об/мин.

Для повышения эффективности насоса на входе устанавливается спрямитель, который 20 обеспечивает благоприятное набегание потока на лопатки рабочего колеса. Профиль лопаток спрямителя выбирается исходя из поведения потока на входе в осевой насос.

Размещение приводного узла в герметичном корпусе и отделение его от проточной части насоса (насосной части заявляемого устройства) с передачей вращения рабочим 25 колесам посредством магнитной муфты позволяет исключить попадания крови в двигатель и исключить заклинивание, что обеспечивает длительность работы микроаксиального насоса.

Выполнение многоступенчатой насосной части таким образом, что количество криволинейных лопаток по меньшей мере одного рабочего колеса отличается от 30 количества лопаток по меньшей мере одного спрямителя статорного аппарата приводит к уменьшению возмущений потока в проточной части насоса, что меньше травмирует кровь по сравнению с исполнением с кратным или равным количеством лопаток рабочих колес и элементов статорного аппарата.

Особенность конструкции устройства для перекачивания крови, когда насосная часть находится внутри тела пациента, а приводной узел - снаружи, состоит в отсутстви 35 возможности попадания молекул окружающей среды (крови) в трущиеся поверхности: подшипник скольжения - гибкий вал, сохранение стерильности и отсутствие механического воздействия на кровь, что позволяет передавать энергию: вращательный момент - без вывода коммуникаций через кожный покров и не влияет на изменение окружающей среды (кровь).

40 Абсолютно герметичная бесконтактная гибкая передача сохраняет стерильные условия размещения осевого насоса в полости желудочка, исключая необходимость размещения в организме электрических коммуникаций приводного узла, таких как обмотка статора. Также при использовании данного варианта осуществления изобретения существует возможность смены приводного узла без реимплантации (в 45 случае износа или поломки двигателя), что увеличивает время эксплуатации трансплантируемого насоса, в значительной части уменьшает объем и вес трансплантата, исключает температурные влияния на кровь - в результате нагрева статорной обмотки.

**КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ**

Прилагаемые чертежи, которые включены в состав настоящего описания и являются его частью, иллюстрируют варианты осуществления изобретения и совместно с вышеприведенным общим описанием изобретения и нижеприведенным подробным описанием вариантов осуществления служат для пояснения принципов настоящего изобретения. На чертежах одинаковые позиции применяются для обозначения одинаковых частей.

На фиг. 1 представлен общий вид микроаксиального насоса вспомогательного кровообращения (корпус проточной части со спрямителем второй ступени снят).

На фиг. 2 представлен общий вид микроаксиального насоса вспомогательного кровообращения с двигателем и корпусом проточной части со спрямителем второй степени.

На фиг. 3 изображены основные узлы и элементы микроаксиального насоса вспомогательного кровообращения с внутренним приводным узлом.

На фиг. 4. представлен общий вид микроаксиального насоса вспомогательного кровообращения с внутренним приводным узлом.

На фиг. 5 изображены основные узлы и элементы микроаксиального насоса вспомогательного кровообращения с наружным приводным узлом.

На фиг. 6 представлен внешний приводной узел и зонд с концевыми магнитными полумуфтами.

На фиг. 7 изображен внешний приводной узел и одна из концевых магнитных полумуфт, закрепленная на зонде.

На фиг. 8 схематично представлен один из вариантов установки микроаксиального насоса вспомогательного кровообращения с внешним приводом через бедренную артерию и восходящую аорту.

#### ОБОЗНАЧЕНИЯ

- 1 - Зонд
- 2 - Корпус приводного узла
- 3 - Рабочее колесо второй ступени
- 4 - Спрямитель первой ступени
- 5 - Рабочее колесо первой ступени
- 6 - Спрямитель входного потока
- 7 - Гибкая вставка
- 8 - Концевик-заборник крови
- 9 - Двигатель
- 10 - Магнитная полумуфта
- 11 - Спрямитель второй ступени
- 110 - Корпус проточной части
- 12 - Крышка приводного узла
- 13 - Цилиндрическая часть корпуса приводного узла
- 14 - Втулка на валу двигателя
- 15 - Подшипник скольжения/качения
- 16 - Магнит
- 17 - Соединительный вал
- 18 - Первая концевая полумуфта
- 180 - Вторая концевая полумуфта
- 19 - Крышка магнитной полумуфты на гибком валу
- 20 - Корпус магнитной полумуфты на гибком валу
- 21 - Проушины для подшивания корпуса внешнего приводного узла к коже

- 22 - Гибкий вал
- 23 - Корпус капсулы второй магнитной полумуфты
- 24 - Крышка приводного узла
- 25 - Корпус приводного узла
- 5 26 - Шкив магнитной полумуфты на двигателе
- 27 - Шкив магнитной полумуфты на гибком валу
- 28 - Крышка-переходник корпуса магнитной полумуфты на гибкий вал
- 29 - Насос вспомогательного кровообращения с внешним приводным узлом
- 30 - Направление течения крови
- 10 31 - Кожный покров

### ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В общем, настоящее изобретение предлагает микроаксиальный насос для перекачивания крови и может быть использовано в качестве вспомогательного устройства при недостаточной работе сердца, а также в качестве основного насоса в системах вспомогательного кровообращения

Данный микроаксиальный насос относится к осевым насосам, которые основаны на силовом взаимодействии лопасти с обтекающим ее потоком. В осевых насосах поток жидкости параллелен оси вращения лопастного колеса и при прохождении потока жидкости через проточную часть осевого насоса он не изменяет своего направления.

