

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036804**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.22

(51) Int. Cl. **H02K 1/27 (2006.01)**
H02K 5/132 (2006.01)

(21) Номер заявки
201690724

(22) Дата подачи заявки
2014.10.14

(54) **МОДУЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И НАСОСНАЯ
УСТАНОВКА**

(31) **14/070,795**

(56) JP-A-2013099038
DE-A1-19942029
WO-A2-2012113416
EP-A1-1037359

(32) **2013.11.04**

(33) **US**

(43) **2016.11.30**

(86) **PCT/US2014/060476**

(87) **WO 2015/065699 2015.05.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК КОМПАНИ
(US)**

(72) Изобретатель:
**Салас Нобрега Кен Ивкар, Ван Дам
Джереми Дэниел, Шах Манодж
Рампрасад, Герстлер Уильям Дуайт,
Раминосоа Тсарафиди, Флетт Эдвард
Джон, Редди Пател Бхаджират,
Александр Джеймс Пеллегрино (US)**

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

(57) В изобретении предложены машина (10) с постоянными магнитами, роторный узел (12) для этой машины и насосная установка (100). Машина (10) содержит статорный узел (14), содержащий сердечник (56) статора для генерирования магнитного поля, который расположен вдоль продольной оси и внутренняя поверхность которого ограничивает полость (36), и роторный узел (12), содержащий сердечник (30) ротора и вал (22) ротора. Сердечник ротора установлен в указанной полости с возможностью вращения вокруг продольной оси. Роторный узел содержит множество постоянных магнитов (34) для генерирования магнитного поля, взаимодействующего с магнитным полем статора для создания крутящего момента. Постоянные магниты установлены внутри или на поверхности. Роторный узел также содержит множество удерживающих зажимов (40) для фиксации постоянных магнитов относительно сердечника ротора. Насосная установка содержит электрический погружной насос (104) и двигатель с постоянными магнитами, приводящий в действие насос.

036804 B1

036804 B1

Область техники

Данное изобретение относится к двигателям с постоянными магнитами, более конкретно, к двигателю с постоянными магнитами, содержащему множество роторных модулей, и к насосной установке, содержащей электрический погружной насос, приводимый в действие двигателем с постоянными магнитами.

Предпосылки создания изобретения

Машины с постоянными магнитами, такие как двигатели или генераторы с постоянными магнитами, широко используются в летательных аппаратах, автомобилях, а также в подводных и промышленных установках. Потребность в машинах с постоянными магнитами, имеющими малый вес и высокую плотность мощности, привела к разработке высокоскоростных двигателей и генераторов с максимальным отношением мощности к весу. Машины с постоянными магнитами, имеющие высокую скорость, большую плотность мощности, малую массу и низкую стоимость, получают все большее признание.

В двигателях с постоянными магнитами постоянные магниты обычно находятся либо в роторе, либо в статоре, либо в роторе и статоре. В большинстве случаев постоянные магниты находятся в роторном узле. Выходная мощность двигателя с постоянными магнитами определяется длиной узлов статора и ротора. Чем больше осевая длина двигателя, тем больше его мощность.

В одном применении машины с постоянными магнитами, в частности двигатели с постоянными магнитами, могут использоваться как привод электрического погружного насоса. В настоящее время большинство электрических погружных насосов работают от асинхронных двигателей. Двигатели с постоянными магнитами могут создавать большой крутящий момент, так что количество двигателей, необходимых для работы электрического погружного насоса, может быть уменьшено, в результате чего уменьшаются стоимость и сложность всей установки. Использование двигателей с постоянными магнитами также способствует эффективной работе насоса при более высоких скоростях и тем самым повышению его производительности. Кроме того, эффективность двигателя с постоянными магнитами больше, чем у асинхронного двигателя, что увеличивает эффективность всей установки.

В известных машинах с постоянными магнитами множество постоянных магнитов установлены либо внутри, в частности встроены в пластины сердечника ротора, либо на поверхности в наружной части сердечника ротора. Если магниты установлены внутри, то механические напряжения в роторе сосредоточены в многочисленных перемычках и центральных стойках. В применениях с более высокими скоростями толщина перемычек и центральных стоек должна быть увеличена для повышения прочности ротора и других элементов. Такая увеличенная толщина приводит к большему рассеянию магнитного потока в перемычки и центральные стойки, что значительно уменьшает плотность мощности машины и снижает ее эффективность. Магниты, установленные на поверхности, расположены в наружной части ротора и поэтому необходимы некоторые средства, удерживающие их от действия центробежных сил, возникающих при вращении ротора. Для этого часто используют фиксирующую втулку, однако наличие фиксирующей втулки увеличивает эффективный воздушный зазор и обуславливает дополнительные потери на вихревые токи, если втулка является металлической. Это значительно уменьшает плотность мощности машины и, соответственно, ее производительность.

Поэтому желательно иметь машину с постоянными магнитами, имеющую высокую плотность мощности и высокую производительность. Кроме того, желательно иметь машину с постоянными магнитами для приведения в действие электрического погружного насоса.

Сущность изобретения

Изобретение касается роторного узла для машины с постоянными магнитами, машины с постоянными магнитами и насосной установки и направлено на устранение указанных и других недостатков известных машин.

Согласно одному аспекту изобретения предложен роторный узел для машины с постоянными магнитами, выполненный с возможностью вращения вокруг продольной оси. Роторный узел содержит вал ротора и множество роторных модулей для генерирования магнитного поля, взаимодействующего с магнитным полем статора для создания крутящего момента. Роторные модули установлены вокруг вала ротора с осевым выравниванием торца к торцу и совместным сцеплением. Каждый роторный модуль содержит сердечник ротора, множество постоянных магнитов и множество удерживающих зажимов. Удерживающие зажимы предназначены для фиксации постоянных магнитов относительно сердечника ротора.

