(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 201992099 (13) A1

# (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
**2020.03.12**

(22) Дата подачи заявки
**2018.04.11**

(51) Int. Cl. ***F04D 13/02*** (2006.01)
***F04D 25/02*** (2006.01)

## (54) МАГНИТНЫЙ МУФТОВЫЙ УЗЕЛ

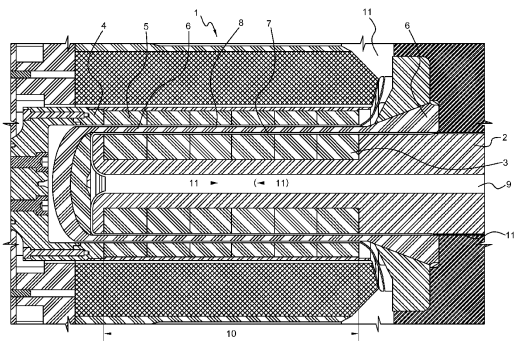
(31) **62/484,166; 20172030**
(32) **2017.04.11; 2017.12.21**
(33) **US; NO**
(86) **PCT/NO2018/050099**
(87) **WO 2018/190726 2018.10.18**

(71) Заявитель:
**ФСАБСИ АС (NO)**

(72) Изобретатель:
**Фуглесанг Александер (NO), Вестберг Томми (SE), Навйорд Томас, Ос Мариус Крусе (NO)**

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

(57) Изобретение относится к магнитному муфтовому узлу (1), содержащему выполненный с возможностью вращения охватываемый соединительный элемент (2), содержащий магниты (3), выполненный с возможностью вращения охватывающий соединительный элемент (4), содержащий магниты (5), неподвижный разделительный элемент (6), расположенный между охватываемым и охватывающим соединительными элементами, первый канал (7), образованный в зазоре между охватываемым соединительным элементом и разделительным элементом, второй канал (8), образованный в зазоре между охватывающим соединительным элементом и разделительным элементом, внутренний осевой канал (9), образованный в охватываемом соединительном элементе, участок (10) магнитной связи неподвижного разделительного элемента, представляющий собой участок неподвижного разделительного элемента, расположенный между магнитами охватываемого соединительного элемента и магнитами охватывающего соединительного элемента, при этом охватывающий и охватываемый соединительные элементы с возможностью вращения связаны посредством магнитов через участок магнитной связи неподвижного разделительного элемента. Магнитный муфтовый узел отличается тем, что первый канал, второй канал и внутренний осевой канал содержат текучую среду (11), нагнетаемую для протекания по указанным каналам для охлаждения и ротодинамической стабилизации, и тем, что отношение длины участка магнитной связи неподвижного разделительного элемента к диаметру этого участка составляет больше единицы.




201992099 A1

201992099 A1

PCT/NO2018/050099 МКИ: *F04D 13/02, F04D 25/02*

# МАГНИТНЫЙ МУФТОВЫЙ УЗЕЛ

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к магнитным муфтам и машинам, содержащим магнитные муфты.

## ПРЕДПОСЫЛКИ

Существует потребность в магнитных муфтах, отличающихся более высокой мощностью и более низкой стоимостью единицы мощности или работы. Как известно заявителю, в патенте US 8956067 B2, выданном на имя Ruhrpumpen GmbH, описана и проиллюстрирована магнитная муфта существующего уровня техники. С помощью магнитной муфты согласно указанному патенту может быть обеспечена магнитная связь до 800 кВт нагрузки или мощности при 1800 об/мин (оборотов в минуту). Другие варианты выполнения магнитных муфт описаны и проиллюстрированы в патентных публикациях US 2015/0322756 A1, US 2015/0270768 A1, DE 3413930 A1, WO 2014/109648 A1 и US2011/0057456 A1.

Ни одна из известных магнитных муфт, описанных в упомянутых выше патентных публикациях, не может обеспечить передачу магнитной мощности, превышающей 800 кВт при 1800 об/мин.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится к магнитному муфтовому узлу, содержащему:

выполненный с возможностью вращения охватываемый соединительный элемент, содержащий магниты;

выполненный с возможностью вращения охватывающий соединительный элемент, содержащий магниты;

неподвижный разделительный элемент, расположенный между охватываемым и охватывающим соединительными элементами,

первый канал, образованный в зазоре между охватываемым соединительным элементом и разделительным элементом,

второй канал, образованный в зазоре между охватывающим соединительным элементом и разделительным элементом,

внутренний осевой канал, образованный в охватываемом соединительном элементе,

участок магнитной связи неподвижного разделительного элемента, причем указанный участок представляет собой участок неподвижного разделительного элемента, расположенный между магнитами охватываемого соединительного элемента и магнитами охватывающего соединительного элемента,

при этом охватывающий и охватываемый соединительные элементы с возможностью вращения соединены посредством магнитов через участок магнитной связи неподвижного разделительного элемента. Магнитный муфтовый узел отличается тем, что:

первый канал, второй канал и внутренний осевой канал содержат текучую среду, нагнетаемую для протекания по указанным каналам для охлаждения и ротодинамической стабилизации, и

отношение длины участка магнитной связи неподвижного разделительного элемента к диаметру этого участка составляет больше единицы.

Осевой канал и конструкция для протекания текучей среды по первому, второму и осевому каналам обеспечивают лучшее охлаждение и более мощную магнитную связь, чем магнитные муфты известного уровня техники. Предпочтительно, магниты представляют собой постоянные магниты. Предпочтительно, магнитная связь является синхронной. Взаимозаменяемо, один из охватываемого и охватывающего соединительных элементов является ведущим элементом, в то время как другой является ведомым элементом. Внутренний осевой канал, образованный в охватываемом соединительном элементе, может альтернативно называться третьим каналом.

Предпочтительно, магнитный муфтовый узел содержит четвертый канал, расположенный снаружи охватывающего соединительного элемента, причем по указанному каналу текучая среда нагнетается для протекания для охлаждения, ротодинамической стабилизации и промывки. Четвертый канал обеспечивает лучшее охлаждение и ротодинамическую устойчивость, увеличивая мощность магнитной связи. С помощью четвертого канала снаружи и изнутри охлаждается не только охватываемый соединительный элемент, но также и охватывающий соединительный элемент.

Признак, заключающаяся в том, что первый канал, второй канал, внутренний осевой канал и, предпочтительно, четвертый канал, содержат текучую среду, нагнетаемую для протекания по указанным каналам для охлаждения и ротодинамической стабилизации, означает, что поток текучей среды обеспечивается одним или более контурами циркуляции текучей среды, предназначенными для охлаждения, ротодинамической стабилизации и промывки. Требуемый нагнетаемый поток обеспечивают рабочие колеса, установленные на соответствующих валах двигателей, или валах насоса или компрессора, либо гидравлические силовые агрегаты, являющиеся частью соответствующих контуров циркуляции текучей среды.