Предпочтительным для таких насосов является использование принципа магнитного сцепления для развязки стороны крови от стороны привода. Это дает возможность максимально минимизировать кровопроводящие поверхности. Компактная конструкция позволяет удобно расположить насос в просвете крупных сосудов.

Микроаксиальный насос с магнитной муфтой для перекачивания крови содержит расположенные в корпусе приводной узел и многоступенчатую насосную часть, в которой размещены последовательно расположенные на соединительном валу внутри корпуса осевые ступени с рабочими колесами с криволинейными лопатками и статорный аппарат. Насосная часть соединена с заборником крови.

Приводной узел выполнен с возможностью передачи момента вращения соединительному валу насосной части.

Пакет осевых ступеней в случае выполнения насосной части двухступенчатой состоит из рабочего колеса первой или второй ступени с криволинейными лопатками и статорного аппарата. Рабочие колеса установлены на соединительном валу по посадке с натягом, либо с использованием клея-герметика внутри корпуса насосной части и выполнены в виде втулки.

Статорный аппарат на входе в насос включает по меньшей мере один спрямитель входного потока с расчетным профилем лопаток и по меньшей мере два спрямителя с расчетным профилем лопаток. Применение в статорном аппарате прямых радиальных лопаток спрямителя входного потока позволяет осуществлять осевой подвод рабочей жидкости к рабочему колесу последующей ступени.

При этом статорный аппарат расположен на соединительном валу посредством по меньшей мере одного сквозного и по меньшей мере одного концевых подшипников, в качестве которых используются подшипники скольжения и/или подшипники качения.

На фиг. 1 в соответствии с примером осуществления изобретения устройство для перекачивания крови с бесконтактной магнитной муфтой (или микроаксиальный насос с бесконтактной магнитной муфтой для перекачивания крови) содержит многоступенчатую насосную часть и приводной узел, который включает в герметичный корпус 2 приводного узла двигатель с приводным валом. К герметичному корпусу 2

приводного узла через крышку 12 приводного узла (фиг. 2) подсоединяется зонд 1, представляющий из себя полую трубку.

К корпусу приводного узла 2 подходит рабочее колесо второй ступени 3. Рабочее колесо второй ступени 3 устанавливается на соединительный вал 17 (не показано на фиг. 1) посредством, например, соединения с натягом или клеевого соединения. Соединительный вал 17 проходит через неподвижный спрямитель первой ступени 4, в котором расположены подшипниковые опоры 15, например, с подшипниками скольжения или качения. За спрямителем первой ступени 4 расположено рабочее колесо первой ступени 5. Крепление рабочих колес первой 5 и второй ступени 3 на вал 17 осуществляется аналогично. За рабочим колесом первой ступени устанавливается неподвижный спрямитель входного потока 6 с подшипником 15. Во всех вариантах исполнения могут использоваться как подшипники качения, так и подшипники скольжения. За спрямителем входного потока устанавливается гибкая вставка 7, которая представляет из себя гибкую полую тонкостенную трубку. На вставку напрессовывается или наклеивается концевик-заборник крови 8 в виде жесткого трубчатого элемента с перфорацией по периферии его диаметрального сечения с закругленным дистальным концом. На фиг. 1 корпус проточной части со спрямителем второй ступени снят.

Общий вид микроаксиального насоса с бесконтактной магнитной муфтой для перекачивания крови с двигателем и корпусом проточной части со спрямителем второй ступени представлен на фиг. 2.

Заборник крови направляет жидкость и выполнен в виде полый гибкой вставки 7 цилиндрической формы и подсоединенного к ней концевика-заборника крови 8 в виде жесткого трубчатого элемента с перфорацией по периферии его диаметрального сечения с закругленным дистальным концом, двухступенчатую насосную часть и приводной узел.

