

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045096**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.27

(51) Int. Cl. **F01D 5/22 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202292393

(22) Дата подачи заявки
2021.02.18

(54) **УЗЕЛ ПОВОРОТНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ТУРБОМАШИНЫ И СПОСОБ ЕГО СБОРКИ**

(31) **102020000003895**

(56) US-A-5310318
EP-A1-3269927
US-A1-2005249599
US-A1-2017114799

(32) **2020.02.25**

(33) **IT**

(43) **2023.02.09**

(86) **PCT/EP2021/025060**

(87) **WO 2021/170294 2021.09.02**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НУОВО ПИНЬОНЕ ТЕКНОЛОДЖИ -
С.Р.Л. (IT)**

(72) Изобретатель:
Пьери Марко (IT)

(74) Представитель:
**Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов
А.В., Кузнецова Е.В., Кузнецова Т.В.,
Соколов Р.А. (RU)**

(57) Предложен узел (1) роторной машины для турбомашины, такой как ротор. Узел (1) роторной машины содержит колесо (2) ротора, в котором обеспечено множество расположенных по всему периметру окружности пазов (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост". Узел роторной машины также содержит множество лопаток (3). Каждая лопатка соприкасается с соседней с ней лопаткой с образованием угла раздела. Каждая лопатка содержит охватываемую часть (32) соединения "ласточкин хвост", выполненную с возможностью посадки в соответствующий паз охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора вдоль направления (I) вставки. Пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеют такую форму, что направление вставки каждой соответствующей охватываемой части соединения "ласточкин хвост" сходится с осью (R) вращения колеса ротора таким образом, что образует с ним угол вставки (α), позволяющий постепенно вставлять все охватываемые части соединения "ласточкин хвост" в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" и также постепенно связывать их друг с другом. Также предлагается способ сборки узла роторной машины, который не требует какого-либо специального инструмента.

045096 B1

045096 B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к способу приведения в контактное взаимодействие бандажных полок на лопатках ротора с осевым входом в роторной машине, в частности паровой турбине, и к роторной машине, в которой поворотный элемент роторной машины, такой как ротор, был получен таким способом.

Предпосылки создания изобретения

В современном обществе электрическая энергия приобретает все большее значение. Согласно оценкам подавляющая часть электроэнергии вырабатывается паровыми турбинами, которые представляют собой роторные машины.

Паровая турбина представляет собой устройство, которое выделяет тепловую энергию из находящегося под давлением пара и использует ее для совершения механической работы на вращающемся выходном валу. Паровая турбина обеспечивает лучшую термодинамическую эффективность посредством использования множества ступеней расширения пара. Поскольку количество электроэнергии, вырабатываемой паротурбинными генераторами, является значительным, максимальное повышение КПД этих генераторов отвечает интересам всего общества.

Одним из ключевых факторов, влияющим на КПД паровых турбин и роторных машин в целом, является конструкция лопаток турбин. Это особенно актуально, если учитывать, что с целью повышения КПД роторной машины современные роторы вращаются с очень высокой частотой вращения, что обуславливает ряд конструктивных и эксплуатационных недостатков.

Более конкретно, паровые турбины обычно содержат несколько рабочих ступеней, которые отличаются друг от друга параметрами пара, воздействию которого подвергается ротор.

Хорошо известно, что каждая ступень содержит по меньшей мере один статор и один ротор. Статоры и роторы содержат лопатки, которые отклоняют поток пара, что вызывает вращение ротора.

Во время вращения лопаток, и в частности лопаток ротора, на них действует непостоянное во времени распределенное давление. Как следствие, на аэродинамическую поверхность лопаток во время их вращения воздействуют значительные механические и динамические нагрузки, которые могут отличаться вдоль длины самой лопатки.

В свете вышесказанного, для обеспечения повышенного КПД роторной машины конструкция лопаток, как правило, должна препятствовать их автономному функционированию. Чтобы удерживать лопатки в требуемом положении при рабочей частоте вращения, используются защитные накладные элементы, также известные как бандажные полки, которые удерживают лопатки соединенными друг с другом.

Однако также известно, что при рабочей частоте вращения лопатки ротора имеют тенденцию к удлинению. Этот эффект известен как удлинение лопаток ротора под действием центробежных сил. В результате этого явления бандажная полка перемещается в положение с более большим диаметром и, следовательно, с увеличенным шагом лопаток ротора. В результате при высокой частоте вращения соседние бандажные полки перьев теряют контакт друг с другом и приобретают автономность, таким образом снова подвергаясь воздействию непостоянного во времени поля распределения давлений. Поэтому желательно, чтобы при рабочей частоте вращения лопатки постоянно находились в контакте друг с другом. Кроме того, при высокой частоте вращения трехмерный характер профиля обуславливает эффект раскручивания, а именно потерю контакта или контактного взаимодействия между бандажными полками.

Для преодоления этого недостатка бандажная полка пера включает в себя некоторый дополнительный материал или припуск, достаточный для удержания бандажных полок перьев всех соседних лопаток в соединении друг с другом.

Это решение эффективно работает на практике; однако во время эксплуатации или сборки ротора такая конструкция приводит к ряду конструктивных и эксплуатационных недостатков.

В частности, каждая лопатка, как правило, содержит хвостовик, имеющий охватываемую часть соединения "ласточкин хвост", выполненную с возможностью вставки в соответствующую охватываемую часть соединения "ласточкин хвост", реализованную в канавке ротора, перо для улавливания потока пара и в верхней части пера упомянутую выше бандажную полку пера. Для сборки ротора охватываемую часть соединения "ласточкин хвост" лопаток следует вставить в соответствующую охватываемую часть соединения "ласточкин хвост", выточенную вдоль периметра колеса ротора. Конструкция лопатки и ряд в сборе выполнены таким образом, чтобы обеспечить контактное взаимодействие бандажных полок соседних лопаток. В предшествующем уровне техники известно несколько систем соединения, таких как тангенциальный Т-образный хвостовик и осевой хвостовик с елочным замком. Последнее решение, в свою очередь, может потребовать сложной дополнительной механической обработки лопаток, специальных процедур монтажа и сборки, поскольку бандажные полки лопаток требуется собрать так, чтобы по меньшей мере во время эксплуатации все бандажные полки лопаток находились в контакте друг с другом. Кроме того, вставка последней лопатки массива в ряде случаев представляет собой очень трудоемкую и сложную операцию.

В предшествующем уровне техники было предложено несколько решений для преодоления вышеуказанной технической проблемы. Примеры способов вставки в осевом направлении лопаток в пазы ко-

леса ротора, имеющие форму охватывающей части соединения "ласточкин хвост", описаны, например, в патентах США US 7122577 B2 и US 9689268 B2 и в любом случае требуют устранения ряда технологических препятствий.