Первый, второй и четвертый каналы представляют собой кольцевые каналы, расположенные в кольцевых зазорах. Предпочтительно, первая текучая среда или смесь текучих сред в результате нагнетания вынуждена протекать по первому каналу и внутреннему осевому каналу, с внутренней стороны разделительного элемента, а вторая текучая среда или смесь текучих сред в результате нагнетания вынуждена протекать по второму и четвертому каналам, снаружи разделительного элемента, при этом первая и вторая текучая среда или смеси текучих сред могут быть одинаковыми. Вторая текучая

среда может включать или представлять собой газ. Направления потоков текучих сред, проходящих по каналам, предпочтительно неизменны, но могут быть изменены на обратные, при этом в некоторых вариантах выполнения изменение направления потока на обратное может привести к уменьшению функциональных возможностей узла магнитной муфты. Предпочтительно, охватываемый элемент является ведущим элементом, и текучая среда, нагнетаемая для протекания по первому каналу и по осевому каналу, представляет собой жидкость или жидкую смесь. Как правило, для известных узлов магнитной муфты ведущей деталью является охватывающий элемент, и указанный охватывающий элемент окружен газом, при этом для протекания газа нагнетание не применяют.

Отношение длины участка магнитной связи неподвижного разделительного элемента к диаметру указанного участка больше единицы. Указанный соединительный участок разделительного элемента представляет собой участок или отрезок длины между магнитами охватываемого и охватывающего соединительных элементов. Положительным эффектом увеличенного отношения длины к диаметру является увеличение мощности связи. Отрицательным эффектом являются возможные проблемы, связанные с ротодинамической устойчивостью. Целесообразное отношение длины к диаметру для участка магнитной связи находится в диапазоне от 1 до 15, более предпочтительно от 1 до 10, от 1 до 5, от 1 до 4, еще более предпочтительно от 2 до 3. Минимальное отношение длины к диаметру для участка магнитной связи равно 1, более предпочтительно 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; или 5. Известно, что указанное соотношение для разделительных элементов существующего уровня техники составляет меньше 1.

Магнитный муфтовый узел, предпочтительно, содержит гаситель завихрений, образованный на неподвижном разделительном элементе у конца охватываемого элемента соосно с входным отверстием внутреннего осевого канала и обращенным к нему. Предпочтительно, гаситель завихрений имеет канавки, образованные в разделительном элементе, например, четыре, шесть, восемь или двенадцать радиальных канавок. Разделительный элемент, предпочтительно, является выпуклым в центральной части внутренней поверхности, соосной и обращенной к впуску во внутренний осевой канал охватываемого элемента, при этом в данном выпуклом центре, предпочтительно, и расположен гаситель завихрений.

Предпочтительно, на неподвижном разделительном элементе в одном из первого и второго канала или в них обоих, а опционально также в четвертом канале, расположен гаситель завихрений, предпочтительно, во входной или выходной части указанных каналов. Гасители завихрений, расположенные в каналах, сформированы в виде канавок, параллельных направлению канала, то есть, параллельно оси вращения узла магнитной муфты.

Гасители завихрений, расположенные в одном или более из первого, второго и четвертого каналов, могут быть сформированы на протяжении части или частей одного или более из указанных каналов, либо по всей их длине. Гасители завихрений могут быть

расположены независимо от других изменений в размерах в любом из указанных каналов, или примыкая к ним, например, выше и/или ниже по потоку.

Как правило, гасители завихрений могут быть выполнены в виде канавок, ребер, сотовых структур или т.п., в любой комбинации, согласно приведенным ниже размерным диапазонам или пределам, располагаясь на любых уровнях от верха до низа конструкции в проходе канала.

Каждый из гасителей завихрений имеет форму канавок, при этом расстояние от дна канавки до ее верха находится в диапазоне от 0,05 до 0,98 от величины зазора для протекания потока, при этом зазоры являются радиальными или осевыми, либо их комбинациями, предпочтительно от 0,1 до 0,9, более предпочтительно от 0,2 до 0,8, от 0,3 до 0,7 или от 0,3 до 0,6, например, составляет примерно 0,5 от величины радиального или осевого, либо радиально-осевого зазора для протекания потока. Предпочтительно, в гасителях завихрений минимальное радиальное или осевое, либо радиально-осевое расстояние от дна канавки до ее верха составляет по меньшей мере 0,05; 0,1; 0,15 или 0,2 от величины радиального или осевого, либо радиально-осевого зазора для протекания потока. Гасители завихрений уменьшают перепады давления, вызванные турбулентностью, предотвращают завихрение, улучшая охлаждение и, следовательно, функциональные возможности магнитной муфты.

Гасители завихрений выполнены на неподвижной конструкции, а именно, на неподвижном разделительном элементе, и, предпочтительно, также на неподвижной конструкции, расположенной в радиально-наружном направлении относительно четвертого канала.

Предпочтительно, один или оба из первого и второго каналов, и опционально и четвертый канал, имеет переменный в направлении потока радиальный зазор для протекания потока, при этом радиальный зазор является ступенчатым и/или постепенно уменьшается или увеличивается вдоль направления протекания потока. Ступенчатое или постепенное изменение радиального зазора, предпочтительно, составляет 0,05 - 0,98 от радиального зазора для протекания потока, предпочтительно 0,1 - 0,9, более предпочтительно 0,2 - 0,8, 0,3 - 0,7 или 0,3 - 0,6, например, составляет примерно 0,5 от величины радиального зазора для протекания потока.

Переменный радиальный зазор для протекания потока, предпочтительно, сформирован путем изменений размеров в неподвижном разделительном элементе и/или в неподвижной конструкции, расположенной радиально снаружи четвертого канала, но может быть выполнен в охватываемом или охватывающем элементе.

Предпочтительно, один из первого и второго каналов или они оба, и, опционально, четвертый канал, в направлении потока имеет уплотняющую поверхность, выполненную в виде участка с уменьшенным поперечным сечением или уменьшенным радиальным зазором для протекания потока, по сравнению с остальной частью радиального зазора для протекания потока или проходного поперечного сечения канала. Ступенчатое или

постепенное изменение радиального зазора, предпочтительно, составляет от 0,05 до 0,98 от радиального зазора для протекания потока, предпочтительно от 0,1 до 0,9, более предпочтительно от 0,2 до 0,8, от 0,3 до 0,7 или от 0,3 до 0,6, например, составляет примерно 0,5 от величины радиального зазора для протекания потока. Уплотняющие поверхности, предпочтительно, сформированы путем изменений размеров в неподвижном разделительном элементе или в неподвижной конструкции, расположенной радиально снаружи относительно четвертого канала, но могут быть выполнены посредством изменений размеров в охватываемом или охватывающем элементе.

Предпочтительно, гаситель завихрений выполнен на входной или выходной, в направлении протекания текучей среды, стороне, либо как на входной, так и на выходной стороне одной или более уплотняющих поверхностей и каналов, и в любой комбинации. Для вариантов выполнения, включающих одну или более комбинаций из гасителя завихрений, расположенного на входной и/или выходной (в направлении прохождения потока) стороне уплотняющей поверхности, указанный гаситель завихрений и объединенная с ним уплотняющая поверхность расположены в неподвижном разделительном элементе, с внутренней или наружной стороны, либо с той и другой стороны, и, предпочтительно, также на неподвижной конструкции, расположенной радиально снаружи относительно четвертого канала.