Заборник крови соединяется с корпусом проточной части 110 посредством крепления гибкой вставки 7 к внешней или внутренней поверхности корпуса проточной части 110. Соединение гибкой вставки 7 с корпусом проточной части 110 осуществляется посредством клеевого соединения, спайки и т.п. По внешней или внутренней поверхности посредством клеевого, спаечного или соединения по посадке с натягом к корпусу проточной части 110 крепится спрямитель второй ступени 11. Спрямитель второй ступени 11 представляет из себя полую тонкостенную трубку переменного или постоянного диаметра в направлении оси насоса с вырезами для выхода потока из насоса. Далее спрямитель второй ступени соединяется по посадке или иным способом с корпусом приводного узла 2, в котором находятся двигатель 9 и магнитная полумуфта 10, передающая вращение от двигателя 9 посредством магнитного поля на рабочее колесо второй ступени 3 и рабочее колесо первой ступени 5. Рабочее колесо первой ступени 5 и второй ступени 3 расположены на валу 17 (не показан на фиг. 2). В качестве стационарных опор для вала 17 служат спрямитель первой ступени 4 с подшипниками качения или скольжения и спрямитель входного потока 6 с подшипником скольжения или качения при этом спрямитель первой ступени 4 и спрямитель входного потока 6 запрессованы, вклеены или припаяны к внутренней стенке корпуса проточной части 110, т.е. являются стационарными (неподвижными) элементами.

Проводящий зонд 1 крепится к корпусу двигателя 9 посредством крышки приводного узла 12, напрессованной, вклеенной или впаянной в корпус капсулы привода 2.

Рабочая жидкость забирается через концевик-заборник 8 и проходит сквозь гибкую вставку 7, соединенную с корпусом проточной части 110 (фиг. 3). Поток, попадая на спрямитель входного потока 6 спрямляется. За счет лопаток спрямителя входного

потока 6 у потока уменьшается окружная составляющая скорости, а сам поток становится близким к осевому. На выходе из спрямителя входного потока поток забирается лопатками рабочего колеса первой ступени 5, которое сообщает потоку энергию вращения и проталкивает поток дальше на стационарные лопатки спрямителя первой ступени 4, в котором кинетическая энергия потока преобразуется за счет торможения потока о неподвижные лопатки в энергию давления. Далее поток проходит через рабочее колесо второй ступени 3, где снова получает дополнительную кинетическую энергию от вращения, которая преобразуется в энергию давления при дальнейшем прохождении через вырезы спрямителя второй ступени 11.

Двигатель 9 находится в цилиндрической части корпуса приводного узла 13. На вал двигателя устанавливается втулка 14 с магнитами 16, формируя таким образом магнитную полумуфту 10 (фиг. 2). Момент от вала двигателя передается втулке 14 с магнитами 16. Далее момент передается посредством магнитного поля, формируемого между магнитами втулки 14 и магнитами у основания рабочего колеса второй ступени 3, которое находится на общем валу 17 (фиг. 3). Рабочие колеса первой и второй ступени находятся на общем валу 17 и вращение, передаваемое на рабочее колесо второй ступени 3, также передается на рабочее колесо первой ступени 5. Вал 17 закреплен в подшипниках качения, скольжения в стационарном спрямителе первой ступени 4 и спрямителе входного потока 6. Количество магнитов во втулке 14 и в рабочем колесе второй ступени не меньше 4, при этом полюса магнитов чередуются.

В альтернативном варианте выполнения устройства для перекачивания крови количество криволинейных лопаток по меньшей мере одного рабочего колеса отличается от количества лопаток по меньшей мере одного спрямителя статорного аппарата, что приводит к снижению травмы крови.

Профиль лопаток рабочих колес первой 5 и второй ступени 3 в обоих вариантах осуществления определяется математическим моделированием исходя из физиологических параметров здорового сердца; расходе до 5-6 л/мин и перепаде давления до 140-150 мм рт.ст. Криволинейные лопатки рабочих колес первой 5 и второй 3 ступеней могут иметь одинаковый и/или разный профиль.

Профиль лопаток спрямителя входного потока 6 выбирается исходя из поведения потока на входе в насосную часть. Лопатки спрямителей первой 4 и второй 11 ступеней могут устанавливаться как в направлении оси, проходящей через вал двигателя, так и под углом к ней. Лопатки спрямителей первой 4 и второй 11 ступеней имеют сложный расчетный профиль для обеспечения стеснения потока и увеличения напора.

Бесконтактная магнитная муфта микроаксиального насоса, как показано на фиг. 3, 4 включает в себя внутреннюю ведомую муфту, образованную расположенными на торцевой поверхности основания рабочего колеса второй ступени 3 постоянными магнитами 16, герметизирующую крышку, отделяющая насосную часть от приводного узла, и внешнюю ведущую полумуфту, расположенную в приводном узле. Полумуфты выполнены, например, многополюсными с чередованием полюсов.

При этом постоянные магниты 16, как показано на сечении В-В фиг. 3, в основании рабочего колеса второй ступени 3 либо запрессовываются, либо клеиваются и изолируются от рабочей жидкости посредством герметичной крышки, которая в свою очередь может либо клеиваться, либо привариваться к торцевой поверхности основания рабочего колеса второй ступени 3. В основании рабочего колеса второй ступени 3 расположено не менее, чем четыре постоянных магнита на равном угловом шаге друг от друга.

В одном варианте осуществления, приводной узел является внутренним и расположен

внутри тела пациента. Такой вариант осуществления изображен на фиг. 1-4. Для того, чтобы отделить приводной узел от «кровенного участка», приводной узел установлен в герметичной капсуле непосредственно в крупном сосуде (например, аорте) и включает расположенные в герметичном корпусе 2 двигатель 9 с приводным валом.

