

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040564**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.06.24

(51) Int. Cl. **B64C 11/34** (2006.01)

(21) Номер заявки
202090831

(22) Дата подачи заявки
2018.08.15

(54) **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГОМ**

(31) **201710917712.3; 201710917578.7**

(56) CN-A-106043671

(32) **2017.09.25**

CN-A-106043671

(33) **CN**

CN-A-101492092

(43) **2020.12.18**

CN-A-105620728

(86) **PCT/CN2018/100621**

CN-A-106081067

(87) **WO 2019/056892 2019.03.28**

CN-A-105775109

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

CN-A-105539837

US-A1-20080003107

**ЦИНДАО ЮНИВЕРСИТИ; ЦИНДАО
РЭНДАЛЛ АЭРОДАЙНЕМИК
ЭНЖИНИРИНГ, ЛЛС (CN)**

(72) Изобретатель:

**Рэндалл Райан Майкл, Чэнь Чуньмэй
(CN)**

(74) Представитель:

Нилова М.И. (RU)

(57) Система управления шагом, отличающаяся тем, что содержит втулку по меньшей мере с двумя корпусами для лопасти, которые расположены вокруг оси втулки. Корпуса для лопасти имеют соответствующие лопасти, которые взаимодействуют с указанными корпусами. Лопасти перемещаются по спирали вдоль продольных осей корпуса в направлении к оси втулки и от оси втулки вдоль сегмента спирального пути для вызова изменения угла установки каждой лопасти. Один или более упругих элементов прямо или косвенно притягивают лопасти к оси втулки. Также имеются механизмы установки шага, выполненные с обеспечением возможности перемещения лопастей по спирали вокруг продольных осей корпуса. Лопасть перемещается по спирали в направлении от оси втулки, когда центробежная сила, приложенная к лопасти, превышает противодействующую упругую силу, ориентированную в продольном направлении корпуса (без учета других сил). Наоборот, лопасти перемещаются по спирали к оси втулки, когда указанная центробежная сила меньше, чем указанная упругая сила. Существует воображаемая плоскость, ортогональная оси втулки. Продольные оси корпусов для лопасти имеют углы относительно воображаемой плоскости, которые не больше чем 30°.

040564 B1

040564 B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к области систем управления углом установки вращающихся лопастей.

Уровень техники

Турбомашины в целом включают в себя один или более круговых массивов вращающихся лопастей. Такие массивы включают: осевые вентиляторы, центробежные вентиляторы, смешанные вентиляторы, воздушные винты, несущие винты и лопасти воздушных турбин. Все такие лопасти могут иметь постоянный или изменяемый угол установки лопасти. В системах неподвижного шага обычно изменяют скорость вращения, чтобы получить необходимые значения параметра (например, скорости), в то время как в некоторых системах с переменным шагом поддерживают приблизительно постоянную скорость вращения (например, несущих винтов вертолета).

При использовании высокоэффективных или энергоемких турбин часто имеет смысл управлять как шагом, так и скоростью вращения для максимизации аэродинамической эффективности, тяги или другого интересующего параметра. В дополнение к оптимизации характеристик системы управления шагом могут решать такие проблемы, как избыточное вращение.

Множество существующих систем управления шагом имеют достаточно низкое качество. Шагом может вручную управлять человек, перемещающий рычаг, что приводит к неоптимальным сочетаниям шага и скорости вращения. В случае воздушных винтов с изменяемым шагом пилот может эффективно установить шаг воздушного винта один раз перед взлетом и еще раз во время полета в крейсерском режиме. В этом случае шаг изменяется только дважды в течение нескольких часов. Если бы шаг автоматически и непрерывно изменялся в зависимости от скорости вращения на протяжении всего полета, преимущества такого режима могли бы включать в себя снижение расхода топлива, увеличение дальности и продолжительности полета.

Существующие системы управления шагом могут автоматически и непрерывно изменять угол установки лопасти. Например, в вертолетах используются сложные шарнирные сочленения, автоматы перекоса и другие механизмы для вызова повторяющегося цикла установки угла установки лопасти. Цикл установки шага используют для управления креном и тангажом вертолета. Эти системы управления шагом соответствуют только узкому диапазону случаев применения.

Существующие усовершенствованные системы управления шагом могут непрерывно и автоматически регулировать угол установки лопасти даже во время операции изменения скорости вращения, но не имеют широкого применения из-за их сложности и высокой стоимости. Для множества турбомашин может быть обеспечено преимущество путем использования более простой и менее дорогостоящей системы, которая подходит для небольших лопастей, включая воздушные винты радиоуправляемых летательных аппаратов.