Любой из первого, второго и четвертого каналов в любой комбинации могут содержать один или более участков с поперечным сечением или зазором для протекания потока увеличенной площади, за которыми следуют или не следуют уплотняющие поверхности, имеющие поперечное сечение или зазор для протекания потока уменьшенной площади по сравнению с указанными участками. В данном контексте уплотняющие поверхности представляют собой уплотняющие поверхности, динамически не контактирующие с текучей средой, а это означает, что неподвижный разделительный элемент не находится в физическом контакте с вращающимся охватываемым или охватывающим соединительным элементом. В результате обеспечено повышение ротодинамической устойчивости. Изменение геометрии, являющееся преимущественным для повышения ротодинамической устойчивости, предпочтительно, выполняют в неподвижном разделительном элементе.

Неподвижный разделительный элемент, предпочтительно, имеет форму колокола, с по существу вогнутой внутренней формой и выпуклой наружной формой на закрытом конце, с центральным выступом на внутренней поверхности, соосным и обращенным к входному отверстию осевого канала на конце охватываемого элемента. Предпочтительно, указанный выступ включает гаситель завихрений, имеющий вид радиальных канавок.

Предпочтительно, разделительный элемент выполнен в форме колокола, с по существу вогнутой внутренней формой и выпуклой наружной формой на закрытом конце. Такая закругленная форма, имеющая радиус, больше минимального, по меньшей мере на частях, воспринимающих нагрузку, исключает концентрации напряжений.

Разделительные элементы известного уровня техники обычно имеют коробчатую форму с острыми углами и краями, приводящими к концентрациям напряжения, ограничивающим функциональные возможности элемента.

Магнитный муфтовый узел, предпочтительно, содержит неферромагнитный и неэлектропроводящий разделительный элемент, предпочтительно разделительный элемент из керамического материала, предпочтительно содержащий $ZrO_2$. Альтернативные материалы представляют собой другие виды керамики, неферромагнитные сплавы, полимеры и композитный материал. Вихревые токи вызывают потери энергии в электропроводящих материалах. Ферромагнитные материалы, обычно называемые магнитными материалами, в дополнение к энергетическим потерям могут вызывать проблемы, связанные с устойчивостью. Устранение проблем, связанных с потерями или устойчивостью, позволяет добиться более высокой мощности, полезного эффекта и/или скорости, имеющих отношение к магнитной связи.

Неподвижный разделительный элемент, предпочтительно, имеет увеличенную толщину стенки на участках, расположенных снаружи участка магнитной связи, в верхней части колокола и у основания, если смотреть в ориентации с закрытым концом, обращенным вверх, и открытым концом, обращенным вниз. Другими словами, разделительный элемент, если смотреть в ориентации, в которой закрытый конец разделительного элемента обращен вверх, а открытый конец обращен вниз, имеет форму колпака с закругленным верхом; предпочтительно, разделительный элемент имеет изогнутую внутреннюю поверхность верхней части, центральная часть которой проходит соосно вниз на некоторое расстояние и обращена к центру отверстия внутреннего осевого канала собранного и установленного охватываемого элемента; предпочтительно, разделительный элемент имеет более тонкую цилиндрическую стенку на соединительном участке между магнитами охватываемого и охватывающего соединительных элементов; и более толстую стенку у основания, предпочтительно, выполненную с фланцем, выступающим наружу у основания, а также более толстую стенку в верхней части.

Охватывающий соединительный элемент, предпочтительно, имеет отверстия, функционирующие как входы или выходы для потока текучей среды. Отверстия обеспечивают повышение максимального расхода потока текучей среды и, следовательно, улучшают охлаждение и устойчивость.

Один из элементов магнитной муфты является ведущим элементом, а другой является ведомым элементом, взаимозаменяемо. Разделительный элемент, предпочтительно, представляет собой часть герметично уплотненного отсека, включающего двигатель и функционально соединенный ведущий элемент, предпочтительно, в качестве ведущей стороны такой машины с магнитной связью, как погружной насос или компрессор, либо насос или компрессор для работы без привлечения обслуживающего персонала. Может быть исключена необходимость использования системы затворной жидкости, системы подачи затворной жидкости, включающей HPU

(гидравлическую силовую установку), длинных подводящих линий и сложных систем регулирования давления. Отсек двигателя с ведущей стороной магнитной муфты может быть заполнен текучей средой, например, смесью воды и гликоля или масла, или масляной смеси, на протяжении длительного периода эксплуатации, который может охватывать полный срок службы. Такие машины, содержащие магнитный муфтовый узел согласно изобретению, как насосы и компрессоры, представляют собой варианты выполнения предложенного изобретения.

Изобретение обеспечивает недостижимую прежде по степени эффективности бесконтактную передачу частоты вращения в об/мин, мощности в КВт и крутящего момента, или комбинации указанных параметров. Может быть обеспечена передача более 1 МВт при частоте свыше 3600 об/мин. Рабочая текучая среда может быть герметично изолирована от рабочей жидкости моторного отсека на ведущей стороне. Все уплотнения могут представлять собой статические уплотнения. Рабочая температура магнитной муфты может поддерживаться при невысоких значениях благодаря улучшенному охлаждению, например, даже при жестких рабочих режимах температура имеет значение ниже 80°С, что повышает надежность и мощность муфты. Повышается ротодинамическая устойчивость, что позволяет уменьшить радиальные зазоры в канале и удлинить участок связи. Охлаждение, стабилизация и промывка текучей средой, проходящей по каналам, продлевают срок службы. Кроме того, магнитная муфта согласно изобретению работает в качестве балансировочного цилиндра или обеспечивает такой эффект, как от балансировочного цилиндра. Магнитная муфта согласно изобретению является модульной и может использоваться во многих системах и машинах.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На Фиг.1 изображен один вариант выполнения магнитной муфты согласно настоящему изобретению.

На Фиг.2 изображены детали варианта выполнения изобретения.

На Фиг.3 изображен еще один вариант выполнения магнитной муфты согласно настоящему изобретению, установленной в насосе.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Уплотняющие поверхности представляют собой неконтактные участки, имеющие поперечное сечение или радиальный зазор для протекания потока уменьшенной площади. Размер радиального зазора, предпочтительно, но не обязательно, является постоянным вдоль участка уплотняющей поверхности. Кроме того, размер радиального зазора на участках уплотняющей поверхности меньше, чем в остальной части проточного канала, как правило, и составляет приблизительно от 0,1 мм до 2 мм, предпочтительно 0,2 мм до 1,5 мм, от 0,2 мм до 1,2 мм или наиболее предпочтительно от 0,4 мм до 1 мм. Нормальный радиальный зазор канала на участке магнитной связи обычно составляет от 0,3 мм до 8

мм, более предпочтительно от 0,4 мм до 3 мм, от 0,4 мм до 2,5 мм или наиболее предпочтительно от 0,4 мм до 2 мм. Уплотняющие поверхности выполнены в пределах или за пределами участка магнитной связи разделительного элемента, предпочтительно, только в пределах или за пределами его концов. Гаситель завихрений, предпочтительно, расположен на входе, если смотреть в направлении протекания текучей среды.

Минимальный радиус $R_{min}$ любой части неподвижного разделительного элемента, испытывающей колебания нагрузки, составляет 1 мм или 2 мм, более предпочтительно 3 мм, еще более предпочтительно 5 мм.