5 Внешняя ведущая полумуфта, выполненная в виде втулки 14 с постоянными магнитами 16, установлена непосредственно на валу двигателя 9. При этом постоянные магниты 16 в основании втулки 14 либо запрессовываются, либо клеиваются.

Вращающийся приводной вал двигателя 9 приводит в движение посаженную на вал внешнюю ведущую полумуфту 10, которая передает момент через стенку герметичного корпуса 2 на внутреннюю ведомую полумуфту составленную магнитами в основании рабочего колеса второй ступени 3 посредством постоянного магнитного поля.

Крышка 12 герметичной капсулы 2 приводного узла, выполненная конической с выходным отверстием и устанавливается на герметичный корпус 2, например, путем навинчивания.

15 В другом варианте осуществления приводной узел является внешним и расположен вне тела пациента. Приводной узел устанавливается в корпусе 25 (фиг. 5) снаружи, вне организма человека, и включает двигатель 9 с крышкой 24 с приводным валом.

На приводной вал установлен шкив 25 внешней ведущей полумуфты приводного узла с постоянными магнитами 16. Вращение от вала двигателя 9 также передается на внешнюю ведущую полумуфту.

Устройство дополнительно содержит гибкий передающий зонд 1 с концевыми полумуфтами, одна из которых расположена в магнитном контакте с внутренней ведомой полумуфтой, составленной магнитами 16 в основании рабочего колеса второй ступени 3, расположенной в насосной части, а вторая - с внешней ведущей полумуфтой приводного узла составленной из шкива 26 с магнитами 16. Концевые полумуфты напрессованы/наклеены на гибкий вал 22, идущий внутри полого гибкого зонда 1 сквозь подшипники скольжения/качения 15, установленные на определенном расстоянии по всей длине гибкого вала 22 с постоянным или переменным шагом вдоль оси вала. В одном из исполнений гибкий вал 22 представляет собой стальную струну круглого сечения.

Одна из концевых полумуфт 18 приводится в движение посредством постоянного магнитного поля от внешней магнитной полумуфты, составленной из шкива 26 и магнитов 16, установленной на валу внешнего двигателя 9, подключенного к плате управления для переключения режимов работы насоса в физиологическом для пациента диапазоне расходов. Плата управления может располагаться непосредственно на пациенте, либо на консоли рядом с пациентом. Режимы работы устанавливаются согласно потребности организма человека в кислороде (увеличение потребления кислорода, например, требует увеличения скорости вращения двигателя, т.к. расход при этом увеличивается).

40 Шкиф 27 концевой полумуфты 18 с постоянными магнитами 16 установлен на гибком валу 22 посредством подшипника качения/скольжения 15 и находится в корпусе 20 с крышкой 19, жестко связанной с зондом 1 посредством клеевого или паечного соединения.

Для подшивания к мягким кожным слоям на корпусе 20 предусмотрены проушины 21 (фиг. 7), равномерно расположенный по всей окружности корпуса 20.

На другом конце зонда 1 на гибкий вал 22 также напрессовывается/наклеивается концевая полумуфта 10 с постоянными магнитами 16 (фиг. 6)

Концевая магнитная полумуфта 10 в виде втулки расположена в герметичном корпусе

23 с крышкой-переходником 28, который соединен с зондом 1 и находится в контакте с внутренней ведомой полумуфтой, сформированной магнитами 16 в основании рабочего колеса второй ступени 3.

5 Через внешнюю ведущую полумуфту приводного узла, состоящую из шкива 26 и постоянных магнитов 16, крутящий момент передается на концевую полумуфту 18, расположенную в теле пациента, посредством постоянного магнитного поля. Далее момент от первой концевой полумуфты 18 переходит на жестко скрепленный с ней гибкий вал 22, расположенный в зонде 1, который проходит по сосуду до восходящего отдела аорты, в котором расположена насосная часть микроаксиального насоса. На  
10 конце гибкого вала 22 в герметичной капсуле 23 расположена еще одна концевая полумуфта 180, которая передает момент через стенку герметичной капсулы 23 на внутреннюю ведомую полумуфту в основании рабочего колеса второй ступени 3.

Микроаксиальный насос работает следующим образом (фиг. 8).

15 Микроаксиальный насос размещают в полости левого желудочка одним из известных способов:

- через сосудистый протез, анастомозированный с восходящей аортой, и далее через аортальный клапан в полость левого желудочка;
- через сосудистый протез, анастомозированный с подключичной артерией слева;
- через бедренную артерию и восходящую аорту.

20 Размещение насоса в области правого желудочка возможно антеградно через бедренную вену и правое предсердие.

После запуска насоса кровь забирается из полости левого или правого желудочка посредством вращения рабочих колес через концевик-заборник. Проходя через гибкую вставку, кровь попадает на спрямитель входного потока, который за счет ориентации  
25 лопаток обеспечивает близкое к безударному набегание потока на лопатки рабочего колеса первой ступени. В области рабочего колеса первой ступени поток получает дополнительную кинетическую энергию от вращения рабочего колеса и переходит на лопатки спрямителя первой ступени, лопатки которого способствуют снятию закрутки потока после ротора и увеличению напора.