Согласно другому аспекту изобретения предложена машина с постоянными магнитами, содержащая статорный узел и роторный узел. Статорный узел содержит сердечник статора и статорные обмотки для генерирования магнитного поля статора при возбуждении переменным током. Статорный узел расположен вдоль продольной оси и его внутренняя поверхность ограничивает полости, в которой установлен роторный узел с возможностью вращения вокруг продольной оси. Роторный узел содержит множество роторных модулей для генерирования магнитного поля, взаимодействующего с магнитным полем статора для создания крутящего момента. Каждый роторный модуль содержит сердечник ротора, множество постоянных магнитов и множество удерживающих зажимов для фиксации, постоянных магнитов относительно сердечника ротора.

Согласно еще одному аспекту изобретения предложена насосная установка, содержащая электрический погружной насос и двигатель с постоянными магнитами для приведения в действие электрического погружного насоса. Двигатель с постоянными магнитами содержит статорный узел и роторный узел. Статорный узел содержит сердечник статора и статорные обмотки для генерирования магнитного поля статора при возбуждении переменным током и расположен вдоль продольной оси, а его внутренняя поверхность ограничивает полость. Роторный узел установлен в этой полости с возможностью вращения вокруг продольной оси и содержит вал ротора и множество роторных модулей для генерирования магнитного поля, взаимодействующего с магнитным полем статора для создания крутящего момента. Роторные модули установлены вокруг вала ротора с осевым выравниванием торца к торцу и совместным сцеплением. Каждый роторный модуль содержит сердечник ротора, множество постоянных магнитов и множество удерживающих зажимов для фиксации постоянных магнитов относительно сердечника ротора.

Существуют различные усовершенствования указанных выше признаков в отношении различных аспектов изобретения. В эти аспекты также могут быть введены дополнительные признаки. Эти улучшения и дополнительные признаки могут быть введены по отдельности или в любом сочетании. Например, различные признаки, рассмотренные ниже в связи с одним или несколькими проиллюстрированными вариантами выполнения, могут быть введены в любой из названных аспектов изобретения по отдельности или в любом сочетании. Краткий раздел "Сущность изобретения" предназначен только для ознакомления читателя с некоторыми аспектами и контекстом изобретения без ограничения заявленного объекта изобретения.

Краткое описание чертежей

Эти и другие признаки, аспекты и преимущества изобретения будут более понятны при рассмотрении представленного ниже подробного описания со ссылками на сопровождающие чертежи, на которых одинаковые элементы обозначены одинаковыми цифровыми позициями.

Фиг. 1 изображает в аксонометрии роторный узел машины с постоянными магнитами в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 2 изображает продольный разрез части роторного и статорного узлов машины с постоянными магнитами в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 3 изображает поперечный разрез роторного и статорного узлов машины с постоянными магнитами по линии 3-3 на фиг. 2, в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 4 изображает в увеличенном масштабе часть поперечного разреза роторного и статорного узлов, показанного на фиг. 3, в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 5 изображает поперечный разрез другого варианта выполнения роторного узла машины с постоянными магнитами в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 6 изображает в аксонометрии роторный узел машины с постоянными магнитами, в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 7 изображает продольный разрез части роторного и статорного узлов машины с постоянными магнитами в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 8 изображает поперечный разрез роторного и статорного узлов машины с постоянными магнитами по линии 8-8 на фиг. 7 в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 9 изображает в увеличенном масштабе часть поперечного разреза роторного и статорного узлов, показанного на фиг. 8, в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 10 изображает разрез насосной установки, содержащей электрический погружной насос и двигатель с постоянными магнитами для приведения в действие насоса, в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения;

фиг. 11 изображает блок-схему операций способа сборки машины с постоянными магнитами в соответствии с одним или несколькими описанными или показанными вариантами выполнения.

Подробное описание изобретения

В описании с целью иллюстрации изобретения представлены некоторые варианты его осуществления, однако из описания чертежей будут очевидны другие цели и преимущества изобретения. Описанные предпочтительные варианты осуществления изобретения не ограничивают его объем. Напротив, общие принципы, изложенные в описании, рассмотрены просто для иллюстрации объема изобретения, при этом могут быть внесены многочисленные изменения без отклонения от объема изобретения.

Как подробно описано в дальнейшем, варианты осуществления изобретения относятся к двигателю с постоянными магнитами, используемому для приведения в действие электрического погружного насо-

са. При использовании описанных конфигураций достигается эффективность двигателя с постоянными магнитами и, соответственно, насосной установки, упрощение установки благодаря возможности иметь меньшее количество двигателей, необходимых для приведения в действие насоса, и возможность эффективной работы на высоких скоростях.

Слова "первый", "второй" и т.п. в данном описании не указывают на какой-либо порядок расположения, численное значение или степень важности элементов, к которым эти слова относятся, а используются для того, чтобы отличить один элемент от другого и ориентировать читателя в отношении конкретных элементов. Слова, выражающие приблизительное значение какой-либо величины в описании и формуле, означают, что допускается изменение любого количественного представления, не приводящее к изменению основной функции, к которой оно относится. Слово "около" или "приблизительно" в сочетании с указанием какого-либо числового значения, означают, что это числовое значение может изменяться в некоторых пределах, которые определяются в зависимости от контекста (например, указанное значение может изменяться в пределах погрешности измерения данной величины). Соответственно, числовое значение, перед которым стоит слово "приблизительно", не ограничено в точности этим значением. В некоторых случаях такие выражения могут подразумевать точность инструмента для измерения данной величины.