В настоящее время, передовые системы управления шагом почти исключительно применяются к большим и дорогостоящим турбомашинам, в том числе большим ветровым турбинам. В случае больших ветровых турбин эти системы обычно включают в себя отдельный двигатель для каждой лопасти. Каждый двигатель имеет шестерню, которая сопряжена с зубьями, вырезанными в лопасти или в части, которая прикреплена к лопасти. Двигатель получает электрические команды от бортового компьютера на основании внутренних программ и данных, полученных от: анемометров, термометров, тахометров и других датчиков. Несмотря на свою функциональность, такие системы также являются сложными и дорогими. Ошибка или неисправность любого датчика может привести к: ухудшению характеристик системы, серьезному повреждению и/или полной остановке работы ветровой турбины. Такие системы также подвержены воздействию разрядов молнии, отключениям электроэнергии и другим неисправностям электрической системы, а также ошибкам пользователя, которые могут происходить, когда человек передает команды, изменяет параметры настройки или обновляет программное обеспечение. Время простоя может повлечь за собой большие расходы, поскольку техническое обслуживание обычно происходит на высоких башнях в удаленных местах. Уровень техники даже для больших турбомашин может быть усовершенствован путем использования более простой и надежной системы управления шагом.

Раскрытие сущности изобретения

В настоящем изобретении предложена система управления шагом в турбомашиностроении, которая решает вышеуказанные проблемы уровня техники. Система (100) управления шагом содержит втулку (12) по меньшей мере с двумя корпусами (2) для лопасти. Корпуса (2) для лопасти расположены круговым массивом вокруг оси (40) втулки. Лопасть (1) взаимодействует с каждым корпусом (2) для лопасти, так что лопасть (1) может перемещаться по спирали в направлении к оси (40) втулки и от оси (40) втулки вдоль сегмента спирального пути (43) для вызова изменения угла установки лопасти (1). Направление спирали проходит вдоль продольной оси (41) корпуса. Существует воображаемая плоскость (42), ортогональная к оси (40) втулки. Продольная ось корпуса (41) ориентирована под углом θ относительно воображаемой плоскости (42). Значение θ равно 30° или меньше.

Один или более упругих элементов (3) прямо или косвенно притягивают лопасть (2) к оси (40) втулки. Механизм (4) установки шага обеспечивает возможность перемещения лопасти (1) по спирали

вдоль продольной оси (41) корпуса. Лопасть (1) подвергается воздействию упругой и центробежной сил. Упругая сила является результатом действия одного или более упругих элементов. Центробежная сила является результатом вращения втулки (12), которое принуждает лопасти (1) вращаться вокруг оси (40) втулки. Каждая сила имеет противодействующую компоненту, ориентированную в продольном направлении (41) корпуса. Лопасть (1) перемещается в направлении от оси (40) втулки, когда компонента центробежной силы больше, чем компонента упругой силы (без учета других сил, включая аэродинамическую, гравитационную и фрикционную). Когда компонента центробежной силы меньше, чем компонента упругой силы, лопасть (1) притягивается к оси (40) втулки.

Механизм (4) установки шага включает в себя направляющую (5), которая простирается вдоль сегмента спирального пути (43), и сопряженную с направляющей часть (6), причем направляющая (5) и сопряженная с направляющей часть (6) связаны отношениями связанного перемещения, которые включают скольжение или качение вдоль друг друга для обеспечения возможности перемещения лопасти (1) по спирали вдоль продольной оси (41) корпуса.

Корпуса (2) для лопасти могут иметь две боковых поверхности, т.е. внутреннюю боковую поверхность (44) и наружную боковую поверхность (45). Комли (16) лопастей также могут иметь две боковых поверхности: внутреннюю боковую поверхность (46) и наружную боковую поверхность (47). Существуют два способа выполнения направляющей (5) и сопряженных с направляющей частей (6). Согласно первому способу направляющие (5) могут быть размещены на боковой поверхности (44, 45) корпуса для лопасти, в то время как сопряженная с направляющей часть расположена на боковой поверхности (46, 47) комля лопасти. Альтернативно каждая направляющая может быть расположена на боковой поверхности (46, 47) комля лопасти, в то время как сопряженные с направляющей части могут быть размещены на боковой поверхности (44, 45) корпуса для лопасти. Набор подшипников может быть расположен на комле (16) лопасти и/или корпусе (2) для лопасти для уменьшения трения между комлем (16) лопасти и корпусом (2) для лопасти или между направляющими (5) и сопряженными с направляющей частями (6). Обтекатель (13) расположен на втулке (12) и вращается вокруг оси (40) втулки. Обтекатель (13) по существу имеет форму купола или конуса.