Ниже приведено более подробное описание, включающее такую же или тождественную, или эквивалентную терминологию, как в формуле изобретения и представленном выше описании. Для специалиста в данной области смысл будет понятен из контекста.

На Фиг.1 показан вид в продольном разрезе, иллюстрирующий магнитный муфтовый узел 1, содержащий: выполненный с возможностью вращения охватываемый соединительный элемент 2, содержащий магниты 3; выполненный с возможностью вращения охватывающий соединительный элемент 4, содержащий магниты 5; и неподвижный разделительный элемент 6, расположенный между охватываемым и охватывающим соединительными элементами. Первый канал 7 образован в зазоре между охватываемым соединительным элементом и разделительным элементом; второй канал 8 образован в зазоре между охватывающим соединительным элементом и разделительным элементом; и внутренний осевой канал 9 образован в охватываемом соединительном элементе. Участок 10 магнитной связи неподвижного разделительного элемента 6 представляет собой участок неподвижного разделительного элемента между магнитами охватываемого соединительного элемента и магнитами охватывающего соединительного элемента. Охватывающий 4 и охватываемый 2 соединительные элементы соединены с возможностью вращения с помощью магнитов через участок магнитной связи неподвижного разделительного элемента. Первый канал 7, второй канал 8 и внутренний осевой канал 9 содержат текучую среду 11, нагнетаемую для протекания по указанным каналам для охлаждения и ротодинамической стабилизации. Отношение длины к диаметру для участка 10 магнитной связи неподвижного соединительного элемента 6 составляет больше единицы, а в представленном варианте выполнения - примерно 2,2.

Далее со ссылкой на Фиг.2, на которой без соответствия масштабу и не обязательно симметрично относительно оси вращения в продольном разрезе проиллюстрированы примеры деталей, для их более четкой иллюстрации. В реальных вариантах выполнения масштаб подобен масштабу, показанному на Фиг.1, и элементы симметричны относительно оси вращения, соосной с каналом 9. На Фиг.2, только с одной стороны показан четвертый канал 12, расположенный снаружи охватывающего соединительного элемента, между охватывающим соединительным элементом и конструкцией 14, расположенной снаружи охватывающего соединительного элемента, причем четвертый

канал содержит текучую среду, нагнетаемую для протекания для охлаждения и ротодинамической стабилизации. На неподвижной конструкции 14 за впуском на стороне, обращенной к четвертому каналу 12, и выше по потоку относительно уплотняющей поверхности 16 расположен гаситель 13 завихрений. На неподвижном разделительном элементе 6 у конца охватываемого элемента соосно с впуском внутреннего осевого канала 9 и обращенным к нему расположен гаситель 13 завихрений. Разделительный элемент имеет форму колокола с центральным выступом внутри, соосным с впуском внутреннего осевого канала 9 и обращенным к нему у конца охватываемого элемента, причем указанный выступ включает гаситель 13 завихрений, имеющий вид радиальных канавок. Гаситель 13 завихрений, расположенный вместе с уплотняющей поверхностью 16 и выше нее по потоку, выполнен на неподвижном разделительном элементе, на впускной стороне первого канала. На охватываемом элементе 2, в направлении конца первого канала расположена уплотняющая поверхность 16. Во втором канале 8 снаружи неподвижного разделительного элемента 6 за впускным отверстием расположен гаситель 13 завихрений вместе с находящейся ниже по потоку уплотняющей поверхностью 16, а по направлению к выпускному отверстию 15 расположена уплотняющая поверхность 16, выполненная выше по потоку от гасителя 13.

Соответственно, первый и второй, а также четвертый каналы в направлении потока имеют изменяющийся радиальный зазор для протекания потока, при этом радиальный зазор ступенчато или постепенно уменьшается или увеличивается вдоль направления протекания потока. В частности, в первом канале 7 в направлении протекания потока согласно представленному варианту выполнения от основания к концу охватываемого элемента с внутренней стороны неподвижного разделительного элемента и на входе первого канала за гасителем 13 завихрений следует уплотняющая поверхность 16. В верхней части продольных канавок в гасителе завихрений и уплотняющей поверхности соответствует радиальный зазор, равный, например, 1,5 мм. Далее следует нижняя по потоку часть первого канала с увеличенным зазором для потока, составляющим, например 2,5 мм, за ней следует уплотняющая поверхность 16 на конце первого канала, диаметр которого постоянно конусообразно увеличивается, а затем уменьшается по направлению к концу охватываемого соединительного элемента 2. Во впускном отверстии второго канала, расположен гаситель 13 завихрений, за которым следует участок уплотняющей поверхности 16, выполненные снаружи неподвижного разделительного элемента 6, при этом радиальный зазор между верхом гасителя завихрений и уплотняющей поверхностью равен, например, 1 мм, причем за данным участком следует участок с увеличенным радиальным зазором, составляющим, например 2 мм. Если смотреть в направлении протекания потока, по направлению к выходу второго канала 8 снаружи неподвижного разделительного элемента 6 за уплотняющей поверхностью 16 следует гаситель 13 завихрений. На входном конце четвертого канала расположены гаситель 13 завихрений и уплотняющая поверхность 16, причем необходимые канавки и утолщение выполнены на

неподвижной конструкции 14, расположенной снаружи четвертого канала. Охватывающий соединительный элемент имеет отверстия 15, действующие как входы или выходы для потока текучей среды 11.

Далее со ссылкой на Фиг.3, на которой показан магнитный муфтовый узел согласно изобретению, расположенный в мультипликаторе 17 давления. Моторный отсек включает ведущую сторону узла магнитной муфты, в данном варианте выполнения охватываемый элемент 2, герметично изолированный от перекачиваемой рабочей текучей среды посредством неподвижного разделительного элемента 6. Моторный отсек заполнен смесью воды и гликоля или маслом. Предпочтительно, давление в моторном отсеке по существу является постоянным. Рабочее колесо I, установленное в моторном отсеке, по каналам узла магнитной муфты перекачивает текучую среду, обеспечивающую охлаждение и ротодинамическую стабилизацию. Кроме повышенной мощности, эффективности и частоты вращения, преимущества использования мультипликатора давления, такого как насос, многофазный жидкостный насос или компрессор, заключаются в том, что не требуется ни системы запорной жидкости, ни шланговой подачи запорной жидкости или нужной текучей среды, ни динамических уплотнений, снижается стоимость и повышается надежность. Преимущества являются особенно значимыми при использовании мультипликаторов давления под водой, либо на платформах или в местах, не требующих привлечения обслуживающего персонала.

## ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАССМОТРЕНИЕ ПРИЗНАКОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРЕДЛОЖЕННОГО МАГНИТНОГО МУФТОВОГО УЗЛА

Новый подход к повышению давления в подводных условиях с использованием магнитных муфт

Несмотря на то, что для каждой из указанных проблем были разработаны отдельные решения, предусматривающие использование магнитных муфт, на сегодняшний день каждое из решений включает в себя другие проблемы, так что в существующем уровне техники, для областей использования магнитных муфт в подводных мультипликаторах приемлемое решение так и не было найдено. Описанное в настоящем документе изобретение направлено на решение каждой из вышеописанных проблем и обеспечивает возможность работы подводного мультипликатора с магнитной связью при 200 кВт - 3 МВт или до 8 МВт (в предпочтительном варианте выполнения от 400 кВт до 3 МВт или до 8 МВт) с низкими потерями энергии и высокими возможностями повышения и удерживания давления.