Например, также предложено решение в соответствии с предшествующим уровнем техники, заключающееся в изготовлении бандажных полок специальной формы, способных сцепляться между собой. Однако это решение требует специальной механической обработки лопаток, также оказалось, что измерение и окончательная регулировка лопаток на стадии сборки является достаточно сложной процедурой. Кроме того, оказалось, что данное решение усложняет сборку лопаток и не обеспечивает однородное контактное взаимодействие бандажных полок. Наконец, для сборки лопаток в колесе ротора необходимо специальное сборочное оборудование и специальное обучение персонала для работы на нем.

В другом решении предшествующего уровня техники применяется способ, обеспечивающий контактное взаимодействие бандажных полок. Он относится к Z-образной системе фиксации, которая блокирует бандажную полку пера. Затем бандажную полку пера устанавливают с зазором и в результате раскручивания лопаток ротора при высокой частоте вращения они приводятся в контактное взаимодействие. Однако для реализации этого решения требуются лопатки с достаточно сложной геометрией бандажной полки, что в свою очередь влечет за собой сложную механическую обработку лопаток и значительные производственные затраты.

В другом решении в соответствии с предшествующим уровнем техники между двумя соседними бандажными полками фиксируется устройство для трения демпфирования. Благодаря этому демпфирующему устройству бандажные полки остаются механически соединенными даже в случае вышеупомянутого явления удлинения лопаток ротора.

Однако в этом случае данное решение предусматривает сложную геометрию бандажных полок, которые должны содержать демпфирующие устройства. В свою очередь, это требует очень сложной механической обработки лопаток. Кроме того, к ротору добавляют дополнительный компонент, а именно демпфирующее устройство, что повышает сложность узла.

Изложение сущности изобретения

В данной технологии предлагается улучшенный роторный узел и способ сборки, позволяющий преодолевать недостатки и технические проблемы предшествующего уровня техники. В более общем плане желательно обеспечить способ сборки, который может быть реализован без неоправданного усложнения формы лопаток, особенно основания и бандажной полки пера, и который не нуждается в добавлении какого-либо компонента.

Также желательно использовать систему лопаток ротора с осевым входом, которая способна выдерживать очень высокие центробежные нагрузки и/или поддерживать предельные параметры пара, такую как лопатки ступени низкого давления, лопатки активной/регулирующей ступени или лопатки ступени высокого и среднего давления.

Также желательно обеспечить простой, дешевый и надежный способ приведения в контактное взаимодействие бандажных полок в ряду лопаток ротора.

В одном аспекте объект изобретения, описанный в настоящем документе, относится к узлу поворотного элемента для турбомшины, включающему колесо ротора, предназначенное для вращения вокруг оси вращения. Колесо ротора имеет множество расположенных по всему периметру окружности пазов, имеющих форму охватывающей части соединения "ласточкин хвост", отфрезерованных рядом с его краем в направлении осевого входа или преимущественно в направлении осевого входа. Кроме того, узел поворотного элемента содержит множество лопаток для улавливания потока текучей среды турбомшины.

Каждая лопатка содержит охватываемую или первую часть соединения "ласточкин хвост", выполненную с возможностью посадки в соответствующие охватывающие части или первые пазы соединения "ласточкин хвост" колеса ротора, вдоль направления вставки, в осевом направлении или под углом по отношению к оси вращения колеса ротора. Этот угол традиционно определяется как угол скоса. Каждая лопатка также содержит перо, имеющее первый конец, соединенный с охватываемой частью соединения "ласточкин хвост", и второй конец, и бандажную полку пера, прикрепленную ко второму (свободному) концу пера. При этом каждый из пазов охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеет такую форму, что направление вставки каждой соответствующей охватываемой части соединения "ласточкин хвост" сходится с осью вращения колеса ротора таким образом, что при вставке образует с ним такой угол конвергенции, что в процессе вставки лопатка перемещается к более близкому положению относительно оси ротора, и когда охватываемая часть соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки вставлена в соответствующие паза охватывающей части соединения "ласточкин хвост", бандажные полки перьев каждой лопатки контактируют друг с другом.

Каждая охватываемая часть соединения "ласточкин хвост" вставляется в соответствующий паз охватывающей части соединения "ласточкин хвост" вдоль направления вставки, который сходится с осью вращения колеса ротора, образуя с ней угол вставки. В настоящем документе этот угол будет именоваться "угол конвергенции".

В другом аспекте объекта изобретения, описанного в настоящем документе, направление вставки,

вдоль которого каждая охватываемая часть соединения "ласточкин хвост" вставляется в соответствующие пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост", не параллельна плоскости, содержащей ось вращения колеса ротора.

В другом аспекте на каждой бандажной полке пера каждой лопадки обеспечен припуск (дополнительный материал) для приведения соседних бандажных полок в контактное взаимодействие, по меньшей мере когда охватываемая часть соединения "ласточкин хвост" полностью вставлена в соответствующие пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора.

Еще один аспект настоящего изобретения относится к способу сборки узла поворотного элемента, в котором все охватываемые части соединения "ласточкин хвост" сначала частично вставляются в соответствующие пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост", а затем, после того как все лопадки будут, по меньшей мере, частично вставлены в соответствующие пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост", все охватываемые части соединения "ласточкин хвост" каждой лопадки не будут полностью вставлены в соответствующие пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" с расчетным контактным взаимодействием бандажных полок перьев. Фактически во время вставки площадь контактного взаимодействия бандажных полок увеличивается. Соединение "ласточкин хвост" обеспечивает силовую реакцию на контактное взаимодействие бандажных полок.

Краткое описание графических материалов

Описанные варианты осуществления изобретения и многие сопутствующие ему преимущества можно более полно оценить и понять в ходе изучения следующего подробного описания, рассматриваемого в связи с прилагаемыми чертежами, причем

на фиг. 1 представлен вид в перспективе с пространственным разделением компонентов узла лопаток ротора в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 2 представлен дополнительный вид в перспективе узла лопаток ротора в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 3 представлен вид сверху колеса ротора механически обработанного ротора без узла лопаток в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 4 представлен подробный вид спереди пазов охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора, показанного на фиг. 3;

на фиг. 5 представлена плоскость, перпендикулярная оси вращения колеса ротора (направление X), в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 6 представлена наклонная плоскость в соответствии с первым вариантом осуществления, где наклонная плоскость получена посредством поворота плоскости, перпендикулярной оси вращения, вокруг радиального направления (направление Z), причем величина угла поворота называется углом скоса и показана на фигуре;