Упругие элементы (3) расположены внутри втулки (12) и/или корпуса (2) для лопасти. Упругие элементы (3) могут быть прямо или косвенно прикреплены одним концом к комлям (16) лопасти и другим концом к корпусам (2) для лопасти, втулке (12), валу (10), обтекателю (13) или механизму (7) компенсации веса лопасти.

Наружный диаметр комлей (16) лопасти может быть меньше, чем внутренний диаметр корпусов (2) для лопасти, так что комли (16) лопасти скользят в соответствующих им корпусах (2) для лопасти. Согласно еще одному варианту реализации комли (16) лопасти могут иметь внутренние диаметры, которые больше, чем наружные диаметры соответствующих им корпусов (2) для лопасти, так что комли (16) лопасти скользят поверх соответствующих им корпусов (2) для лопасти. Корпуса (2) для лопасти могут полностью или частично содержаться внутри втулки (12) или полностью находиться за пределами втулки (12).

Система управления шагом также может содержать механизм (7) компенсации веса лопасти, который полностью или частично противостоит нарушающему балансировку воздействию веса лопасти на продольное положение корпуса для лопасти относительно других лопастей. Механизм (7) компенсации веса лопасти содержит направляющий элемент (8) и сопряженную с направляющим элементом часть (9). Направляющий элемент (8) расположен вокруг оси (40) втулки и образует замкнутый контур. Перемещение сопряженной с направляющим элементом части (9) вокруг направляющего элемента (8) является ограниченным. Направляющий элемент (8) может иметь некруглое поперечное сечение и/или может быть вертикально смещен относительно оси (40) втулки.

В некоторых вариантах реализации системы управления шагом могут использоваться упругие элементы (3), которые являются цилиндрическими пружинами, выровненными с продольной осью (41) корпуса. Упругие элементы (3) проходят через втулку (12), боковую стенку (27), корпус (2) для лопасти и соединены одним концом с комлем (16) лопасти и другим концом с механизмом (7) компенсации веса лопасти.

В предпочтительном варианте реализации системы управления шагом используется направляющий элемент (8), сопряженная с направляющим элементом часть (9) которого также является концентрической с направляющим элементом (8) и осью (40) втулки. Сопряженная с направляющим элементом часть (9) вращается вокруг направляющего элемента (8). В предпочтительном варианте реализации используется упругий элемент (3), являющийся пружиной (48) кручения, которая окружает внутреннюю часть или наружную часть направляющего элемента (8) и присоединена к сопряженной с направляющим элементом части (9).

В предпочтительном варианте реализации также используются стержни (19), расположенные круговым массивом вокруг оси (40) втулки. Каждый из стержней имеет два конца. Один конец расположен внутри комля (16) лопасти или корпуса (2) лопасти и прямо или косвенно соединен с комлями (16) лопастей. Другой конец проходит через боковую стенку (27) во втулку (12), где он шарнирно соединен с одним концом рычага (24). Другой конец рычага (24) шарнирно соединен с сопряженной с направляющим элементом частью (9). Вкладыш (22) используют для уменьшения трения между стержнем (19) и боковой

стенкой (27) втулки, когда стержень (19) скользит во втулку и из нее. Подшипник (20) используют для уменьшения трения, когда лопасть (1) вращается относительно стержня (19).

По сравнению с уровнем техники преимуществами настоящего изобретения являются:

- 1) широкая применимость;
- 2) простота;
- 3) низкая стоимость;
- 4) низкие эксплуатационные расходы;
- 5) долговечность;
- 6) надежность, которая не подвержена воздействию:
 - a. потери питания;
 - b. неисправности электронных средств;
 - c. погрешности датчиков; или
 - d. ошибки пользователя.

Краткое описание нескольких видов на чертежах

На фиг. 1А изображена система управления шагом трехлопастного воздушного винта или турбины с главными плоскостью и осями.

На фиг. 1В изображен заданный диапазон углов, ограничивающий угловое отклонение корпусов для лопасти.

На фиг. 2 изображена система управления шагом, прикрепленная к двигателю.

На фиг. 3 изображена система управления шагом с корпусом, окружающим двигатель или генератор.

На фиг. 4 изображен увеличенный вид одиночной лопасти и корпуса для лопасти для варианта А реализации.

На фиг. 5 представлено покомпонентное объемное изображение варианта А реализации.

На фиг. 6 представлено прозрачное покомпонентное объемное изображение варианта А реализации.

На фиг. 7 изображена альтернативная форма варианта А реализации, где комель лопасти скользит по верху корпуса лопасти.

На фиг. 8 изображены направляющие на комле лопасти и сопряженные с направляющей части на корпусе для лопасти.