30 Далее поток перекачиваемой среды попадает в область рабочего колеса второй ступени, в которой также приобретает дополнительную кинетическую энергию вращения от вала и попадает на спрямитель второй ступени, лопатки которого также сориентированы для снятия закрутки потока и увеличения напора. После спрямителя второй ступени поток выбрасывается в восходящий отдел аорты и попадает в большой  
35 круг кровообращения обеспечивая физиологически необходимый расход крови и перепад давления.

Вращение рабочих колес, запрессованных или наклеенных на вал, осуществляется через магнитную полумуфту в основании рабочего колеса второй ступени. В основании рабочего колеса второй ступени расположено не менее чем четыре постоянных магнита.  
40 Момент передается посредством постоянного магнитного поля от второй полумуфты, расположенной в герметичном корпусе и установленной либо на вал двигателя непосредственно (при внутреннем размещении двигателя), либо напрессованной/наклеенной на гибкий вал, идущий через внешнюю гибкую трубку зонда сквозь подшипники скольжения/качения, установленные на определенном расстоянии. На  
45 другом конце внешней гибкой трубки зонда на гибкий вал также напрессовывается/наклеивается внутренняя магнитная полумуфта. Внутренняя магнитная полумуфта приводится в движение посредством постоянного магнитного поля от внешней магнитной полумуфты установленной на вал внешнего двигателя, подключенного к

плате управления для переключения режимов работы.

Использование изобретения позволит перекачивать кровь без существенного воздействия на нее (температурного, сдвигового), т.е. подвижные части, контактирующие с кровью, не вызывают высоких градиентов сдвиговых напряжений, а элементы двигателя существенно не изменяют температурное поле в областях контакта с рабочей жидкостью.

Приведенное описание примерного варианта осуществления дает общее представление о принципах конструирования, функционирования, изготовления и применения устройства, предлагаемого настоящим изобретением. По меньшей мере, один пример из данных вариантов осуществления проиллюстрирован прилагаемыми чертежами. Специалистам в данной области техники очевидно, что конкретные устройства, описанные в настоящем документе и проиллюстрированные на прилагаемых чертежах, представляют собой неограничивающие примерные варианты осуществления, и что объем настоящего изобретения определяется исключительно формулой изобретения. Признаки, проиллюстрированные или описанные в связи с одним примерным вариантом осуществления, можно объединять с признаками других вариантов осуществления. Предполагается, что такие модификации и изменения находятся в пределах объема настоящего изобретения.

#### (57) Формула изобретения

1. Устройство для перекачивания крови с бесконтактной магнитной муфтой, включающее расположенные по меньшей мере частично в просвете крупных кровеносных сосудов многоступенчатую насосную часть, которая включает корпус,  
 расположенные внутри корпуса соединительный вал,  
 находящиеся на соединительном валу по меньшей мере две осевые ступени, содержащие рабочие колеса с криволинейными лопатками, и  
 статорный аппарат;  
 приводной узел, который включает герметичный корпус,  
 расположенные внутри корпуса двигатель,  
 приводимый в движение двигателем приводной вал;  
 магнитную муфту, которая включает внешнюю ведущую полумуфту, установленную на приводном валу приводного узла,  
 и  
 внутреннюю ведомую полумуфту, расположенную на торцевой поверхности основания рабочего колеса второй ступени насосной части,  
 при этом приводной узел позволяет передать крутящий момент на соединительный вал насосной части от двигателя с помощью магнитного поля.
2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что статорный аппарат имеет по меньшей мере три спрямителя, один из которых является спрямителем входного потока.
3. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что количество криволинейных лопаток по меньшей мере одного рабочего колеса отличается от количества лопаток по меньшей мере одного спрямителя статорного аппарата.
4. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что лопатки спрямителя входного потока

ориентированы вдоль оси соединительного вала и/или под углом к ней.

5. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что соединительный вал расположен в по меньшей мере одной сквозной и по меньшей мере одной концевой подшипниковой опоре.

5 6. Устройство по п. 4, отличающееся тем, что в качестве подшипников используются подшипники скольжения и/или подшипники качения.

7. Устройство по любому из пп. 1-6, отличающееся тем, что криволинейные лопатки рабочих колес многоступенчатой насосной части имеют одинаковый или разный профиль.

10 8. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что внешний диаметр корпуса многоступенчатой насосной части меньше, чем диаметр крупных кровеносных сосудов.

9. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что внешняя ведущая полумуфта выполнена в виде втулки с расположенными постоянными магнитами в ее основании, а внутренняя ведомая полумуфта представляет собой постоянные магниты, расположенные в  
15 основании рабочего колеса второй ступени.