на фиг. 7 представлена точка P в соответствии с первым вариантом осуществления, расположенная на радиальной оси Z с радиальной координатой, соответствующей исходной координате хвостовика лопатки ротора, где ось C в соответствии с первым вариантом осуществления проходит через точку P, содержится на наклонной плоскости и перпендикулярна оси Z;

на фиг. 8 представлена новая плоскость в соответствии с первым вариантом осуществления, называемая плоскостью схождения, которая получена посредством поворота наклонной плоскости вокруг оси, причем величина угла поворота называется углом конвергенции и показана на фигуре;

на фиг. 9 представлен вид сверху колеса ротора и лопаток перед их вставкой в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 10 представлен вид в перспективе колеса ротора и лопаток перед их вставкой в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 11 представлен вид, выровненный с направлением вставки, колеса ротора и лопаток перед их вставкой в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 12 представлен вид в перспективе колеса ротора и лопаток, когда лопадки частично вставлены в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора, в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 13 представлен вид сверху лопаток, полностью вставленных в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора, в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 14 представлен вид в перспективе лопаток, полностью вставленных в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора, в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 15 представлен вид, выровненный с направлением вставки лопаток, вставленных в пазы охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора, в соответствии с первым вариантом осуществления; и

на фиг. 16 представлена блок-схема способа сборки роторного узла первого варианта осуществления.

Подробное описание вариантов осуществления

Авторы настоящего изобретения полагают, что они обнаружили новый и полезный способ сборки лопаток ротора паровой турбины. Решение достигается путем вставки охватываемой части соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки в соответствующий паз охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора под углом вставки, обеспечивающим возможность связывания лопаток паровой турбины без модификации части лопаток и/или какой-либо дополнительной соединительной конструкции.

В частности, роторная машина, полученная таким образом, выполнена с возможностью обеспечивать контактное взаимодействие бандажных полок лопаток с осевым входом (или с преимущественно осевым направлением вставки) даже в конфигурации с наклонными бандажными полками (т.е. с ромбoidalной формой бандажной полки пера) на роторной машине.

Более конкретно, с помощью геометрического признака пазов охватывающей части соединения "ласточкин хвост" (также известных как выточенная в осевом направлении канавка) колеса ротора поворотного элемента и охватываемой части соединения "ласточкин хвост" (также известного как хвостовик лопатки ротора), и в частности угла конвергенции между направлением скольжения и вектором оси ротора, и угла скоса между осью вращения и направлением вставки в плоскости, касательной к диаметру ротора, и угла раздела между соседними бандажными полками, можно получить уменьшенный шаг во время вставки лопатки.

Способ предназначен для обеспечения контактного взаимодействия бандажных полок лопаток в поворотном элементе роторных машин, таких как роторы паровой турбины. Бандажная полка представляет собой защитную накладку, помещенную на свободный конец пера лопатки. Она может иметь разные формы, позволяющие во время вращения поворотного элемента ротора удерживать лопатки надлежащим образом соединенными друг с другом посредством бандажных полок соседних лопаток. Бандажные полки изготавливаются из ковального прутка, отфрезерованного так, чтобы получить перо, бандажную полку и охватываемую часть соединения "ласточкин хвост". Бандажная полка подвергается воздействию тех же термодинамических режимов, что и перо. Между кольцевой защитной накладкой бандажной полки ротора и уплотнениями статора имеется небольшой зазор для сведения к минимуму утечки рабочей текучей среды (пара, газа, ...).

В соответствии с одним аспектом объекта изобретения, описанного в настоящем документе, когда охватываемая часть соединения "ласточкин хвост" лопатки вставлена в паз охватывающей части соединения "ласточкин хвост", которая комплементарна первой части и выполнена вдоль периметра колеса ротора, траектория вставки не параллельна оси вращения колеса ротора, а наклонена относительно (т.е. траектория вставки не лежит в той же плоскости, в которой также лежит ось вращения колеса ротора) и сходится с осью вращения ротора, уменьшая окружной шаг лопаток. Кроме того, угол раздела между бандажными полками перьев имеет приемлемое значение. Во время вставки бандажные полки перьев сначала преодолевают зазор, входят в контакт и затем в контактное взаимодействие. Таким образом, для сборки колеса ротора можно частично вставить охватываемые части соединения "ласточкин хвост" всех лопаток роторного узла или поворотного элемента в целом в соответствующие охватывающие части соединения "ласточкин хвост" или канавку колеса ротора, предотвращая тем самым избыточное контактное взаимодействие каждой бандажной полки с соседними бандажными полками, во время процесса вставки лопаток, чтобы затем полностью вставить все лопатки практически одновременно и таким образом обеспечить равномерное и распределенное контактное взаимодействие между бандажными полками. Таким образом предотвращается изгибание связанных между собой бандажных полок перьев и перьев лопаток, которое могло бы произойти при их автономном функционировании в результате воздействия на них поля давления во время эксплуатации роторного узла.

Этот способ позволяет постепенно вставлять охватываемую часть соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки в соответствующий паз охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса ротора роторного узла. Таким образом также достигается управление контактным взаимодействием бандажных полок перьев каждой лопатки, которые связываются друг с другом, а также упрощенная сборка, для которой не требуются специальные монтажные инструменты или подготовительные операции.

Используемые в настоящем документе термины "осевой" и "в осевом направлении" относятся к направлениям и ориентациям, проходящим по существу параллельно продольной оси двигателя паровой турбины. Также термины "радиальный" и "в радиальном направлении" относятся к направлениям и ориентациям, проходящим по существу перпендикулярно продольной оси двигателя паровой турбины, а именно оси вращения роторного узла. Кроме того, в настоящем документе термины "вдоль окружности" и "по периметру окружности" относятся к направлениям и ориентациям, проходящим по дуге вокруг продольной оси роторной машины.

На чертежах, представленных на фиг. 1, 2, 3 и 4, показан поворотный элемент роторной машины, и в частности роторный узел 1, который предназначен без ограничения объема решения, описанного в настоящем документе, например, для установки в паровую турбину (не показана на фигурах). Решение, применяемое к узлам 1 ротора, описанным в настоящем документе, в соответствии с представленными вариантами осуществления, также может применяться к роторным машинам для другого типа турбин,

таких как газовые турбины и т.п.

Роторный узел 1 содержит колесо 2 ротора, которое имеет по существу дискообразную форму. Колесо 2 ротора имеет ось вращения, обозначенную буквой R, вокруг которой оно вращается во время эксплуатации.

Колесо ротора также содержит множество лопаток 3, механически соединенных с окружностью колеса 2 ротора, как более подробно описано ниже.

Колесо 2 ротора также имеет множество расположенных по всему периметру окружности пазов (или канавок) 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост". Паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" равномерно расположены по всему периметру окружности вдоль периферической границы или края 22 колеса 2 ротора.