На фиг. 9 изображены сопряженные с направляющей части низкого трения.

На фиг. 10 изображен вариант А реализации с корпусами для лопасти внутри втулки.

На фиг. 11 изображена альтернативная удерживающая часть для варианта А реализации.

На фиг. 12 изображен вид в разрезе варианта В реализации с механизмом компенсации веса лопасти.

На фиг. 13 изображена крышка двигателя для варианта В реализации.

На фиг. 14 изображен приведенный в качестве примера двигатель для варианта В реализации.

На фиг. 15 изображена собранная лопасть и корпус для лопасти для варианта В реализации.

На фиг. 16 представлено объемное покомпонентное изображение деталей лопасти и корпуса для лопасти для варианта В реализации.

На фиг. 17 представлено объемное изображение приведенной в качестве примера сопряженной с направляющим элементом части.

На фиг. 18 изображены приведенные в качестве примера направляющие элементы.

На фиг. 19 изображен вид в разрезе направляющих элементов.

На фиг. 20 представлено объемное покомпонентное изображение направляющих элементов.

На фиг. 21 изображены направляющие элементы и сопряженные с направляющим элементом части, установленные на место.

На фиг. 22 изображен прозрачный вид спереди направляющих элементов с сопряженными с направляющим элементом частями, на котором ясно видна некруглая форма и вертикальное смещение направляющего элемента.

На фиг. 23 изображены упругие элементы, прикрепленные к сопряженным с направляющим элементом частям.

На фиг. 24 изображены наземная и связанная с корпусом для лопасти системы координат.

На фиг. 25 изображены важные силы и моменты, действию которых подвергается лопасть.

На фиг. 26 изображена ортогональная система координат, используемая для показа "нормали" и "биноормали".

На фиг. 27 изображена связанная с направляющей система координат относительно системы координат, связанной со втулкой.

На фиг. 28 изображен вариант С реализации с удаленным обтекателем.

На фиг. 29 представлено объемное покомпонентное изображение лопасти и корпуса для лопасти согласно варианту С реализации.

На фиг. 30 представлено еще одно объемное покомпонентное изображение лопасти и корпуса для лопасти согласно варианту С реализации.

На фиг. 31 изображен вид в разрезе собранного варианта С реализации.

На фиг. 32 представлено объемное покомпонентное изображение расположенных внутри втулки частей для варианта С реализации.

На фиг. 33 изображен сегмент спирального пути на наружной боковой поверхности комля лопасти с вырезанной направляющей вдоль указанного пути.

Осуществление изобретения

Динамика.

Лопастей установлены в корпусах для лопасти, которые расположены во втулке по ее окружности. Ко всем вращающимся лопастям приложена центробежная сила, которая пропорциональна квадрату скорости вращения втулки. Чем выше скорость вращения, тем больше центробежная сила, отделяющая лопасть от втулки. Центробежной силе противодействует упругий элемент. Для обсуждения временно предположено, что упругим элементом является линейная пружина, которая растягивается при увеличении скорости вращения. При растяжении пружины лопасть вынуждена поворачиваться вокруг ее продольной оси, перемещаясь вдоль направляющих своими ответными сопряженными с указанными направляющими частями. Сопряженные с направляющей части могут быть выполнены с возможностью жесткого увеличения шага при увеличении скорости вращения (в случае воздушного винта) или увеличения шага больше безопасной зоны (в случае турбины) с последующим уменьшением и/или обнулением шага, если скорость вращения становится слишком высокой.

Система управления шагом разработана нетривиальным способом конструирования, который специалисту в данной области техники, возможно, не сразу будет понятен. Для анализа динамики и поведения с целью облегчения соответствующего проектирования конструкции для данного случая применения должна быть создана динамическая модель системы. Для иллюстрации данного способа построена приведенная в качестве примера динамическая модель вращения втулки с постоянной скоростью в вертикальной плоскости с весом лопасти в качестве грузика согласно варианту реализации В. Эта модель может быть легко приведена в соответствие с функционированием без учета веса лопасти (согласно варианту реализации А) и может дать понимание моделирования различных других вариантов реализации системы управления шагом, включая вариант реализации С.

Для этого полезно образовать систему координат, связанную с Землей (наземную систему координат), и систему координат, связанную с втулкой (втулочную систему координат). XYZ - наземная система координат, и хуz - система координат, связанная со втулкой, как изображено на фиг. 24. Центр обеих систем определен в точке, в которой пересекаются осевые линии корпусов для лопасти. Ось X является вертикальной, ось Y выходит из страницы, и ось Z является горизонтальной. Оси x и Y всегда коллинеарны, но оси x и z изменяют свою ориентацию при повороте втулки на некоторый угол β , так что ось z всегда проходит вдоль осевой линии одного корпуса для лопасти.