10. Устройство для перекачивания крови с бесконтактной магнитной муфтой, включающее

многоступенчатую насосную часть, расположенную по меньшей мере частично в просвете крупных кровеносных сосудов, которая включает

20 корпус,

расположенные внутри корпуса

соединительный вал,

находящиеся на соединительном валу

по меньшей мере две осевые ступени, содержащие рабочие колеса с криволинейными

25 лопатками, и

статорный аппарат;

приводной узел, расположенный вне тела пациента, который включает

корпус,

расположенные внутри корпуса

30 двигатель,

приводимый в движение двигателем приводной вал, вращение от которого передается соединительному валу насосной части посредством гибкого передающего вала и магнитной муфты с помощью магнитного поля;

при этом

35 магнитная муфта включает

внешнюю ведущую полумуфту, установленную на приводном валу приводного узла,

и

внутреннюю ведомую полумуфту, расположенную на торцевой поверхности основания рабочего колеса второй ступени насосной части;

40 а гибкий передающий вал расположен внутри тела пациента, и на каждом из его концов жестко закреплена концевая магнитная полумуфта:

первая концевая полумуфта расположена в магнитном контакте с внутренней ведомой полумуфтой насосной части,

вторая концевая полумуфта расположена в магнитном контакте с внешней ведущей

45 полумуфтой приводного узла.

11. Устройство по п. 10, отличающееся тем, дополнительно содержит полый гибкий зонд, внутри которого расположен гибкий передающий вал, который опирается на подшипники скольжения и/или качения с постоянным или переменным шагом вдоль

оси гибкого передающего вала.

12. Устройство по любому из пп. 10, 11, отличающееся тем, что гибкий вал представляет собой стальную струну круглого сечения.

13. Устройство по п. 10, отличающееся тем, что внешняя ведущая полумуфта  
5 выполнена в виде шкива с расположенными постоянными магнитами в нем, а внутренняя ведомая полумуфта представляет собой постоянные магниты, расположенные в основании рабочего колеса второй ступени.

14. Устройство по п. 11, отличающееся тем, что первая концевая полумуфта  
10 выполнена в виде шкива с постоянными магнитами, а вторая концевая полумуфта выполнена в виде втулки с расположенными в ее основании постоянными магнитами.

15. Устройство по п. 14, отличающееся тем, что шкив первой концевой полумуфты  
и втулка второй концевой полумуфты расположены в соответствующих герметичных корпусах с крышкой-переходником, жестко связанной с гибким зондом.