Упоминание в описании и формуле какого-либо элемента в единственном числе не исключает возможности наличия нескольких таких элементов. Например, признак "роторный модуль" может включать один или несколько роторных модулей, если нет специальных указаний. Союз "или" не имеет исключительного значения и означает возможность наличия по меньшей мере одного из перечисленных элементов или комбинации этих элементов, если из контекста не следует иное. Выражения "один вариант выполнения", "другой вариант выполнения", "некоторый вариант выполнения" и т.д. означают, что элемент (например, признак, конструкция и/или характеристика) описанный в связи с некоторым вариантом выполнения, присутствует по меньшей мере в одном варианте выполнения, рассмотренном в описании, и может или не может присутствовать в других вариантах выполнения.

Аналогично, выражение "данная конфигурация" означает, что элемент (например, признак, конструкция и/или характеристика), описанный в связи с какой-либо конфигурацией, присутствует по меньшей мере в одной конфигурации, рассмотренной в описании, и может или не может присутствовать в других конфигурациях. Кроме того, признаки изобретения могут сочетаться любым подходящим образом в различных вариантах выполнения и конфигурациях.

Используемые здесь модальные глаголы "может" и "может быть" означают возможность какого-либо явления в различных условиях, возможность иметь определенное свойство, характеристику или функцию, и/или указывают на возможность, способность или вероятность в отношении действий, выраженных основным глаголом. Соответственно, модальные глаголы "может" и "может быть" указывают на то, что способность, функция или применяемость, выраженные основным глаголом, возможны с учетом того, что при некоторых обстоятельствах они могут быть невозможны. Например, при некоторых обстоятельствах явление или свойство может иметь место, а при других обстоятельствах нет. Слова "содержащий", "включающий", "имеющий" и т.п. не имеют ограничительного характера и допускают возможность наличия других элементов в дополнение к элементам, перечисленным после этих слов. Любые примеры рабочих параметров не исключают другие параметры описанных вариантов выполнения.

Как изложено подробно в дальнейшем, варианты осуществления изобретения касаются машины с постоянными магнитами, насосной установки, содержащей насос, приводимый в действие такой машиной, и способа сборки машины. Машина с постоянными магнитами содержит пакет пластин, образующий сердечник ротора и выполненный с возможностью сцепления с множеством постоянных магнитов, причем эти пластины установлены по окружности вокруг вала в роторном узле. В частности, изобретение касается машины с постоянными магнитами, заполненной текучей средой и работающей на сравнительно низкой скорости, определяемой окружной скоростью ротора (<20 м/с). Текучая среда между роторным и статорным узлами предназначена для противодействия внешнему давлению, действующему на машину, а также для ее вентиляции. Ожидается, что при использовании с погружным насосом двигатель с постоянными магнитами будет оптимизирован для узкого диапазона скоростей в пределах от приблизительно половины его рабочей скорости до полной рабочей скорости, в отличие от применения в гибридных транспортных средствах, где требуется практически постоянный крутящий момент в диапазоне от почти нулевой скорости до номинальной скорости.

На фиг. 1-5 показана машина с постоянными магнитами, более конкретно, двигатель с постоянными магнитами, согласно изобретению, содержащий множество внутренних постоянных магнитов, а на фиг. 6-9 показан двигатель с постоянными магнитами, содержащий множество постоянных магнитов, установленных на поверхности. Фиг. 1 и 2 изображают часть двигателя 10 с постоянными магнитами согласно одному из вариантов выполнения. Фиг. 1 изображает в аксонометрии роторный узел 12, расположенный вдоль продольной оси 13. Фиг. 2 изображает продольный разрез части двигателя 10 с постоянными магнитами, содержащей роторный узел 12 и статорный узел 14, расположенный вдоль продольной оси 13 в обсадной трубе 16 скважины. Как видно на фиг. 2, роторный узел 12 и статорный узел 14 разделены воздушным зазором 15. На фиг. 1 необязательное цилиндрическое покрытие 18 роторного узла 12 час-

точно удалено, чтобы были видны отдельные роторные модули 20 роторного узла 12, установленные вокруг вала 22 ротора с выравниванием по оси торцев к торцу. Каждый роторный модуль 20 содержит множество постоянных магнитов, расположенных вдоль оси и по окружности вокруг сердечника ротора или внутри него, как описано ниже. Роторные модули 20 установлены с возможностью вращения относительно продольной оси 13 машины. Роторный узел 12 может содержать множество подшипников 24, установленных между каждыми двумя роторными модулями 20, и концевые подшипники 26, установленные на осевых концах вала 22 ротора, для удержания роторных модулей 20 на валу 22 и для регулирования боковых динамических характеристик роторного узла 12. Количество роторных модулей 20, расположенных вокруг вала 22, зависит от требуемой выходной мощности всего двигателя, причем, чем больше роторных модулей 20, тем больше выходная мощность. В одном варианте статорный узел 14 выполнен непрерывным и охватывает все роторные модули 20.