Следует подробно рассмотреть силы и моменты, прикладываемые к лопасти, для моделирования и понимания ее перемещения, включая ее реакции на возмущающие воздействия. Такие силы обусловлены аэродинамикой, силой тяжести, взаимодействиями между направляющими и сопряженными с указанными направляющими частями, центробежной силой, упругой силой и взаимодействиями между лопастью и корпусом для лопасти. Для понимания указанных сил и моментов является полезной диаграмма свободного тела, изображенная на фиг. 25.

Имеются четыре ключевых точки: А, С, R и G. Точка А является аэродинамическим фокусом лопасти, и в этой точке к лопасти приложены аэродинамическая сила (\vec{F}_a) и момент (\vec{M}_a).

Предполагается, что аэродинамическая сила, действующая в направлении оси z, пренебрежимо мала, как и аэродинамические моменты вокруг осей x и y.

Точка С является центром масс лопасти, и в этой точке к лопасти приложена центробежная сила (\vec{F}_c) и сила (\vec{W}), обусловленная весом лопасти. Вес лопасти при ее вращении может действовать в различных связанных со втулкой координатных направлениях. К сожалению, указанный вес в целом действует в плоскости хz и вносит свой вклад в силу, действующую в направлении оси z, что приводит к циклическому изменению силы оттягивания лопасти, которая в конечном счете определяет угол установки каждой лопасти. Поскольку угол установки каждой лопасти циклически изменяется, будет происходить циклическое изменение всех приложенных сил и моментов с частотой вращения лопасти. Механизм компенсации веса лопасти предназначен для коррекции этого эффекта путем выталкивания лопасти наружу, когда она находится в верхней части своего цикла вращения, и втягивания лопасти внутрь, когда она находится в нижней части своего цикла. В результате положение лопасти вдоль оси z не будет зависеть от ее углового положения, т.е. угла β , но только от скорости вращения втулки. Математически можно смоделировать работу механизма компенсации веса лопасти путем изменения свободной длины z_{s0} пружины как функции угла β .

Важный вопрос состоит в том, можно ли избежать дополнительных расходов и осложнений, связанных с механизмом компенсации веса лопасти. Вес лопасти является постоянным, тогда как центробежная сила пропорциональна квадрату скорости вращения втулки, поэтому при больших скоростях вращения центробежная сила будет доминировать над весом. Кроме того, действие веса лопасти может

быть уменьшено путем проектирования лопастей с увеличением массовых плотностей в направлении к кончикам лопастей, что также увеличит центробежную силу относительно веса. Чтобы избежать резонанса, система может быть спроектирована таким образом, что ее собственные частоты будут находиться за пределами диапазона скоростей вращения. Также может быть применено регулируемое демпфирование системы. Может быть рассмотрена простая точечная масса, вращающаяся в вертикальной плоскости, соединенная струной с центром ее вращения. Когда точечная масса находится в своем самом низком положении, центробежная сила и вес действуют в одном направлении, и в этом случае растягивающее напряжение в струне составляет:

$$F_T = m \cdot (\beta^2 l + g);$$

где l - длина струны, и g - ускорение свободного падения.

Для небольшого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) радиус воздушного винта может составлять 0,1 м, что соответствует "длине струны" примерно 0,035 м. Скорость вращения воздушного винта небольшого БПЛА во время полета может составлять 78,5-130,9 рад/с, поэтому следует избегать этих частот как собственных частот системы. Для случая небольшого БПЛА, смоделированного в виде массы и струны, сила тяжести составляет от 1,6 до 4,5% центробежной силы по всему диапазону скоростей вращения втулки. Для этого случая колебание шага будет небольшим, поэтому может оказаться целесообразным вообще исключить механизм компенсации веса лопасти. Все системы, вращение которых происходит в горизонтальной плоскости, или которые работают в среде без гравитации, будут отлично работать без механизма компенсации веса лопасти. В качестве еще одного примера может быть рассмотрена типичная большая ветровая турбина, вращающаяся в вертикальной плоскости со скоростью 1,05 рад/с и имеющая лопасти длиной 40 м и массой 5500 кг. В этом случае сила тяжести составляет 67% центробежной силы, так что требуется механизм компенсации веса лопасти.