Как можно видеть, паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" выполнены в форме елочного замка, что обеспечивает лучшее зацепление с соответствующей охватываемой частью или охватываемой частью соединения "ласточкин хвост", которая более подробно описана ниже. В других вариантах осуществления паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" могут иметь другую форму. В любом случае форма по существу осевых пазов или канавок должна быть в целом такой, чтобы они прочно удерживали лопатку в механическом соединении с колесом 2 ротора, нейтрализуя силу, которая действует на лопатки 3 во время эксплуатации, поскольку, как обсуждается в вводной части, лопатки 3 подвергаются действию центробежных сил, когда колесо 2 ротора, к которому присоединены лопатки 3, вращается.

Паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" равномерно расположены вдоль края 22 колеса ротора, т.е. лопатки 3 последовательно соединены с ними.

Каждая лопатка 3 роторного узла 1 содержит платформу 31, имеющую охватываемую часть 32 соединения "ласточкин хвост" (также обычно называемую хвостовиком). Каждая охватываемая часть 32 соединения "ласточкин хвост", в свою очередь, имеет форму елочного замка, комплементарную пазу 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост", и выполнена с возможностью посадки в нее. Более конкретно, охватываемая часть 32 соединения "ласточкин хвост" предназначена для вставки в паз 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост", как подробнее описано ниже.

Лопатка 3 также содержит перо 33, предназначенное для улавливания пара и имеющее первый конец 331 и второй конец 332. Первый конец 331 пера 3 соединен с платформой 31.

Лопатка 3 также содержит бандажную полку 34 пера, прикрепленную ко второму концу 332 пера 33.

В варианте осуществления, показанном на фигурах, бандажная полка 34 пера имеет ромбоидальную форму, при этом направление вставки, указанное заглавной буквой I, имеет угол конвергенции α и угол скоса β большие нуля. Более конкретно, во время эксплуатации на перо 33 каждой лопатки 3 действует поле давления пара, которое, как хорошо известно, обычно непостоянно во времени, а именно неравномерно распределено по периметру роторного узла 1. Благодаря ромбоидальной формы каждой бандажной полки 34 пера, в случае когда перья 2 двух соседних лопаток 3 подвергаются существенно отличающимся нагрузкам, перемещение первой лопатки 3 амортизируется, блокируется или по меньшей мере ограничивается посредством "тормозного" эффекта со стороны второй лопатки 3, которая стремится удерживать первую лопатку 3 вследствие соединения бандажной полки 34 пера.

В других вариантах осуществления бандажная полка 34 пера может иметь отличные формы. Более конкретно, бандажная полка 34 пера может иметь так называемую Z-образную систему фиксации на ответной стороне, где она контактирует с соседней бандажной полкой 34 пера.

Такой же эффект возникает и в случае, если угол скоса β равен нулю, а бандажные полки 34 перьев, соответственно, имеют не ромбоидальную, а прямоугольную форму.

На каждой бандажной полке 34 пера каждой лопатки 3 обеспечен припуск для ее приведения в контактное взаимодействие, по меньшей мере, когда охватываемая часть 32 соединения "ласточкин хвост" полностью вставлена в соответствующие паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса 2 ротора. Этот припуск гарантирует, что каждая бандажная полка 34 пера останется зацепленной с соседними полками даже в случае удлинения лопаток 3 ротора под действием центробежных сил во время вращения роторного узла 1 и даже в случае раскручивания перьев.

Благодаря припуску, который специалисты в данной области также называют дополнительным материалом, эффективный размер каждой бандажной полки 34 больше, чем теоретическое значение. Другими словами, припуск или дополнительный материал представляет собой разницу между фактическим шагом бандажной полки 34 и теоретическим шагом, причем последний может быть получен как отношение длины окружности массива бандажных полок, образованного всеми бандажными полками 34, к числу лопаток 3.

В первом варианте осуществления и, в частности, как показано на фиг. 3 и 4, паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеют форму, позволяющую обеспечить направление вставки охватываемой части 32 соединения "ласточкин хвост" вдоль оси или направления вставки, обозначенных буквой I, которое сходится к оси вращения колеса 2 ротора и в то же время лежит в плоскости, которая

не содержит ось R вращения колеса 2 ротора. Другими словами, ось R вращения колеса 2 ротора и ось вставки или направление I лежат в непараллельных плоскостях. Вставка в направлении I определяет более близкое радиальное расстояние лопатки относительно оси R колеса ротора, что таким образом приводит к уменьшению шага и увеличению контактного взаимодействия бандажных полок.

На фиг. 5, 6, 7 и 8 показано, что ориентация плоскости перпендикулярна направлению I вставки охватываемой части 32 соединения "ласточкин хвост" в паз 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост".

В частности, на фиг. 5 показана плоскость 41, перпендикулярная оси R вращения колеса 2 ротора, причем ось R вращения выровнена с осью X декартовой системы координат из трех взаимно перпендикулярных осей XYZ.

На фиг. 6 показана наклонная плоскость 42, полученная поворотом перпендикулярной плоскости 41 на первый угол вокруг оси Z. Кроме того, как показано на фиг. 7, на пересечении плоскостей 42 и 41 на расстоянии Z, соответствующем радиальному положению 21, расположена точка P. Угол между перпендикулярной плоскостью 41 и наклонной плоскостью 42 представляет собой угол скоса β .

На фиг. 7 показана ось C схождения, которая проходит через точку P и содержится в плоскости 42 (наклонной) и содержится также в плоскости, параллельной декартовым осям X и Y, а именно при Z, равной константе (той же, на которой расположена точка P). Точка P на фиг. 7 расположена на радиальном расстоянии от паза относительно оси ротора.

Наконец, на фиг. 8 показана плоскость 43 схождения, полученная поворотом наклонной плоскости 42 вокруг оси C схождения. Направление, перпендикулярное к плоскости 43, определяет вектор вставки. Угол α , который отражает поворот наклонной плоскости 42, называют углом вставки. На фиг. 8 поворот выполнен, например, на угол конвергенции α , равный 5° . То же применимо в случае, если угол скоса равен нулю, т.е. при чистом осевом входе. В этом случае направление I будет пересекать ось R вращения с углом, равным α .

Способ сборки роторного узла 1 и его эксплуатации приведен ниже.

На фиг. 9, 10, 11 и 12, а также на фиг. 16 можно видеть набор лопаток 3, охватываемые части 32 соединения "ласточкин хвост" которых должны быть вставлены в соответствующие пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" в направлении вставки, показанной стрелкой I.

Контактное взаимодействие бандажных полок перьев определяется (в процентах) как

$$(\text{Шаг}_{\text{факт}} / \text{Шаг}_{\text{теор}} - 1) \cdot 100 > 0$$

где: $\text{Шаг}_{\text{факт}} = \text{Шаг}_{\text{теор}} + \text{экстраматериал}$

Расчетное контактное взаимодействие бандажных полок может составлять от 0,1 до 10%.