На фиг. 3 показан поперечный разрез части двигателя на постоянных магнитах по линии 3-3 на фиг. 2, проходящий через статорный узел 14 и один роторный модуль 20 роторного узла 12, а фиг. 4 изображает часть фиг. 3 в увеличенном масштабе. Роторный узел 12, более конкретно, каждый из роторных модулей 20 содержит сердечник 30 ротора, образованный множеством стянутых пластин 31. Роторный узел 12 содержит вал 22 ротора, соединенный с сердечником 12 ротора. В одном варианте выполнения вал 22 и сердечник 30 могут быть скреплены шпонкой, образуя совместное сцепление. В одном варианте выполнения вал ротора может иметь по меньшей мере один элемент, например выступ 21, для сцепления с по меньшей мере одним соответствующим элементом, например выемкой 23, в сердечнике 12 ротора, или наоборот. В одном варианте выполнения вал 22 может иметь каналы для охлаждающей текучей среды (не показаны), проходящей внутри сердечника 30 ротора. В одном примере, не ограничивающем изобретение, охлаждающая среда представляет собой поток воздуха или хладагент, уменьшающий механические напряжения и потери на вихревые токи в роторном узле 12.

Роторный узел 12 содержит множество постоянных магнитов 34, расположенных в множестве полостей 36 или пустот, образованных в сердечнике 12, точнее в пластинах 31. Направление намагничивания постоянных магнитов 34 можно охарактеризовать как окружное или нерадиальное. Постоянные магниты 34 генерируют магнитное поле, направленное радиально в воздушный зазор 15 между роторным узлом 12 и статорным узлом 14. Магнитное поле, генерируемое постоянными магнитами 34, взаимодействует с магнитным полем статора для создания крутящего момента. Как видно на фиг. 4, постоянные магниты 34 расположены в полостях 36, образованных в сердечнике 30 ротора. Блок 38 якоря магнита расположен относительно каждого постоянного магнита 34 так, что действует как ферромагнитный полюс и обеспечивает возможность выполнять каждый постоянный магнит 34 с простой прямоугольной формой. Имеется множество удерживающих зажимов 40, расположенных относительно сердечника 30 ротора и сцепленных с ним в полостях 36 так, чтобы положение постоянных магнитов 34 внутри полостей 36 не изменялось. Более конкретно, каждый зажим 40 фиксирует постоянные магниты 34 в роторном узле 12 для предотвращения образования на них сколов при вращении с высокой скоростью, обусловленного центробежной силой, создаваемой в сердечнике 12 ротора. В одном варианте выполнения каждый удерживающий зажим 40 обеспечивает подпружиненную фиксацию одного постоянного магнита 34 в соответствующей полости 36. В этом варианте выполнения постоянные магниты 34 имеют большую ось 35, расположенную по существу по окружности внутри сердечника 30 ротора.

В одном варианте выполнения постоянные магниты 34 могут быть выполнены из сплава неодима, бора и железа. В другом варианте выполнения постоянные магниты 34 выполнены из сплава самария и кобальта или из феррита или из сплава Alnico. В одном варианте выполнения в полостях 36 может находиться заполняющий материал 42 для уменьшения риска раскалывания магнита и для его дополнительной фиксации в случае раскалывания.

В рассмотренном варианте выполнения роторный узел 12 содержит неподвижную трубу 44, расположенную коаксиально в центре сердечника 12 ротора. Внутренняя поверхность 46 вала 22 ротора и наружная поверхность 48 трубы 44 ограничивают внутреннее отверстие 50 в роторе для вывода охлаждающей текучей среды. В одном варианте выполнения неподвижная труба 44 является полой трубой с центральным отверстием 52 для ввода охлаждающей текучей среды. В другом варианте выполнения труба 44 не является обязательной.

На фиг. 3 показан статорный узел 14 двигателя с постоянными магнитами, содержащий сердечник 56 статора, включающий статорные конструкции 58, расположенные по окружности и образующие полость (показана с расположенным в ней с роторным узлом 12) в центре сердечника 56. Статорный узел 14 генерирует магнитное поле и расположен вдоль продольной оси 13 (показана на фиг. 1). Роторный узел 12, как изложено выше, находится в этой полости, ограниченной сердечником 56 статора. Статорный узел 14 содержит множество пазов 60 для сосредоточенных обмоток (не показаны), расположенных между статорными конструкциями 58. В одном варианте выполнения сосредоточенные обмотки содержат медные катушки. В другом варианте выполнения статорный узел 14 содержит дробно-пазовые сосредоточенные обмотки.

На фиг. 5 изображен другой вариант роторного узла 70, в общем подобный роторному узлу 12, показанному на фиг. 1-4. В этом варианте выполнения роторный узел 70 содержит сердечник 30 ротора,

имеющий множеством полостей 36, в каждой из которых расположен постоянный магнит 34. В этом варианте большая ось 35 каждого постоянного магнита 34 проходит внутри сердечника 30 по существу в радиальном направлении относительно вала 22. Точнее, постоянные магниты 34 намагничены в радиальном направлении внутрь или наружу. Удерживающие зажимы 40 сцеплены с полостями 36 и удерживают каждый из постоянных магнитов 34 в его полости 36.