Изобретение не изменяет базовый промышленный стандарт использования стальных корпусов для насоса и двигателя мультипликатора. В результате, мультипликатор давления выполнен с возможностью работы в подводной среде с высоким давлением окружающей среды, а также высокими внутренними давлениями и переменными давлениями. По сути, выполнены изменения в некоторых из внутренних

материалов муфты, а также конструктивные изменения в соединении, позволяющие использовать новые материалы в подводной среде. Кроме того, как будет описано ниже, в результате исключения некоторых внутренних компонентов, которые традиционно создавали перепады внутреннего давления, предложенное изобретение позволит использовать менее толстые и/или менее дорогие стальные материалы для наружного корпуса мультипликатора, что снижает его стоимость.

Главными аспектами, обеспечиваемыми настоящим изобретением, являются возможность увеличения мощности усиления подводного мультипликатора давления, приводимого в действие магнитной муфтой в результате i) снижения потерь на передачу магнитной силы и ii) уменьшения потерь на трение (вязкость) между вращающимися и неподвижными поверхностями. Изобретение обеспечивает решение указанных задач посредством новой конструкции муфты и возможности использования материалов, которые ранее не считались допустимыми при использовании магнитной муфты для подводного применения.

Новая конструкция и материалы для снижения потерь при передаче магнитной силы

Одним из самых больших препятствий при использовании магнитных муфт для подводного повышения давления были собственные потери при передаче магнитной силы, которые возникали при модификации магнитной муфты для использования в подводной среде.

Для максимизации повышения эффективности передачи магнитной силы в магнитной муфте, необходимо в максимально возможной степени исключить потери на вихревые токи. Вихревые токи протекают в результате изменений магнитного поля в замкнутых контурах в электрических проводниках (таких как большинство типов стали), в плоскостях, перпендикулярных магнитному полю. В магнитных муфтах магнитное поле периодически изменяется при вращении мультипликатора давления, в то время как внутренняя статическая силовая оболочка, отделяющая ведущую и ведомую части муфты, является неподвижной. Вихревые токи расходуют электромагнитную энергию, что снижает выходной крутящий момент и приводит к рассеянию тепла с увеличением температур, что приводит к необходимости компенсации эффективным охлаждением.

Как описано выше, вихревые токи снижают эффективность магнитной связи и возникают в проводящих материалах. Таким образом, предпочтительно, исключить использование проводящих материалов, а вместо них применять электрически непроводящие материалы. Электрически непроводящие материалы использовались в магнитных муфтах в различных областях, не связанных с подводным применением, но в данных областях применения до сих пор не решены присущие им проблемы. Например, керамические и другие подобные материалы использовались в обычных средах, где поддерживается устойчивое давление и поток протекает ненаправленным образом.

Однако, данные материалы, не рассматривались для применения в подводных мультипликаторах давления, поскольку являются по своей природе хрупкими и, следовательно, не способны справляться со значительными растягивающими напряжениями и поэтому склонны к растрескиванию в тех областях применения, где во время работы магнитный барьер муфты (колокол, регулирующий давление) испытывает перепады давления, действующие в двух направлениях.

Подобным образом, электрически непроводящие материалы, такие как пластмассы и композиты, не использовались ранее, поскольку со временем свойства данных материалов ухудшаются, что может вызвать повреждение, связанное с неспособностью поддерживать форму и/или допуски на форму, либо невозможность поддержания барьера давления из-за возникающего с течением времени загрязнения.

Как отмечено выше, в качестве внутренней силовой оболочки магнитной муфты традиционно использовали стальные сплавы, обеспечивающие высокую прочность и пластичность, необходимую для смягчения режимов, изменяющихся в зависимости от нагрузки. Увеличение размеров магнитной муфты, имеющей стальную внутреннюю силовую оболочку, для работы с мощностью в подводных областях применения, сильно ограничивает общую эффективность магнитной муфты и является техническим барьером для применения более мощных магнитных муфт для подводных областей применения.

Другим важным фактором при передаче магнитной силы является расстояние между магнитами, при этом, чем больше расстояние между магнитами в охватывающей и охватываемой частях магнитной муфты, тем ниже передача магнитной силы. В соответствии с этим предпочтительной конструкцией магнитной муфты является такая конструкция, в которой расстояния между магнитами настолько малы, насколько это практически осуществимо.

Изобретение включает новую конструкцию и геометрический профиль, который обеспечивает возможность использования в магнитной муфте электрически непроводящего (предпочтительно из керамического материала) внутреннего барьера (отделяющий ведущий участок магнитной муфты от ведомого участка магнитной муфты). Такая новая конструкция уменьшает потери при передаче магнитной силы и, следовательно, увеличивает мощность и эффективность подводного мультипликатора давления. Кроме того, конструкция направлена на решение проблемы хрупкости керамики и других подобных материалов, используемых в магнитной муфте для подводного применения, с помощью внедрения уникального регулируемого устройства для снятия механического напряжения при растяжении, которое постепенно снижает концентрации напряжения и уменьшает риск растрескивания колокола. Данные конструкции дополнительно обеспечивают требуемую прочность на сжатие для магнитной муфты для работы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к переменному и двунаправленному давлению подводного мультипликатора давления.

Согласно изобретению, в электрически непроводящий колокол, поддерживающий

давление (неподвижный разделительный элемент (предпочтительно керамический)), включен элемент для регулируемого снятия напряжения при растяжении с помощью конусообразного перепада толщины по направлению к основанию указанного колокола, что позволяет хрупкому материалу выдерживать растягивающие напряжения, возникающие в результате воздействия высокого давления на внутреннюю часть колокола. Колокол регулирования давления отличается дополнительной прочностью и устойчивостью в результате установки внутри металлического фланца основного корпуса и удерживается по месту осевым образом на монтажной плите/фланце основного корпуса посредством металлического осевого стопорного кольца. Совместное использование конического колокола регулирования давления, стопорного кольца и фланца позволяет конструкции колокола выдерживать высокие внешние давления и переменные двунаправленные давления, при этом уменьшая осевые напряжения в указанном колоколе.

Использование нестальных материалов с высоким пределом прочности на сжатие, применяемых для колокола, также обеспечивает небольшой зазор между магнитами в магнитной муфте, тем самым, увеличивая передачу магнитной энергии.

Новая конструкция для уменьшения потерь на трение (вязкость)

Соотношение между крутящим моментом и мощностью в магнитной муфте пропорционально скорости. В мультипликаторе давления, приводимом в действие магнитной муфтой, чем выше скорость мультипликатора при заданном предельном крутящем моменте, тем выше уровень мощности всей системы усиления.