Контактное взаимодействие осуществляется на сопряженных поверхностях бандажных полок во время сборки, когда лопатки полностью вставлены внутрь паза, поскольку во время вставки в сходящиеся пазы лопатки перемещаются в относительное более близкое положение. В условиях контактного взаимодействия весь массив бандажных полок установлен в тангенциально сжатом состоянии, и итоговая конфигурация бандажных полок такова, что бандажные полки скручены относительно радиального направления Z (см. фиг. 11). В этом случае массив бандажных полок может вести себя как жесткое непрерывное кольцо.

В частности, на фиг. 11 показан угол раздела γ , под которым соприкасаются две соседних бандажные полки 34 перьев. Угол раздела γ позволяет дополнительно контролировать контактное взаимодействие бандажных полок 34 перьев, что обеспечивает дополнительный вариант конструкции. В зависимости от величины угла γ относительно радиального направления Z вышеуказанное контактное взаимодействие можно увеличить или уменьшить. Таким образом, посредством комбинированной оценки угла скоса β угла конвергенции α , а также угла раздела γ можно определять контактное взаимодействие на ступени.

Возможные комбинации, которые способны обеспечивать контактное взаимодействие между бандажными полками перьев, являются следующими:

$$\alpha = 0 \text{ и } \beta \neq 0 \text{ и } \gamma \neq \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta \neq 0 \text{ и } \gamma = \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta \neq 0 \text{ и } \gamma \neq \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta = 0 \text{ и } \gamma \neq \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta = 0 \text{ и } \gamma = \text{радиальный} .$$

Вернемся к процедуре вставки на первой стадии 51 (см. фиг. 16) охватываемые части 32 соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки 3 могут быть частично вставлены в соответствующий паз 21 охваты-

вающей части соединения "ласточкин хвост". С практической точки зрения, такая вставка выполняется пользователем путем частичной вставки охватываемых частей 32 соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки 3, по одной за операцию. На этой стадии на границах раздела бандажных полок еще остаются зазоры. В частности, первую охватываемую часть 32 соединения "ласточкин хвост" вставляют в соответствующий паз 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост", следующую часть вставляют в дополнительный соответствующий паз 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" и т.п. Таким образом, бандажная полка 34 пера лопатки 3 приближается к бандажной полке 34 пера соседней лопатки, но не входит с ней в контакт.

Однако благодаря тому, что направление I вставки ориентировано вдоль угла конвергенции α , который сходится с осью R вращения колеса 1 ротора, и угла скоса β , образованного между осью R вращения и направлением I вставки, спроецированным на плоскость, касательную к диаметру колеса 22 ротора, проходящему через точку P, когда охватываемая часть 32 соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки 3 не полностью вставлена в паз 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост", каждая лопатка 3 и затем также каждая бандажная полка 34 пера остается на небольшом расстоянии от соседних с ними лопаток 3, что позволяет, как указано, вставить все лопатки 3 в пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса 2 ротора. Частичное контактное взаимодействие каждой бандажной полки 34 пера с соседними бандажными полками осуществляется благодаря угловому расположению направления I вставки относительно оси R вращения колеса 2 ротора. Другими словами, благодаря тому, что направление I вставки сходится с осью R вращения, а также наклонено, каждая бандажная полка 34 пера в конкретный момент времени находится в контакте с бандажными полками 34 перьев двух соседних лопаток 3, в то время как охватываемая часть 32 соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки 3 частично вставлена в паз 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост".

После того, как все лопатки 3 будут, по меньшей мере, частично вставлены и их бандажные полки 34 войдут в контакт друг с другом, следующая соседняя лопатка 3 частично вставляется (см. стадию 52 на фиг. 16) на дополнительную глубину и т.п. по всей окружности колеса 2 ротора роторного узла 1. Далее каждую лопатку 3 кольцевого массива по очереди вставляют до тех пор, пока все лопатки 3 не будут полностью вставлены в соответствующие пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост". Благодаря углу конвергенции α направления I вставки в направлении оси R вращения колеса 2 ротора каждая лопатка 3 связывается с соседними лопатками в процессе постепенной вставки в соответствующие пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост".

В конце процесса вставки и как показано на фиг. 13, 14, 15 и 16, все охватываемые части 32 соединения "ласточкин хвост" лопаток 3 оказываются полностью вставленными в пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост", а бандажные полки 34 перьев остаются равномерно связанными друг с другом с расчетным контактным взаимодействием бандажных полок так, чтобы перья 33 сохраняли предварительный натяг за счет контактного взаимодействия бандажных полок 34 таким образом, чтобы исключить действие нагрузок со стороны поля давления пара на перья 33 при их автономном функционировании во время эксплуатации паровой турбины, когда роторный узел 1 установлен.

По мере вставки охватываемых частей 32 соединения "ласточкин хвост" всего кольцевого массива лопаток 3 в пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" контактное взаимодействие бандажных полок 34 перьев усиливается. При начальной частичной вставке контактное взаимодействие имеет более низкое значение, которое увеличивается по мере вставки каждой охватываемой части 32 соединения "ласточкин хвост". Этот технический эффект проявляется благодаря тому, что направление I вставки сходится с осью R вращения колеса 2 ротора.

В некоторых вариантах осуществления пазы 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеют форму, позволяющую обеспечить направление вставки охватываемой части 32 соединения "ласточкин хвост" вдоль оси, которая сходится к оси вращения колеса 2 ротора и в то же время направление вставки лежит в плоскости, которая также содержит указанную ось вращения колеса 2 ротора. Кроме того, охватываемая часть 32 соединения "ласточкин хвост" имеет форму, которая сопряжена с конкретной формой соответствующего паза 21 охватывающей части соединения "ласточкин хвост".

После завершения сборки роторного узла 1 предусмотрена система или стадия осевой фиксации, предотвращающая выскальзывание лопаток 3 под действием давления пара во время эксплуатации либо под действием любых других внешних сил в направлении, противоположном направлению I вставки. С этой целью обычно выполняют стадию механической обработки роторного узла 1 для блокировки лопаток 3.

В некоторых вариантах осуществления эта стадия механической обработки фиксатора предусматривает крепление одножильной стальной проволоки, размещенной поперечно к направлению I, которая фиксирует лопатки 3 и предотвращает их выведение. В других вариантах осуществления фиксаторы установлены под каждой лопаткой 3. В дополнительном варианте осуществления установлены пластины, которые отгибаются под замок каждой лопатки 3.