На фиг. 6-9 показан еще один вариант выполнения двигателя с постоянными магнитами, содержащего множество постоянных магнитов, установленных на поверхности. Часть такого двигателя 80 представлена на фиг. 6 и 7. Для упрощения описания во всех рассмотренных вариантах выполнения одинаковые элементы обозначены одинаковыми цифровыми позициями. Фиг. 6 изображает в аксонометрии роторный узел 12, расположенный вдоль продольной оси 13. Фиг. 7 изображает продольный разрез части двигателя 80, включающей роторный узел 12 и статорный узел 14, расположенный вдоль продольной оси 13 в обсадной трубе 16 скважины. Роторный узел 12 и статорный узел 14 разделены воздушным зазором 15. На фиг. 6 необязательное цилиндрическое покрытие 18 роторного узла 12 частично снято, чтобы были видны модули 20 роторного узла 12. Роторный узел 12 содержит множество отдельных роторных модулей 20, расположенных вокруг вала 22 с осевым выравниванием торца к торцу. Каждый роторный модуль 20 содержит множество постоянных магнитов (описаны ниже), расположенных в осевом направлении и по окружности вокруг сердечника (описан ниже) ротора или в нем. Роторные модули 20 установлены с возможностью вращения вокруг продольной оси 13 машины с постоянными магнитами. Роторный узел 12 может содержать множество радиальных подшипников 24, установленных между каждыми двумя роторными модулями 20, и радиальные концевые подшипники 26, установленные на множестве осевых концов вала 22 ротора, для удержания роторных модулей 20 на валу 22 и для регулирования боковых динамических характеристик роторного узла 12. Как указано выше, количество роторных модулей 20, расположенных вокруг вала 22, зависит от требуемой выходной мощности всего двигателя. Как и в предыдущих вариантах, статорный узел 14 представляет собой непрерывный статор, охватывающий все модули 20.

На фиг. 8 показана часть двигателя 80 с постоянными магнитами в поперечном разрезе по линии 8-8 на фиг. 7, проходящем через статорный узел 14 и один из роторных модулей 20 роторного узла 12, фиг. 9 изображает поперечный разрез части двигателя 80, показанной на фиг. 8, в увеличенном масштабе. Роторный узел 12 в общем выполнен так же, как в варианте, описанном выше со ссылками на фиг. 1-4, и каждый из его роторных модулей 20 содержит сердечник 30 ротора, образованный множеством стянутых пластин 31, и вал 22 ротора, соединенный с сердечником 12. В одном варианте выполнения вал ротора может иметь по меньшей мере один элемент (не показан), например выступ, совместно сцепленный с соответствующим элементом (не показан), например выемкой, в сердечнике 12 ротора с образованием шпоночного соединения. В одном варианте выполнения вал ротора может иметь по меньшей мере один элемент, например выступ 21, совместно сцепленный с соответствующим элементом, например выемкой 23, в сердечнике 12 ротора, или наоборот, с образованием шпоночного соединения. В одном варианте выполнения вал 22 может содержать каналы для охлаждающей текучей среды (не показана) в сердечнике 30 ротора. В одном примере, не ограничивающем изобретение, охлаждающая текучая среда может быть воздушным потоком или хладагентом, уменьшающим механические напряжения и потери на вихревые токи в роторном узле 12.

Роторный узел 12 содержит множество постоянных магнитов 34, расположенных, по меньшей мере, частично в множестве выемок 82, образованных на поверхности 83 сердечника 12 ротора. Постоянные магниты 34 генерируют магнитное поле, направленное радиально в воздушный зазор 15 между роторным узлом 12 и статорным узлом 14. Подобно ранее описанному варианту выполнения, магнитное поле, генерируемое постоянными магнитами 34, взаимодействует с магнитным полем статора для создания крутящего момента. Как видно на фиг. 9, постоянные магниты 34 расположены в выемках 82, образованных в сердечнике 30 ротора. В этом варианте выполнения постоянные магниты 34 являются магнитами, установленными на поверхности. В сердечнике 30 установлено множество удерживающих зажимов 40 для фиксации постоянных магнитов 34 в выемках 82. Более конкретно, каждый зажим 40 предназначен для фиксации постоянных магнитов 34 относительно роторного узла 12 для предотвращения образования на них скосов при вращении с высокой скоростью, обусловленного центробежной силой, создаваемой в сердечнике 12 ротора. В одном варианте выполнения каждый удерживающий зажим 40 обеспечивает подпружиненную фиксацию постоянных магнитов 34 в выемках 36. В этом варианте выполнения большая ось 35 постоянных магнитов 34 расположена по существу по окружности вокруг сердечника 30 ротора.

Как описано выше, постоянные магниты 34 могут быть выполнены из сплава неодима, бора и железа, из сплава самария и кобальта, феррита, или Alnico. В одном варианте выполнения в выемках 82 может находиться заполняющий материал 42 для дополнительной фиксации магнитов в случае их раскалывания.

Как описано выше, роторный узел 12 может содержать неподвижную трубу 44, расположенную коаксиально в центре сердечника 12 ротора. Внутренняя поверхность 46 вала 22 ротора и наружная поверхность 48 трубы 44 ограничивают внутреннее отверстие 50 для выхода охлаждающей текучей среды.

В одном варианте выполнения труба 44 является полой и ее центральное отверстие 52 позволяет вводить охлаждающую текучую среду.

На фиг. 8 показан статорный узел 14 двигателя с постоянными магнитами, содержащий сердечник 56 статора, включающий статорные конструкции 58, расположенные по окружности и образующие полость (показана с расположенным в ней с роторным узлом 12) в центре сердечника 56 статора. Статорный узел 14 генерирует магнитное поле и расположен вдоль продольной оси 13 (показана на фиг. 6). Роторный узел 12, как описано выше, расположен в этой полости, ограниченной сердечником 56 статора. Статорный узел 14 имеет множество пазов 60, расположенных между статорными конструкциями 58, для сосредоточенных обмоток (не показаны).