Точка R является точкой, в которой, как предполагается, приложена сила (\vec{F}_r) и момент (\vec{M}_r) реакции. В действительности, распределение сил реакции по комлям лопастей зависит от деталей взаимодействия между корпусом и комлем, предположительно через один или более подшипники, которые способствуют плавному перемещению корней лопастей относительно корпусов для лопасти. В данном примере точка R изображена на наружном крае корпуса для лопасти в центре его круглого поперечного сечения. Если опустить детали, положение точки R становится в некоторой степени произвольным, поскольку точная система сил и моментов реакции может быть определена для любой предполагаемой точки приложения. Сила и момент реакции в направлении оси z считается ничтожно малой (при хорошей смазке и отсутствии трения). Упругая сила (\vec{F}_s) также проходит через точку R в качестве геометрического результата.

Последней ключевой точкой является точка G. Она находится в центре круглого поперечного сечения в плоскости сопряженных с направляющими частей. Путем разделения сил реакции и сил, действующих на сопряженную с направляющей часть, сопряженные с направляющей части могут быть спроектированы надлежащим образом, чтобы выдерживать приложенные нагрузки. В данном примере силы, приложенные к сопряженным с направляющей частям, смоделированы как одна сила (\vec{F}_g), приложенная в точке G, с соответствующим моментом (\vec{M}_g).

Направляющие и сопряженные с ними части могут быть спроектированы множеством различных способов. На фиг. 26 приведен пример, в котором предположено, что глубина направляющей является достаточной для препятствования касанию кончиков сопряженных с указанной направляющей частей с основанием соответствующих направляющих. В результате отсутствует сила, приложенная к сопряженным с направляющей частям в направлении бинормали к указанной направляющей, \vec{e}_b .

Кроме того, трением можно пренебречь, так что отсутствует сила, действующая на сопряженную с направляющей часть в направлении касательной к указанной направляющей, \vec{e}_t .

Таким образом, направляющие моделируются с учетом сил, приложенных к сопряженным с направляющей частям, действующих только в направлении, нормальном к указанной направляющей

$$\vec{F}_g = F_g \vec{e}_n,$$

как изображено на фиг. 26.

Предполагается, что лопасть является абсолютно твердой, и описывающие перемещение равенства выведены следующим образом:

$$a. F_{ax} + F_{rx} + F_{gx} + W_x = 0$$

$$b. F_{ay} + F_{ry} + F_{gy} = 0$$

$$c. F_c + F_s + F_{gz} + W_z = m\ddot{z}$$

$$d. -F_{ay} \cdot (z_A - z_R) + F_{gy} \cdot (z_R - z_G) + M_{rx} = 0$$

$$e. F_{ax} \cdot (z_A - z_R) - F_{gx} \cdot (z_R - z_G) + W_x \cdot (z_C - z_R) + M_{ry} = 0$$

$$f. M_{az} + M_s + M_{gz} = I\ddot{\theta}_z$$

Шесть равенств, описывающих перемещение, имеют восемь неизвестных величин:

$$F_{gx}, F_{gy}, M_{gz}, F_{rx}, F_{ry}, M_{rx}, M_{ry};$$

но могут быть записаны большее количество равенств, относящихся к взаимодействиям роликов с направляющими элементами:

$$g. F_{gx} = F_g \cdot (\hat{e}_n \cdot \hat{i})$$

$$h. F_{gy} = F_g \cdot (\hat{e}_n \cdot \hat{j})$$

$$i. F_{gz} = F_g \cdot (\hat{e}_n \cdot \hat{k})$$

Три новых равенства записаны с четырьмя новыми неизвестными величинами, представленными как:

$$F_g, (\hat{e}_n \cdot \hat{i}), (\hat{e}_n \cdot \hat{j}), (\hat{e}_n \cdot \hat{k}),$$

но величина \hat{e}_n будет определена во время процесса проектирования направляющей. Позже величины F_{gx} , F_{gy} и F_{gz} станут функциями одной неизвестной величины F_g , и тогда останутся девять равенств с девятью неизвестными величинами, которые представляют собой разрешимую систему с единственным решением.

Конструкция направляющей является новой для данного конкретного изобретения. В данном случае удобно образовать систему координат индексом д, которая начинается на внутреннем крае направляющей, так что $z = z_g + z_{g0}$, как показано на фиг. 27. В данном примере каждая направляющая проходит на постоянном радиальном расстоянии от осевой линии корпуса для лопасти, вследствие чего удобно использовать цилиндрические координаты.

$$j. \vec{r}_P = r_g \hat{e}_r + r_g \cdot \theta_g \hat{e}_\theta + z_g \hat{k} \quad r_g \equiv constant$$