Видно, что любая система осевой фиксации лопаток 3 может быть обеспечена для фиксации лопаток 3 в их положениях после выполнения процедур вставки.

Хотя аспекты настоящего изобретения описаны применительно к различным конкретным вариантам осуществления, для специалистов в данной области будет очевидно, что возможны многие модификации, изменения и исключения без отступления от сущности и объема формулы изобретения. Кроме того, если не указано иное, порядок или последовательность любых этапов процесса или способа можно варьировать или переупорядочивать в соответствии с альтернативными вариантами осуществления.

Ниже будет дана подробная ссылка на варианты осуществления настоящего изобретения, причем один или более примеров проиллюстрированы на чертежах. Каждый из примеров приводится для пояснения описания, а не ограничения настоящего описания. В сущности, специалистам в данной области должно быть очевидно, что в рамках настоящего описания можно создавать различные модификации и вариации без отступления от объема или сущности описания. Ссылка в данном описании на "один вариант осуществления", или "вариант осуществления", или "некоторые варианты осуществления" означает, что конкретный признак, структура или характеристика, описанные в связи с вариантом осуществления, включены по меньшей мере в один вариант осуществления описанного объекта изобретения. Таким образом, появление фразы "в одном варианте осуществления", "в варианте осуществления" или "в некоторых вариантах осуществления" в различных местах во всем данном описании не обязательно относится к одному(им) и тому(тем) же варианту(ам) осуществления изобретения. Конкретные признаки, структуры или характеристики можно дополнительно комбинировать любым приемлемым способом в одном или более вариантах осуществления.

При представлении элементов различных вариантов осуществления формы единственного числа и слово "указанный" обозначают существование одного или более элементов. Термины "содержащий", "включающий" и "имеющий" предназначены для указания включения и означают, что помимо перечисленных элементов могут существовать дополнительные элементы.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Узел (1) поворотного элемента для турбомашины, работающий с потоком текучей среды и содержащий колесо (2) ротора, имеющее периферический край (22) и выполненное с возможностью вращения вокруг оси (R) вращения,

причем колесо (2) ротора имеет множество расположенных по всему периметру окружности пазов (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" вдоль края (22) колеса (2) ротора; и множество лопаток (3), выполненных с возможностью улавливания потока текучей среды во время эксплуатации турбомашины,

при этом каждая лопатка (3) содержит

охватываемую часть (32) соединения "ласточкин хвост", форма которой обеспечивает посадку в соответствующий один из пазов (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса (2) ротора вдоль направления (I) вставки,

перо (33), имеющее первый конец (331), соединенный с охватываемой частью (32) соединения "ласточкин хвост", и второй конец (332), и

бандажную полку (34) пера, прикрепленную ко второму концу (332) пера (33);

причем узел (1) роторной машины отличается тем,

что каждый из пазов (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеет такую форму, что направление (I) вставки каждой соответствующей охватываемой части (32) соединения "ласточкин хвост" сходится с осью (R) вращения колеса (2) ротора таким образом, что при вставке образует с ним такой угол конвергенции (α), что в процессе вставки лопатка (3) перемещается к более близкому положению относительно оси (R) ротора, и тем,

что, когда охватываемая часть (32) соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки 3 вставлена в соответствующие пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост", бандажные полки (34) перьев каждой лопатки (3) контактируют друг с другом.

2. Узел (1) поворотного элемента по п.1, в котором направление (I) вставки, вдоль которого каждую охватываемую часть (32) соединения "ласточкин хвост" вставляют в соответствующие пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост", не параллельно плоскости, содержащей ось (R) вращения колеса (2) ротора, и образует с ней угол скоса (β).

3. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, в котором каждая бандажная полка (34) пера каждой лопатки (3) содержит дополнительный материал на ответной стороне, где она контактирует с соседней бандажной полкой (34) пера так, чтобы они приводились в контактное взаимодействие, по меньшей мере, когда охватываемая часть (32) соединения "ласточкин хвост" полностью вставлена в соответствующие пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса (2) ротора.

4. Узел (1) поворотного элемента по п.3, в котором каждая лопатка (3) содержит платформу (31), соединенную с охватываемой частью (32) соединения "ласточкин хвост" и с первым концом (331) пера (33).

5. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, в котором бандажная

полка (34) пера каждой лопатки (3) имеет ромбоидальную форму или прямоугольную форму.

6. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, в котором две соседние бандажные полки (34) перьев соприкасаются с образованием угла раздела (γ),

причем угол раздела (γ) позволяет дополнительно контролировать контактное взаимодействие бандажных полок (34) перьев в зависимости от наклона угла раздела (γ) относительно радиального направления (Z).

7. Узел (1) поворотного элемента по п.6 в случае зависимости от п.2, в котором комбинации углов, которые способны обеспечивать контактное взаимодействие между бандажными полками (34) перьев, чтобы удерживать лопатки (3) соединенными друг с другом, представляют собой один из следующих вариантов:

$$\alpha = 0 \text{ и } \beta \neq 0 \text{ и } \gamma \neq \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta \neq 0 \text{ и } \gamma = \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta \neq 0 \text{ и } \gamma \neq \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta = 0 \text{ и } \gamma \neq \text{радиальный} ; \text{ или}$$

$$\alpha \neq 0 \text{ и } \beta = 0 \text{ и } \gamma = \text{радиальный} .$$

8. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, в котором пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" равномерно расположены вдоль края (22) колеса ротора.

9. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, в котором пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеют форму елочного замка и при этом охватываемые части (32) соединения "ласточкин хвост", в свою очередь, имеют форму елочного замка, комплементарную пазу (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост".

10. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, в котором колесо (2) ротора имеет дискообразную форму.

11. Узел (1) поворотного элемента по любому из предшествующих пунктов, который представляет собой роторный узел (1).