На фиг. 10 показана насосная установка 100, содержащая двигатель 102 с постоянными магнитами, используемый для приведения в действие насоса. Двигатель 102 с постоянными магнитами выполнен аналогично двигателям 10, 70 или 80, рассмотренным выше со ссылками на фиг. 1-9. В данном варианте выполнения насос является электрическим погружным насосом 104 согласно одному варианту выполнения. Насосная установка 100 содержит двигатель 102 с постоянными магнитами, содержащий статорный узел 106 и роторный узел 108, в общем подобные роторному узлу 12 и статорному узлу 14, рассмотренным ранее. В пазах статора расположено множество обмоток 110. Роторный узел 108 содержит множество постоянных магнитов, рассмотренных выше со ссылками на фиг. 1-8, которые установлены на поверхности или являются внутренними постоянными магнитами. Роторный узел 108 также содержит множество удерживающих зажимов для фиксации постоянных магнитов на поверхности сердечника ротора или в сердечнике ротора роторного узла 108, которые тоже рассмотрены выше со ссылками на фиг. 1-8.

В одном варианте выполнения полость 112 машины заполнена чистой охлаждающей текучей средой, имеющей подходящую теплопроводность и подходящие характеристики электрической изоляции. Более конкретно, в одном варианте выполнения полость 112 заполнена охлаждающей текучей средой 114 насоса. Охлаждающая текучая среда 114 насоса охлаждает статорный узел 106, роторный узел 104 и множество связанных с ним подшипников (не показаны), в общем подобных подшипникам 24 и 26, показанным на фиг. 1-8. В другом варианте благодаря герметизации двигателя может быть обеспечена защита статорного узла 106 и роторного узла 104 от коррозии при использовании для охлаждения обработанной текучей среды. В одном варианте выполнения может быть предусмотрен теплообменник 116 для передачи тепла от двигателя 102 к наружному потоку текучей среды.

Фиг. 11 представляет собой блок-схему операций способа 200 сборки машины с постоянными магнитами, более конкретно, двигателя с постоянными магнитами в соответствии с изобретением. Способ 200 включает операцию 202 обеспечения наличия статорного узла, содержащего сердечник статора. Статорный узел расположен вдоль продольной оси и его внутренняя поверхность ограничивает полость. Статорный узел имеет статорные обмотки для генерирования магнитного поля при возбуждении переменным током. Операция 204 способа 200 включает обеспечение наличия роторного узла с сердечником ротора, несущим множество постоянных магнитов, установленных на поверхности или внутри. Роторный узел содержит множество удерживающих зажимов для фиксации постоянных магнитов относительно его сердечника. Операция 206 включает установку сердечника ротора в полости, образованной сердечником статора, с возможностью вращения на валу ротора вокруг продольной оси. Вал ротора может иметь элементы сцепления для совместного сцепления между ним и сердечником ротора. Постоянные магниты генерируют магнитное поле, взаимодействующее с магнитным полем статора для создания крутящего момента.

Описанные варианты выполнения обеспечивают большой крутящий момент, так что количество двигателей, необходимых для приведения в действие такого устройства, как электрический погружной насос, может быть уменьшено, что снижает стоимость и сложность всей установки. Использование двигателя с постоянными магнитами для приведения в действие погружного насоса, как описано выше, также обеспечивает возможность эффективной работы насоса при более высоких скоростях и тем самым увеличивает его производительность. Кроме того, эффективность двигателя с постоянными магнитами больше эффективности асинхронного двигателя, что увеличивает эффективность всей установки.

Роторный узел и связанные с ним компоненты имеют такую конфигурацию, которая обеспечивает главным образом максимальную плотность мощности и минимальные потери на вихревые токи. В одном из вариантов выполнения использование удерживающих зажимов сводит к минимуму количество переключателей и центральных стоек, если не исключает их вообще, и таким образом, повышает конструкционную прочность ротора и других компонентов. Кроме того, рассмотренные варианты выполнения обеспечивают уменьшение рассеяния магнитного потока, что значительно увеличивает плотность мощности машины и, соответственно, повышает ее эффективность. Изобретение обеспечивает также дополнительные преимущества в плане малого объема, массы и стоимости. Таким образом, эти способы и установки позволяют получить высокоэффективные машины с постоянными магнитами.

Как описано выше, машины с постоянными магнитами могут успешно использоваться в качестве привода для погружных насосов, но они могут иметь и другое применение. Например, эти машины могут использоваться как двигатели летательных аппаратов, тяговые двигатели, а также в ветряных двигателях,

газовых турбинах, стартер-генераторах, в аэрокосмической области и в промышленных установках.

Разумеется, необязательно, чтобы все указанные выше цели и преимущества можно было достигнуть в любом варианте выполнения. Например, специалистам в данной области будет понятно, что описанные здесь устройства, системы и способы можно реализовать так, что будет достигнуто или оптимизировано одно или несколько из указанных преимуществ без необходимости достижения других из указанных преимуществ.

В приведенном описании представлены примеры, раскрывающие изобретение, включая лучшие варианты его осуществления, и позволяющие специалистам осуществить изобретение на практике, а именно, создать и использовать любые устройства или системы и выполнить любые относящиеся к ним способы. Объем правовой охраны изобретения определяется его формулой и может охватывать другие примеры, которые могут предложить специалисты в данной области при условии, что эти примеры содержат конструктивные элементы, дословно соответствующие элементам, указанным в формуле изобретения, или содержат эквивалентные конструктивные элементы с несущественными отличиями от элементов, указанных в формуле.

Хотя были показаны и описаны лишь некоторые варианты осуществления изобретения, специалистами в данной области могут быть внесены в эти варианты различные модификации и изменения. Прилагаемая формула изобретения распространяется на все такие модификации и изменения, соответствующие сущности изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Роторный узел для машины с постоянными магнитами, предназначенный для вращения вокруг продольной оси и содержащий вал и множество роторных модулей для генерирования магнитного поля, взаимодействующего с магнитным полем статора для создания крутящего момента, причем роторные модули установлены вокруг вала с осевым выравниванием торца к торцу и совместным сцеплением и каждый из них содержит

сердечник ротора,

множество постоянных магнитов и

множество удерживающих зажимов для фиксации постоянных магнитов относительно сердечника ротора, причем каждый удерживающий зажим имеет загнутые концевые участки, каждый из которых изогнут относительно соответствующего расположенного перед ним прямого участка так, что указанный загнутый участок образует замкнутый контур и вставлен в выемку, выполненную в поверхности сердечника ротора.