Величина \vec{r}_P может быть выражена как функция одной переменной z_g , где указанная функция $\theta_g(z_g)$ определяет угол установки лопасти, когда ее приводят в конкретное положение z_g . Для конкретной конструкции лопасти, работающей в конкретной среде, могут быть вычислены несколько оптимальных сочетаний "скорость вращения/шаг". Для получения величины $\theta_g(z_g)$ к оптимальным точкам сочетаний "скорость вращения/шаг" в указанной области может быть применено вычерчивание кривой по точкам. Преобразование назад к основной системе декартовых координат, связанной с втулкой, приводит к подходящему для использования описанию указанного направляющего элемента:

$$k. \vec{r}_P(z) = x(z)\hat{i} + y(z)\hat{j} + z\hat{k}$$

Затем, длина "s" кривой направляющей определяется как функция z.

$$l. s(z) = \int_{z_{g0}}^z \left[\left(\frac{dx}{dz} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dz} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} dz$$

Вводя соотношения

$$\frac{dx}{dz} = x', \frac{ds}{dz} = s', etc.,$$

можно определить единичный вектор нормали как:

$$m. \quad \vec{e}_n = \frac{\vec{r}'_1 s' - \vec{r}'_2 s''}{\sqrt{(\vec{r}'_1 \cdot \vec{r}'_1) s'^2 - (\vec{e}'_1 \cdot \vec{r}'_1)^2}}$$

Центробежная сила моделируется как:

$$n. \quad \vec{F}_c = \beta^2 \cdot m \cdot z_c \vec{k}$$

m - масса лопасти;

β - скорость вращения втулки; и

z_c - местоположение центра масс лопасти, которое является функцией β .

Если втулка вращается в вертикальной плоскости, вес лопасти не будет содержать y -компоненту. В этом случае созданная весом сила в системе координат, связанной со втулкой, будет зависеть от угла вращения лопасти следующим образом:

$$o. \quad W_x = -W \cdot \sin(\beta)$$

$$p. \quad W_z = -W \cdot \cos(\beta)$$

Если упругий элемент, как предполагается, является пружиной, которая имеет линейную характеристику во всем своем рабочем диапазоне, сила, которую она прикладывает к лопасти, может быть смоделирована как:

$$q. \quad \vec{F}_s = -k_s \cdot (z - z_{s0}) \vec{k}$$

где:

k_s - линейный коэффициент жесткости пружины; и

z_{s0} - положение роликов лопасти на оси z , соответствующее нулевому сжатию или удлинению пружины.

Величину z_{s0} проектируют с возможностью компенсации веса W_z лопасти в направлении оси z ; она становится известной функцией угла β вращения втулки. Изменение угла установки лопасти вызывает скручивание, а также удлинение пружины. Если (1) момент пружины является существенным, (2) связь пренебрежимо мала, и (3) момент, вызванный скручиванием, является линейным, тогда:

$$r. \quad \vec{M}_s = -\tau_s \cdot (\theta - \theta_{s0}) \vec{k}$$

где:

τ_s - крутящий коэффициент жесткости пружины; и

θ_{s0} - угол установки, соответствующий нулевому скручиванию пружины.

С учетом представленного выше, чистые сила и момент реакции, приложенные к лопасти, могут быть определены с использованием выведенных выше равенств, описывающих перемещение.

Следует помнить, что перемещение лопастей вдоль корпусов вызывает изменения диаметра диска, образуемого вращающимися лопастями, и, следовательно, скорости вследствие вращения в конкретном сечении лопасти. Если перемещение является существенным, эти аэродинамические эффекты в представленных выше моделях могут не быть пренебрежимо малыми. В этом случае особое внимание должно быть обращено на аэродинамические силы и моменты, приложенные к лопасти, и также должны учитываться изменения площади диска, образуемого вращающимися лопастями.

Конструкция.

Для описания различных конструктивных решений для системы управления шагом представлены три приведенных в качестве примера варианта реализации. Все приведенные в качестве примера варианты реализации системы управления шагом содержат: лопасти (1), корпуса (2) для лопастей, упругие элементы (3), механизмы (4) установки шага с направляющими (5) и сопряженными с направляющей частями (6), вал (10), втулку (12), обтекатель (13) и двигатель (14). Два приведенных в качестве примера варианта реализации содержат механизм (7) компенсации веса лопасти с направляющими элементами (8) и сопряженными с направляющими элементами части (9).

Втулка, корпуса для лопасти и лопасти вращаются валом. Требуется, чтобы центробежная сила поддерживала круговое перемещение лопастей, обеспеченное упругим элементом, который прямо или косвенно соединен с каждой лопастью. Чем выше скорость вращения вала, тем больше растяжение упругих элементов и больше перемещение лопастей в наружном направлении.