Энергетическая эффективность магнитной муфты согласно известному уровню техники уменьшается при более высоких скоростях, что обусловлено потерями на вязкость, увеличивающимися в результате напряжений сдвига, которые происходят из-за высоких градиентов скорости в текучей среде, заключенной между вращающимися и неподвижными частями. В результате, согласно известному уровню техники, будут возрастать требования, предъявляемые к мощности при работе мультипликатора давления под водой, а также потери энергоэффективности. Соответственно, если в результате снижения энергоэффективности, требование, предъявляемое к мощности, необходимой для обеспечения усиливающего потенциала подводного мультипликатора давления, выполненного с магнитной муфтой, приведет к определенному увеличению ее размера, то данный мультипликатор будет невозможно реализовать или же он будет экономически невыгодным. Это обстоятельство до сих пор является практическим барьером при использовании магнитных муфт для подводных систем повышения давления.

Увеличенное отношение длины к диаметру

Как правило, потери на вязкость увеличиваются в четвертой степени при увеличении диаметра, в сравнении с увеличением во второй степени при увеличении длины. Соответственно, высокое отношение длины к диаметру является предпочтительным для ограничения роста потерь на вязкость при линейном увеличении

геометрии магнитной муфты. Таким образом, один аспект изобретения заключается в том, что отношение длины к диаметру для описанного выше колокола давления превышает 1 для ограничения роста потерь на вязкость, возникающих при повышенной рабочей скорости и соответствующих температурах.

Одна проблема, связанная с использованием отношения длины к диаметру (то есть, отношения длины к диаметру >1), относится к ротодинамической устойчивости охватывающей и охватываемой части электромагнитной муфты. В частности, это имеет место при перекачке жидкости. Как правило, заполненные жидкостью роторы будут в большей степени подвержены влиянию негативной жесткости и добавленной массы жидкости, чем, например, роторы наполненные газом. Чем выше отношение длины к диаметру, тем более проявляется нестабильность.

Нестабильность ротора также влияет на возможность использования хрупких материалов для колокола регулирования давления. Для уменьшения влияний отношения длины к диаметру на ротодинамическую нестабильность и для обеспечения возможности использования керамики и других хрупких материалов в конструкции колокола, в предпочтительный вариант выполнения изобретения включен элемент ротодинамической стабилизации. Элемент содержит зазор между вращающейся поверхностью и неподвижной поверхностью, при этом между поверхностями создается проточный канал. Элемент, включающий один или более зазоров между вращающейся поверхностью (такой как охватывающая и/или охватываемая часть магнитной муфты) и неподвижной поверхностью, обеспечивает ротодинамическую устойчивость при достаточно большом массовом потоке вдоль осевого направления проточного канала. Проточный канал «поддерживает» ротодинамическую стабилизацию вращающегося элемента. Проточный канал, предпочтительно, представляет собой либо прямолинейный канал, либо расходящийся или сужающийся канал. Выражение «прямолинейный» обозначает проточный канал, имеющий постоянную площадь поперечного сечения зазора между вращающейся поверхностью и неподвижной поверхностью вдоль осевого направления. Сужающийся проточный канал имеет уменьшение площади поперечного сечения зазора между вращающейся поверхностью и неподвижной поверхностью вдоль осевого направления. Расходящийся проточный канал представляет собой канал с увеличивающейся площадью поперечного сечения зазора между вращающейся поверхностью и неподвижной поверхностью вдоль осевого направления.

Предпочтительный вариант выполнения магнитной муфты включает расходящийся или сходящийся проточный канал между охватываемой частью магнитной муфты и колоколом регулирования давления.

Уменьшенные потери на вязкость

Одно из самых больших практических ограничений, влияющих на скорость магнитной связи, вызвано снижением эффективности вследствие увеличения потерь на

вязкость, возникающих в результате напряжений сдвига, которые происходят из-за высоких градиентов скорости в текучей среде, заключенной между вращающимися и неподвижными частями (например, между наружным диаметром охватывающей части магнитной муфты и неподвижными частями, и между колоколом регулирования давления и ротором охватывающей части магнитной муфты, а также между указанным колоколом и ротором охватываемой части магнитной муфты). Данное условие не только снижает влияние вязкости, но также увеличивает температуру, поскольку потери на трение приводят к нагреву текучей среды. С целью управления повышением температуры, разработанные ранее решения могут предусматривать увеличение расхода охлаждающей жидкости путем увеличения зазоров между вращающимися (магниты охватывающей и охватываемой частей муфты) и неподвижными частями (например, колокол регулирования давления), но данное решение, в свою очередь, будет отрицательно влиять на эффективность использования магнитной энергии магнитной муфты.

Для того чтобы поддерживать допустимые температуры и снизить потери на вязкость при более высоких скоростях, предложенная магнитная муфта имеет средство для отвода тепла от текучей среды посредством охлаждающей среды между колоколом регулирования давления и вращающимися охватывающей и охватываемой частями магнитной муфты. Охлаждение обеспечивают за счет внутренней геометрии колокола регулирования давления, отличающегося двойным дугообразным профилем, создавая средство управления охлаждающим потоком, протекающим по проточному каналу между охватываемой частью муфты и колоколом регулирования давления, поступая на выход охватываемой части муфты вдоль оси вала.

# ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1 . Магнитный муфтовый узел, содержащий:

выполненный с возможностью вращения охватываемый соединительный элемент, содержащий магниты,

выполненный с возможностью вращения охватывающий соединительный элемент, содержащий магниты,

неподвижный разделительный элемент, расположенный между охватываемым и охватывающим соединительными элементами,

первый канал, образованный в зазоре между охватываемым соединительным элементом и разделительным элементом,

второй канал, образованный в зазоре между охватывающим соединительным элементом и разделительным элементом,

внутренний осевой канал, образованный в охватываемом соединительном элементе,

участок магнитной связи неподвижного разделительного элемента, представляющий собой участок неподвижного разделительного элемента, расположенный между магнитами охватываемого соединительного элемента и магнитами охватывающего соединительного элемента,

при этом охватывающий и охватываемый соединительные элементы с возможностью вращения связаны посредством магнитов через участок магнитной связи неподвижного разделительного элемента,

**отличающийся** тем, что:

первый канал, второй канал и внутренний осевой канал содержат текучую среду, нагнетаемую для протекания по указанным каналам для охлаждения и ротодинамической стабилизации, и

отношение длины участка магнитной связи неподвижного разделительного элемента к диаметру этого участка составляет больше единицы.

2. Магнитный муфтовый узел по п.1, содержащий четвертый канал, расположенный снаружи охватывающего соединительного элемента между охватывающим соединительным элементом и конструкцией, расположенной снаружи охватывающего соединительного элемента, при этом четвертый канал содержит текучую среду, нагнетаемую для протекания для охлаждения и ротодинамической стабилизации.

3. Магнитный муфтовый узел по п.1 или 2, в котором охватываемый элемент является ведущим элементом, и текучая среда, нагнетаемая для протекания по первому каналу и осевому каналу, представляет собой жидкость или жидкую смесь.

4. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 3, содержащий на неподвижном разделительном элементе гаситель завихрений, обращенный к входному отверстию внутреннего осевого канала на конце охватываемого элемента и соосный с ним, и предпочтительно гаситель завихрений, расположенный на неподвижном разделительном элементе в одном из первого и второго канала или в них обоих, предпочтительно во входной части указанных каналов, при этом каждый из гасителей завихрений сформирован в виде канавок, причем расстояние от дна канавки до ее верха находится в диапазоне значений от 0,05 до 0,95 от величины зазора для протекания потока, предпочтительно от 0,1 до 0,9, более предпочтительно от 0,2 до 0,8, от 0,3 до 0,7 или от 0,3 до 0,6, например, составляет примерно 0,5 от величины зазора для протекания потока.

5. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 4, в котором разделительный элемент имеет форму колокола, имеющего по существу вогнутую внутреннюю форму и выпуклую наружную форму на закрытом конце, с центральным выступом на внутренней поверхности, обращенным к входному отверстию осевого канала на конце охватываемого элемента и соосным с ним, причем выступ включает гаситель завихрений, имеющий вид радиальных канавок.

6. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 5, в котором один из первого и второго каналов или они оба в направлении потока имеют неоднородный радиальный зазор для протекания потока, при этом радиальный зазор ступенчато и/или постепенно уменьшается или увеличивается вдоль направления протекания потока.

7. Магнитный муфтовый узел по п.6, в котором один из первого и второго каналов или они оба, опционально и четвертый канал, в направлении потока имеют уплотняющую поверхность, имеющую вид участка с уменьшенным поперечным сечением или уменьшенным радиальным зазором для протекания потока, по сравнению с остальной частью радиального зазора для протекания потока или проходного поперечного сечения канала.

8. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 7, содержащий неферромагнитный и неэлектропроводящий разделительный элемент, предпочтительно разделительный элемент из керамического материала, предпочтительно содержащий $ZrO_2$.

9. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 8, в котором разделительный элемент имеет увеличенную толщину стенки на участках, расположенных за пределами участка магнитной связи вверху колокола и у основания, если смотреть в ориентации, в

которой закрытый конец разделительного элемента обращен вверх, а открытый конец обращен вниз.

10. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 9, в котором разделительный элемент, если смотреть в ориентации, в которой закрытый конец разделительного элемента обращен вверх, а открытый конец обращен вниз, имеет форму колпака с закругленным верхом и изогнутой внутренней частью верха, центральный участок которой проходит вниз на некоторое расстояние соосно с центром отверстия внутреннего осевого канала охватываемого элемента и после сборки и установки обращен к центру отверстия внутреннего осевого канала охватываемого элемента; более тонкую цилиндрическую стенку на соединительном участке между охватываемым и охватывающим соединительными элементами и утолщенную коническую стенку у основания, с выступающим наружу фланцем.

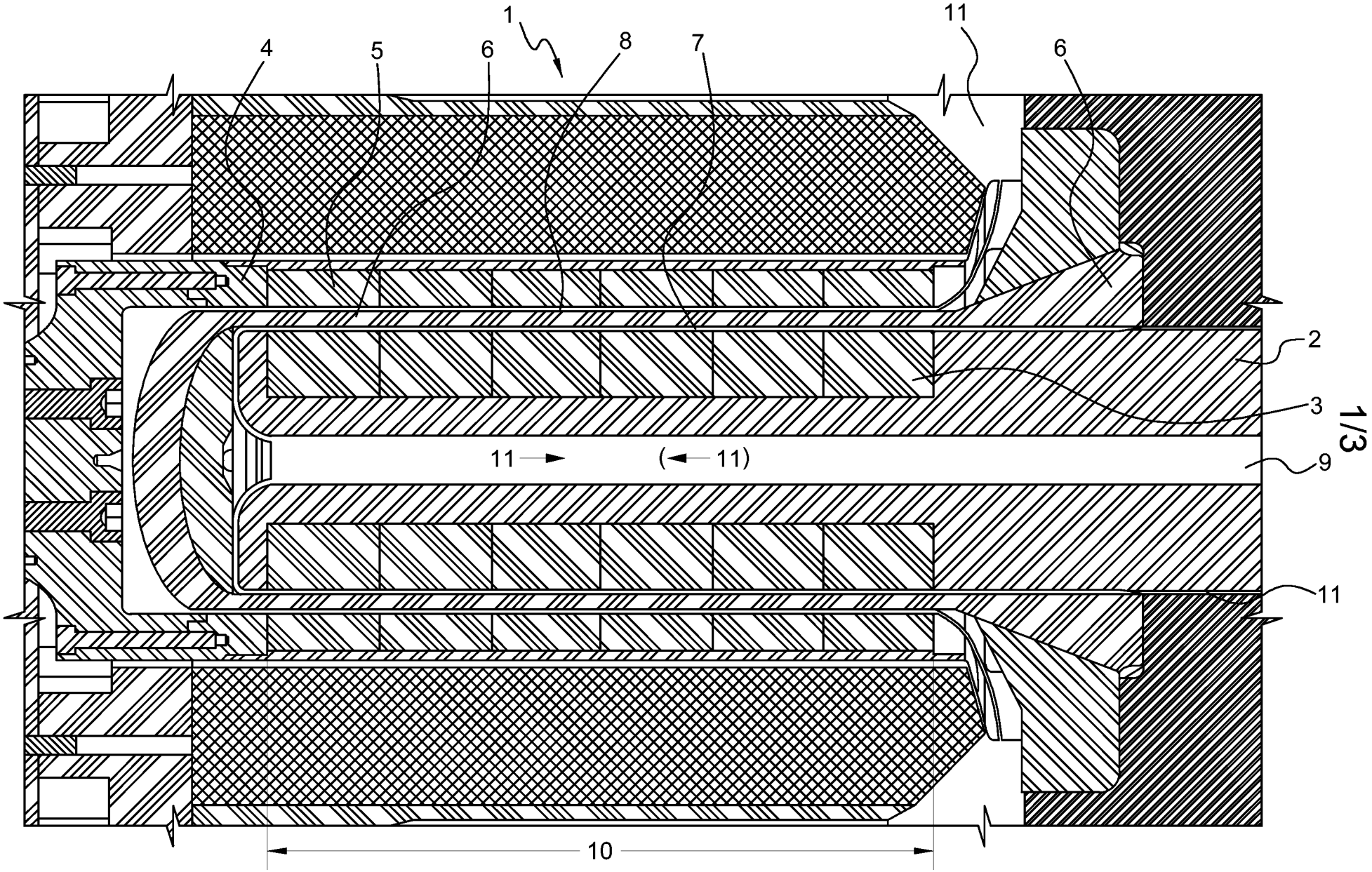
11. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 10, в котором охватывающий соединительный элемент имеет отверстия, действующие как входы или выходы для потока текучей среды.

12. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1, 2 и 4 - 11, в котором один из охватываемого или охватывающего соединительных элементов является ведущим элементом, а второй из этих элементов является ведомым элементом, причем разделительный элемент является частью герметичного отсека, содержащего двигатель и ведущий элемент, функционально присоединенный, предпочтительно, в качестве ведущей стороны насоса или компрессора с магнитной связью.