15

20

25

30

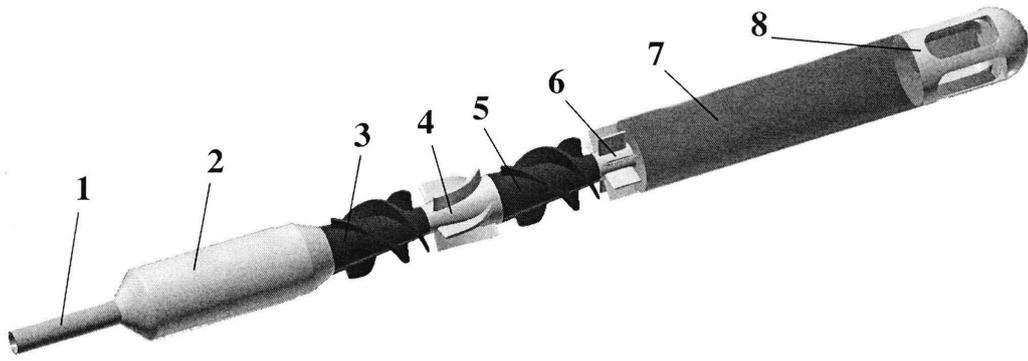
35

40

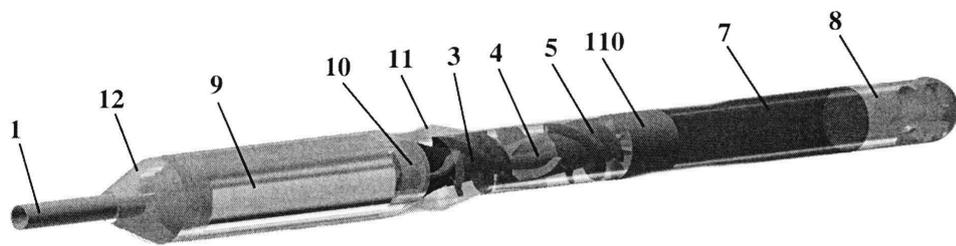
45

1

1/6



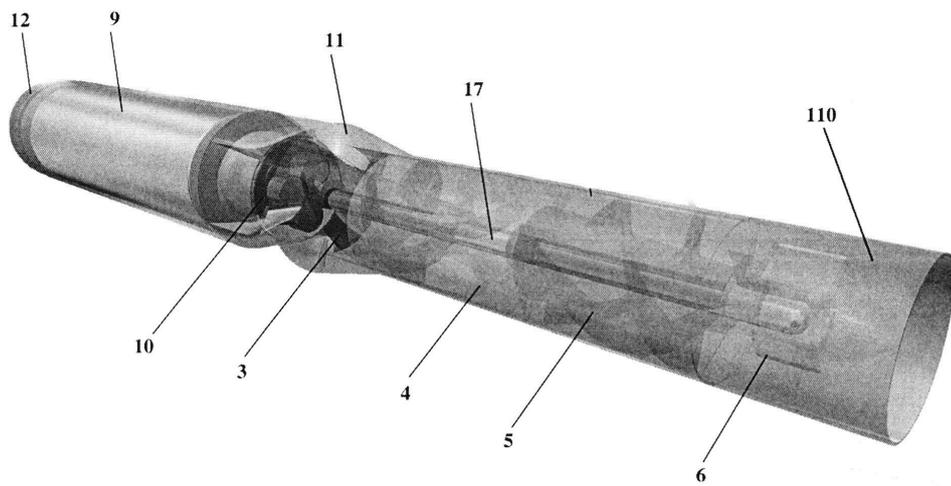
Фиг.1



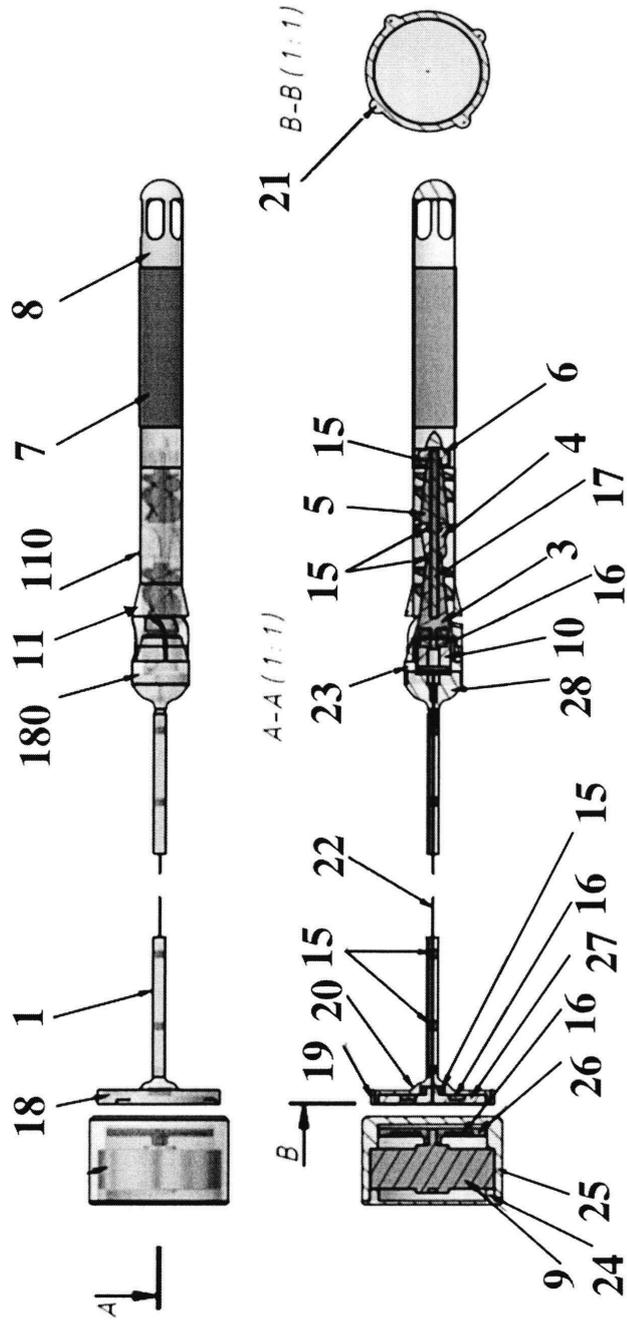
Фиг.2

2



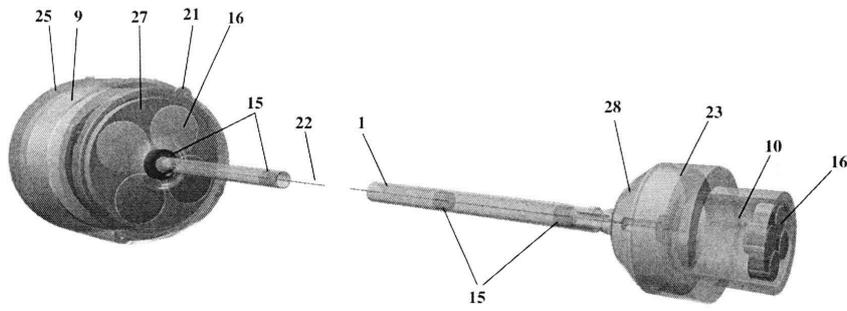


Фиг. 4.