2. Роторный узел по п.1, дополнительно содержащий множество подшипников, установленных между каждым из роторных модулей, и множество концевых подшипников, установленных на осевых концах вала ротора.

3. Роторный узел по п.1, дополнительно содержащий множество полостей, образованных в сердечнике ротора, причем каждый из постоянных магнитов расположен в одной из этих полостей для образования двигателя с внутренними постоянными магнитами, при этом выемки, в которые вставлены загнутые участки удерживающих зажимов, расположены в указанных полостях.

4. Роторный узел по п.1, в котором каждый постоянный магнит намагничен в направлении радиально-внутри или радиально-наружу или в окружном направлении относительно сердечника ротора.

5. Роторный узел по п.1, дополнительно содержащий множество выемок, образованных на наружной поверхности сердечника ротора, причем каждый из постоянных магнитов расположен, по меньшей мере, частично в одной из указанных выемок для образования двигателя с постоянными магнитами, установленными на поверхности.

6. Роторный узел по п.1, в котором машина с постоянными магнитами является двигателем с постоянными магнитами для приведения в действие электрического погружного насоса.

7. Машина с постоянными магнитами, содержащая

статорный узел, содержащий сердечник статора и статорные обмотки для генерирования магнитного поля статора при возбуждении переменным током, причем статорный узел расположен вдоль продольной оси и его внутренняя поверхность ограничивает полость, и роторный узел по п.1.

8. Машина с постоянными магнитами по п.7, дополнительно содержащая множество подшипников, установленных между каждым из роторных модулей, и множество концевых подшипников, установленных на осевых концах вала ротора.

9. Машина с постоянными магнитами по п.7, дополнительно содержащая множество полостей, образованных в сердечнике ротора, причем каждый из постоянных магнитов расположен в одной из этих полостей для образования двигателя с внутренними постоянными магнитами.

10. Машина с постоянными магнитами по п.7, дополнительно содержащая множество выемок, образованных на наружной поверхности сердечника ротора, причем каждый из постоянных магнитов расположен, по меньшей мере, частично в одной из указанных выемок для образования двигателя с посто-

янными магнитами, установленными на поверхности.

11. Машина с постоянными магнитами по п.7, в которой каждый из удерживающих зажимов выполнен с возможностью подпружиненной фиксации постоянных магнитов относительно сердечника ротора.

12. Машина с постоянными магнитами по п.11, в которой множество удерживающих зажимов выполнено с дополнительной возможностью подпружиненной фиксации блоков якоря магнита относительно сердечника ротора.

13. Машина с постоянными магнитами по п.8, представляющая собой двигатель с постоянными магнитами для приведения в действие электрического погружного насоса.

14. Насосная установка, содержащая электрический погружной насос и двигатель с постоянными магнитами для приведения в действие этого насоса, содержащий

статорный узел, содержащий сердечник и статорные обмотки для генерирования магнитного поля статора при возбуждении переменным током, причем статорный узел расположен вдоль продольной оси и его внутренняя поверхность ограничивает полость, и

роторный узел по п.1, установленный в указанной полости с возможностью вращения вокруг продольной оси.

15. Насосная установка по п.14, дополнительно содержащая множество подшипников, установленных между каждым из роторных модулей, и множество концевых подшипников, установленных на осевых концах вала ротора.

16. Насосная установка по п.14, дополнительно содержащая множество полостей, образованных в сердечнике ротора, причем каждый из постоянных магнитов расположен в одной из этих полостей для образования двигателя с внутренними постоянными магнитами.

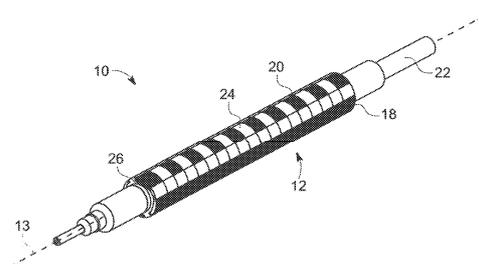
17. Насосная установка по п.14, дополнительно содержащая множество выемок, образованных на наружной поверхности сердечника ротора, причем каждый из постоянных магнитов расположен, по меньшей мере, частично в одной из указанных выемок для образования двигателя с постоянными магнитами, установленными на поверхности.

18. Насосная установка по п.14, в которой удерживающие зажимы выполнены с возможностью подпружиненной фиксации постоянных магнитов относительно сердечника ротора.

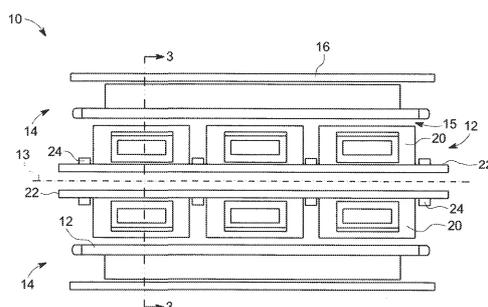
19. Машина с постоянными магнитами по п.18, в которой удерживающие зажимы выполнены с дополнительной возможностью подпружиненной фиксации блоков якоря магнита относительно сердечника ротора.