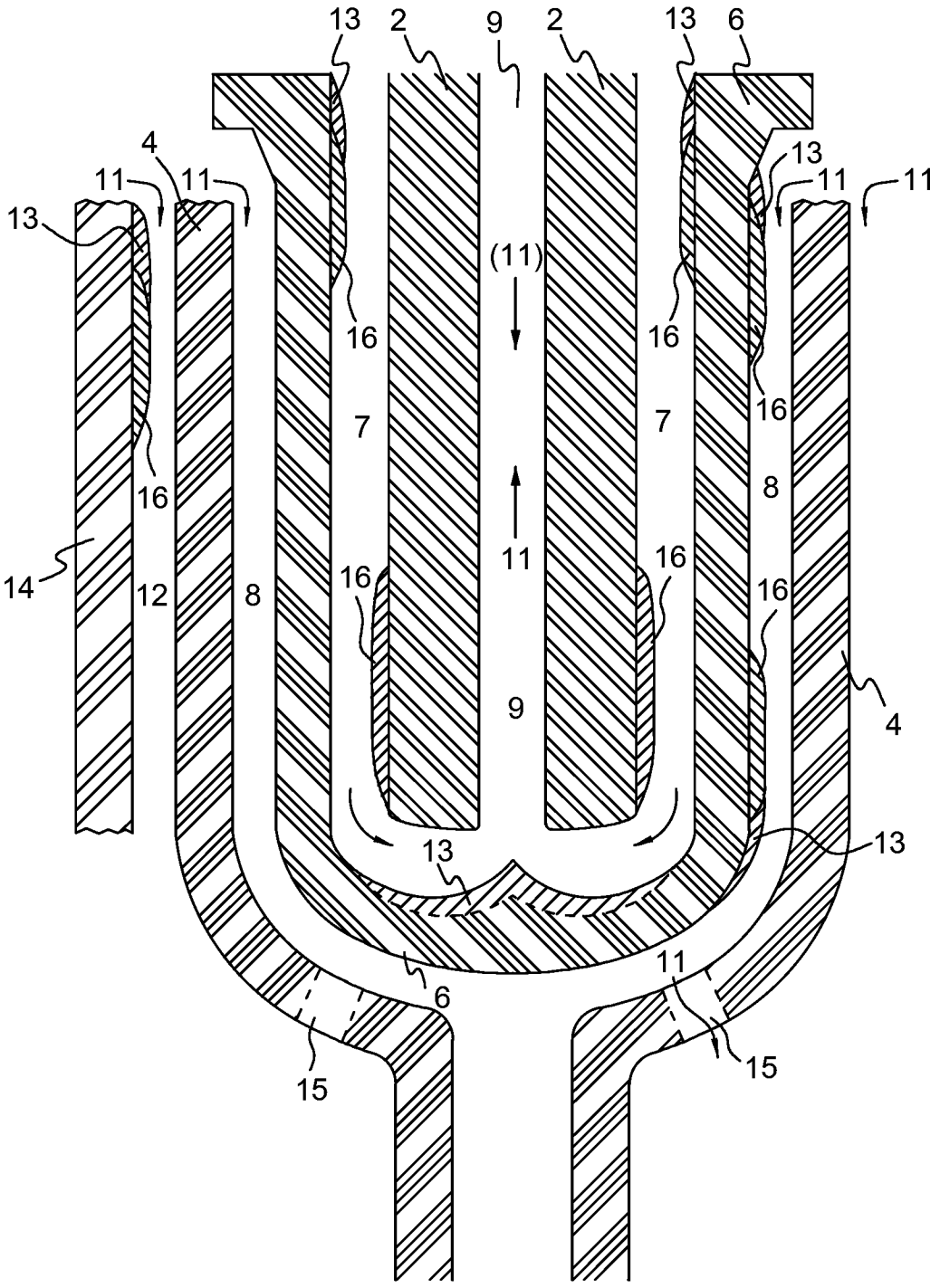
13. Магнитный муфтовый узел по любому из п.п.1 - 12, в котором магнитная связь может обеспечивать скорость вращения от 3000 об/мин до по меньшей мере 8000 об/мин совместно с эффектом соединения, обеспечиваемого муфтой, свыше 800 кВт.

14. Насос или компрессор, **отличающийся** тем, что содержит магнитный муфтовый узел, выполненный по любому из п.п.1 - 13.

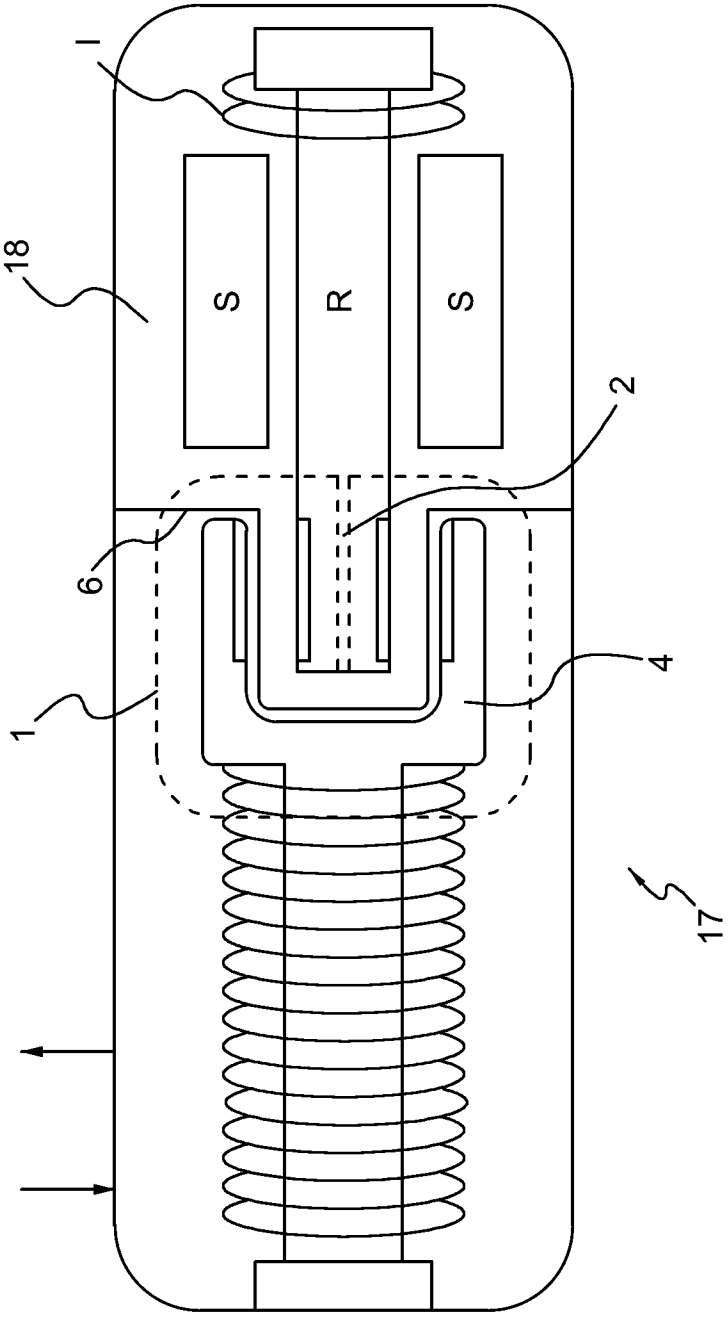
15. Применение магнитного муфтового узла, выполненного по любому из п.п.1 -13, в насосе или компрессоре.




Фиг. 1


13
2
9
2
13
6
4
11
11
13
11
11
(11)
16
16
16
7
7
8
16
11
16
14
12
8
16
16
9
4
13
13
6
11
15
15

Фиг. 2




Фиг. 3