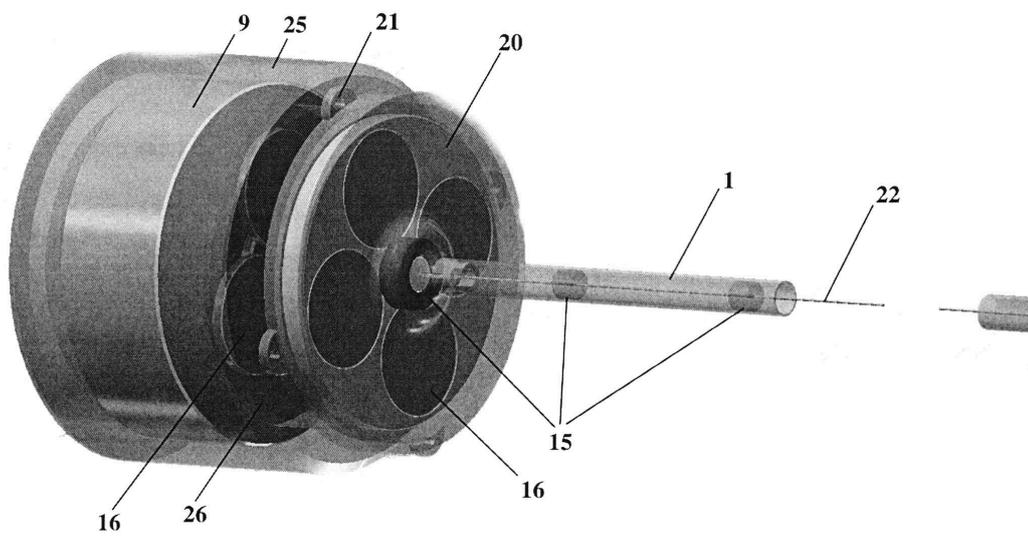


Фиг. 5

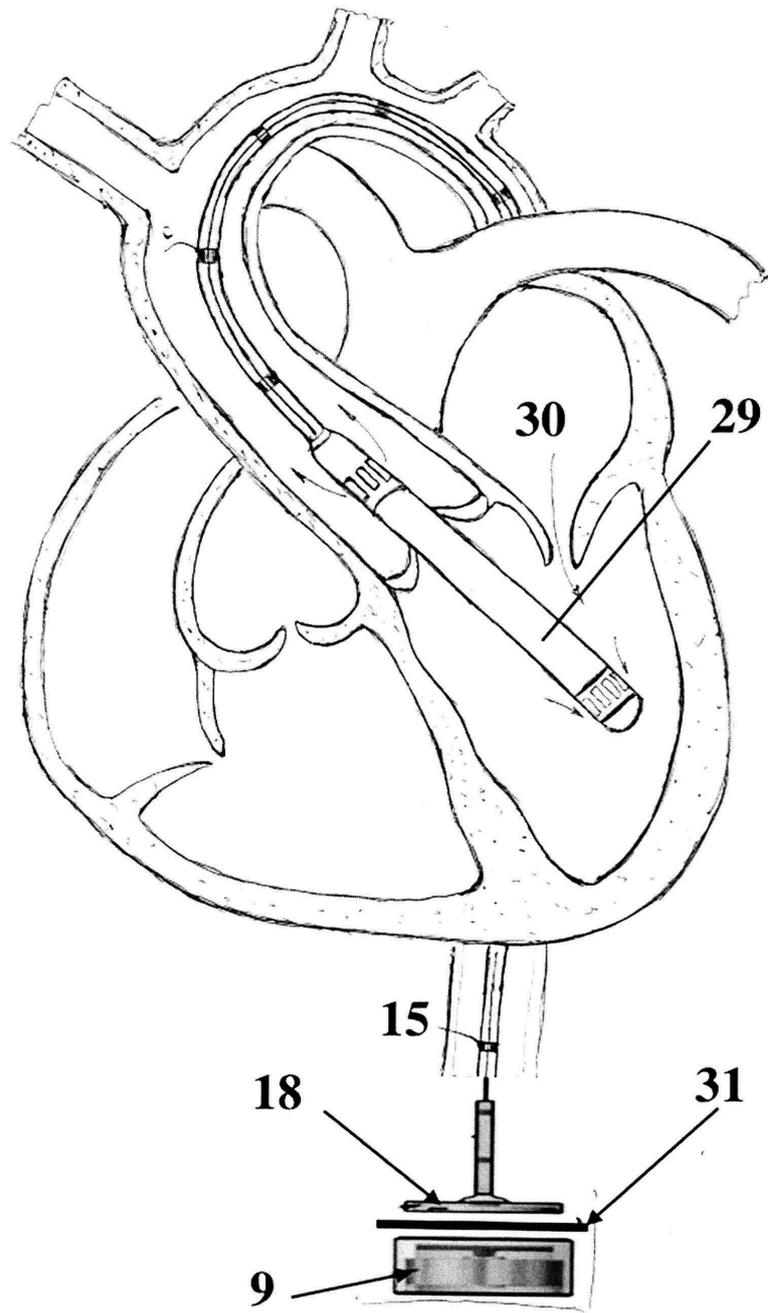
5/6



Фиг. 6



Фиг. 7.



Фиг.8