20. Способ сборки машины с постоянными магнитами по п.7, включающий сборку статорного узла, содержащего сердечник статора и внутреннюю поверхность, определяющую полость, причем статорный узел имеет статорные обмотки для генерирования магнитного поля при возбуждении переменным током и расположен вдоль продольной оси, и

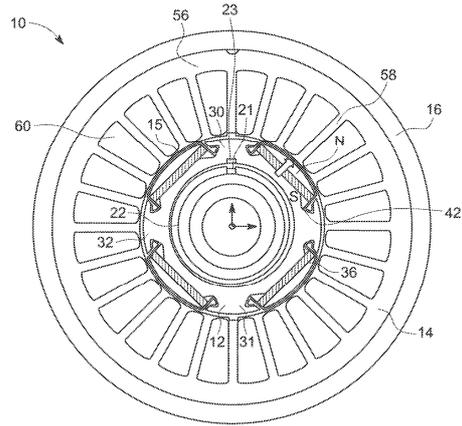
сборку роторного узла, который затем устанавливают в указанной полости с возможностью вращения вокруг продольной оси.



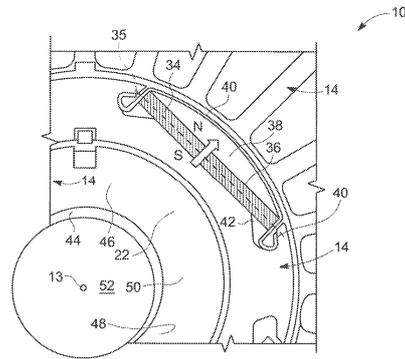
Фиг. 1



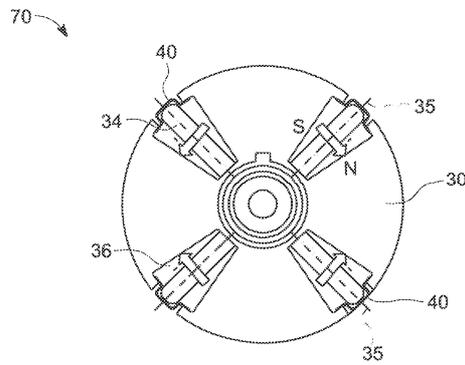
Фиг. 2



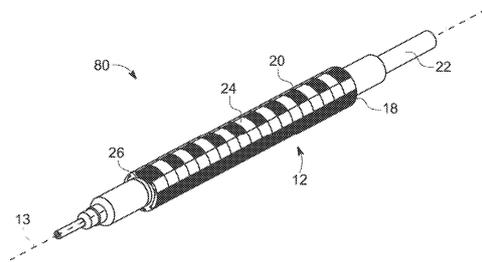
Фиг. 3



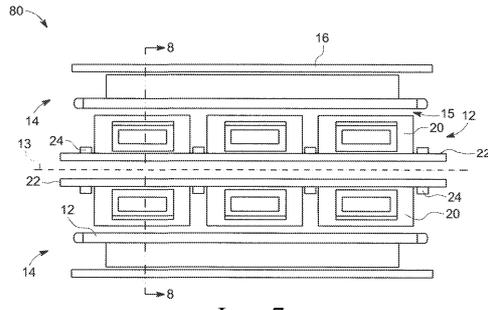
Фиг. 4



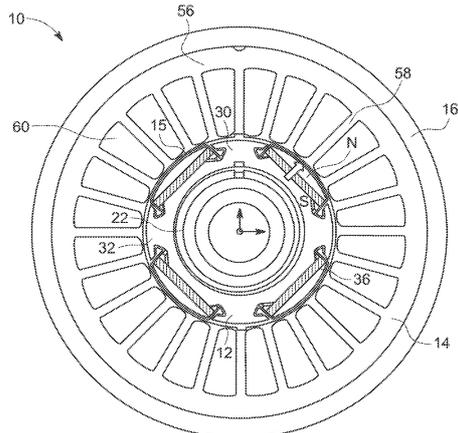
Фиг. 5



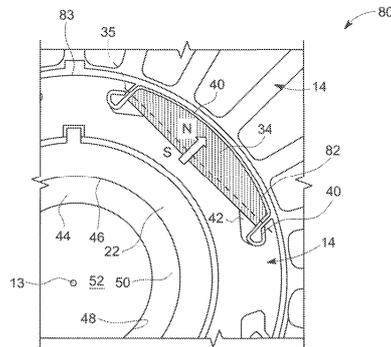
Фиг. 6



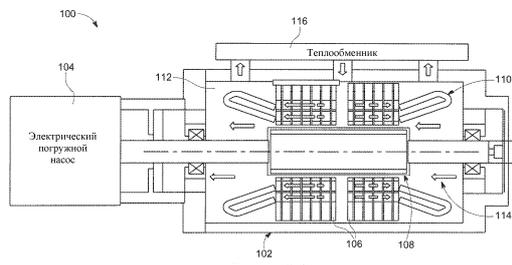
Фиг. 7



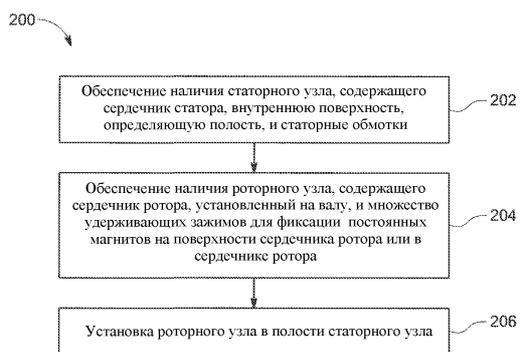
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