12. Способ сборки узла (1) поворотного элемента, причем узел (1) роторной машины содержит колесо (2) ротора, имеющее периферический край (22) и выполненное с возможностью вращения вокруг оси (R) вращения, причем колесо (2) ротора имеет множество расположенных по всему периметру окружности пазов (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" вдоль края (22) колеса (2) ротора, и множество лопаток (3),

выполненных с возможностью улавливания потока текучей среды во время эксплуатации турбомашин, при этом каждая лопатка (3) содержит охватываемую часть (32) соединения "ласточкин хвост", форма которой обеспечивает посадку в соответствующие пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" колеса (2) ротора вдоль направления (I) вставки,

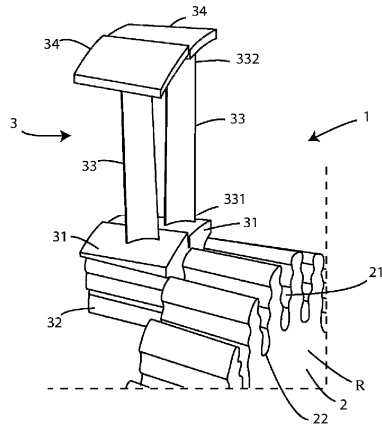
причем пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" имеют такую форму, что направление (I) вставки каждой охватываемой части (32) соединения "ласточкин хвост" сходится с осью (R) вращения колеса (2) ротора таким образом, что при вставке образует с ним угол конвергенции (α), при этом способ включает следующие стадии:

частичная вставка (51) охватываемых частей (32) соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки (3) в соответствующий паз (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост";

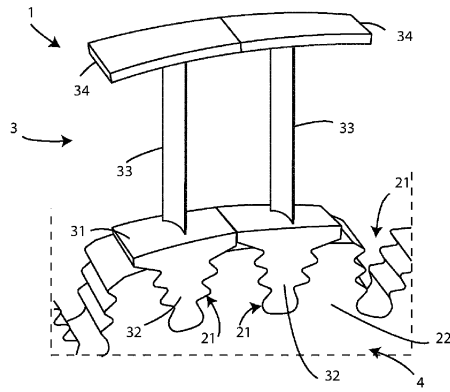
после того, как все лопатки (3) будут, по меньшей мере, частично вставлены в соответствующие пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост", дальнейшая вставка (52) для каждой лопатки (3) по меньшей мере на дополнительную глубину каждой охватываемой части (32) соединения "ласточкин хвост" в соответствующий паз (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост", затем охватываемой части (32) соединения "ласточкин хвост" соседней лопатки (3) и т.п. по всей окружности колеса (2) ротора роторного узла (1), пока охватываемые части (32) соединения "ласточкин хвост" каждой лопатки (3) не будут полностью вставлены в соответствующие пазы (21) охватывающей части соединения "ласточкин хвост" с расчетным контактным взаимодействием бандажных полок перьев.

13. Способ по п.12, включающий стадию осевой фиксации для предотвращения выскальзывания лопаток (3) в направлении, противоположном направлению (I) вставки.

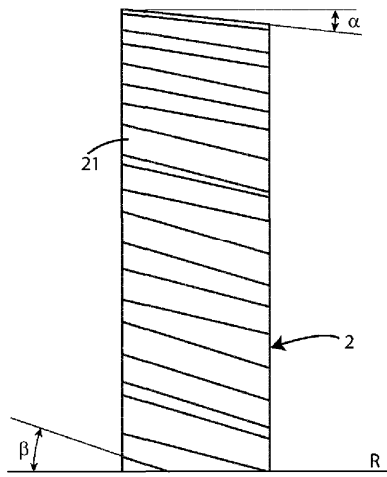
14. Способ по любому из пп.12 или 13, согласно которому две соседние бандажные полки (34) перьев соприкасаются с образованием угла раздела (γ), причем угол раздела (γ) позволяет дополнительно контролировать контактное взаимодействие бандажных полок (34) перьев в зависимости от наклона угла раздела (γ) относительно радиального направления (Z).



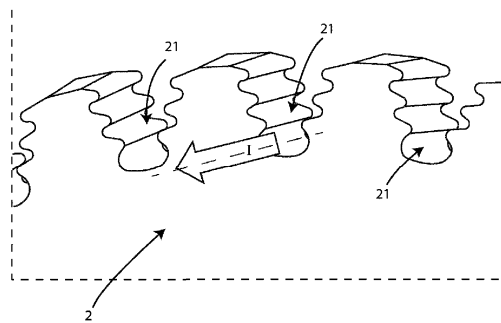
Фиг. 1



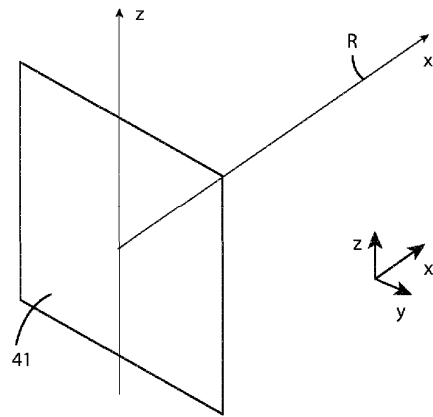
Фиг. 2



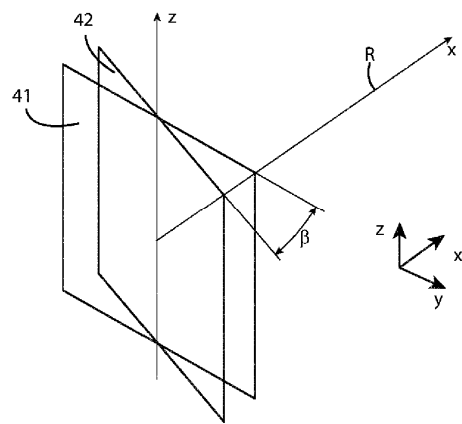
Фиг. 3



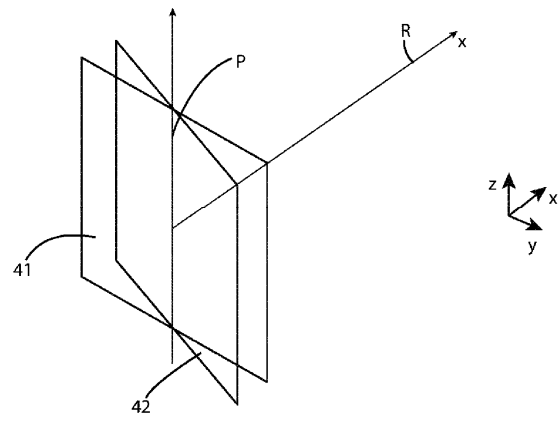
Фиг. 4



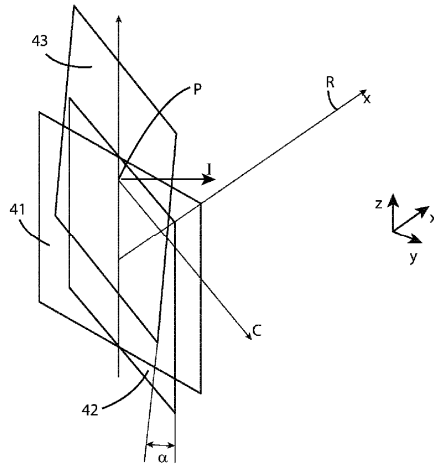
Фиг. 5



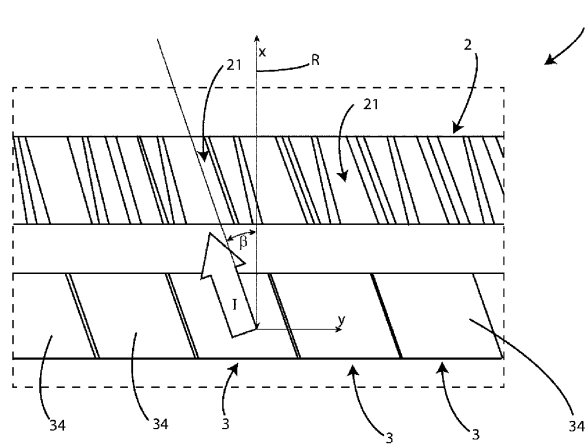
Фиг. 6



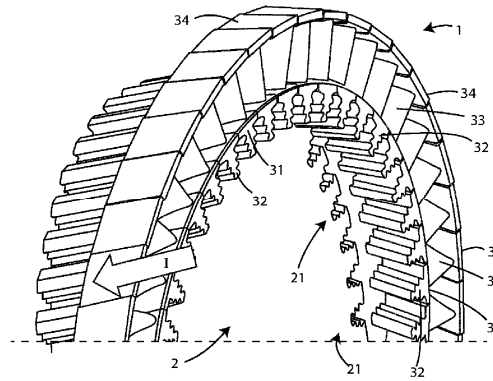
Фиг. 7



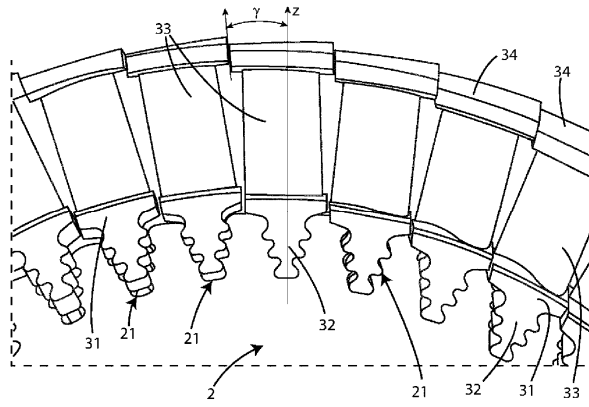
Фиг. 8



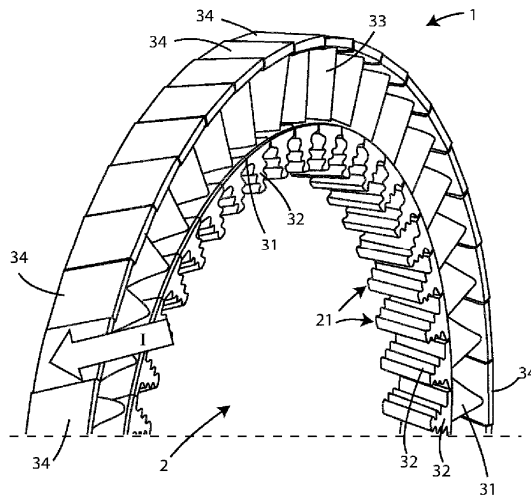
Фиг. 9



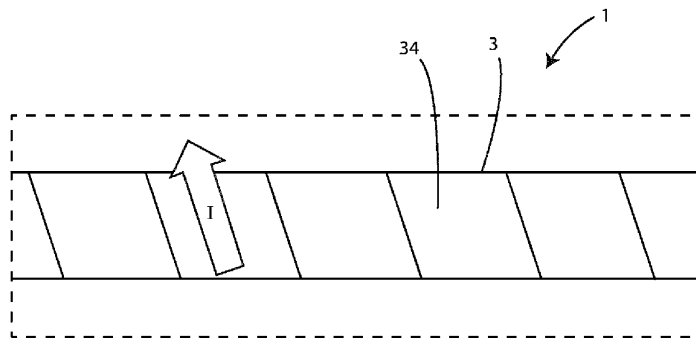
Фиг. 10



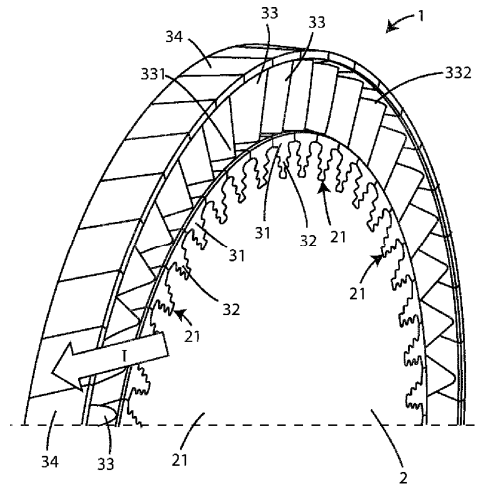
Фиг. 11



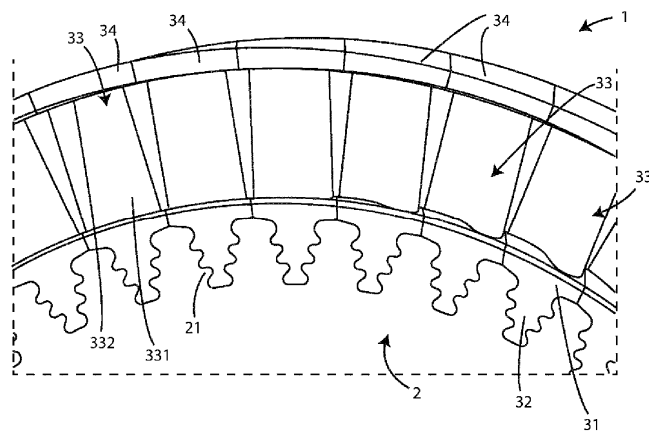
Фиг. 12



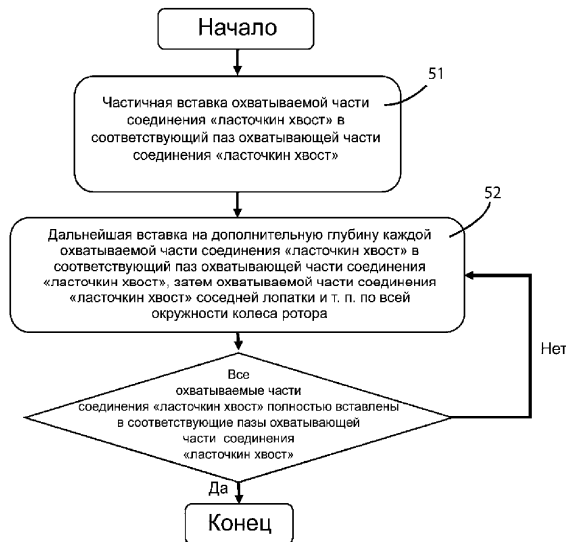
Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16