Механизмы изменения шага преобразуют продольное перемещение лопасти в изменение угла лопасти путем направления лопасти к угловому повороту лопастей вокруг их продольных осей всякий раз, когда лопасти перемещаются в своих продольных направлениях. Для достижения этого эффекта в корпусах лопасти или в комлях лопастей выполнены направляющие. Соответствующие части, сопряженные с направляющими, размещены в комлях лопастей или в корпусах лопасти. Сопряженные с направляющими

ми части принуждаются указанными направляющими к перемещению таким образом, что для каждой скорости вращения достигается необходимая установка угла лопасти. В зависимости от случая применения механизмы изменения шага могут быть спроектированы с возможностью максимизации аэродинамической эффективности путем поддержки оптимального сочетания угла лопасти и скорости вращения. Согласно еще одному варианту реализации указанные механизмы изменения шага могут быть спроектированы с обеспечением возможности двигателю иметь более узкий диапазон скоростей вращения и в то же время обеспечивать более широкий диапазон скоростей потока. Для турбин механизмы изменения шага могут обеспечивать защиту от избыточного вращения путем уменьшения угла лопасти, когда скорость вращения становится чрезмерной. Механизмы установки угла лопасти обычно проектируются для увеличения шага с ростом скорости вращения лопасти. В этих случаях при линейном перемещении каждой лопасти в наружном направлении ее угол установки постепенно увеличивается. Наоборот, когда каждая лопасть линейно перемещается внутрь, ее угол установки постепенно уменьшается.

На фиг. 33 изображены приведенные в качестве примера три направляющих (5), размещенных на наружной боковой поверхности комля (47) лопасти, которые следуют за сегментом спиральной пути (43). Приведенные в качестве примера направляющие имеют установочную секцию (55), которая позволяет им скользить по верх сопряженных с направляющей частей (6), расположенных на внутренней боковой поверхности соответствующего корпуса (2) лопасти. Приведенные в качестве примера направляющие имеют секцию (53) увеличения шага, которая вызывает увеличение шага при увеличении скорости вращения. Когда скорость вращения приближается к своему порогу безопасности, лопасти продолжают перемещаться в наружном направлении, но угол их установки уменьшается из-за секции (54) уменьшения шага.

Когда вал вращается с постоянной скоростью, результирующая сила и момент, действующие на каждую лопасть, становятся сбалансированными, и каждой лопастью реализуется состояние однородного кругового перемещения вокруг указанного вала. Каждая лопасть, правильно спроектированная и построенная, перемещается на приблизительно эквивалентное продольное расстояние и поворачивается на приблизительно эквивалентный угол установки. Инерционные и аэродинамические силы обоснованно и хорошо сбалансированы по всему диску, образуемому вращающимися лопастями, и имеется небольшая тенденция к индуцированию вибрации. Механизм компенсации веса лопасти не требуется для систем, в которых ось диска, образуемого вращающимися лопастями (ось втулки), ориентирована вертикально (параллельно вектору силы тяжести), или систем с высокими скоростями вращения. Примеры таких систем включают в себя вертолеты с несколькими несущими винтами любого размера (вертикально ориентированными осями дисков, образуемых вращающимися лопастями) и воздушные винты (с высокой скоростью вращения) небольших радиоуправляемых (RC) летательных аппаратов.

Вариант А реализации.

Множество корпусов (2) для лопасти расположены вдоль окружности втулки (12), как изображено на фиг. 1. Обтекатель (13) прикреплен к втулке. Втулка (12) прикреплена к двигателю (14), как изображено на фиг. 2. Между двигателем и втулкой может быть расположен редуктор. Способ крепления втулки двигателя может включать в себя цапгу, пластину с винтовым креплением или другой механизм. Двигатели обычно закрыты крышками (15), как изображено на фиг. 3.

Корпуса (2) для лопасти обеспечивают возможность установки лопастей (1) вокруг втулки. Корпуса (2) для лопасти согласно представленным вариантам реализации имеют установочные отверстия (28) для лопастей (1). Корпуса для лопасти и комля лопасти (16) могут иметь форму цилиндрических труб. Корпуса для лопасти не ограничивают перемещение соответствующих им лопастей в их по существу продольном направлении. Перемещение лопастей относительно корпусов напоминает выдвигание или втягивание классического телескопа. Для содействия гладкому перемещению лопастей относительно корпусов для лопасти могут использоваться радиальный линейный подшипник, смазка или другое уменьшающее трение средство. Если наружный диаметр комлей лопасти меньше, чем внутренний диаметр корпусов для лопасти, комли лопасти могут перемещаться скольжением в корпусах для лопасти, как показано на фиг. 4.

Для варианта А реализации упругий элемент (3) показан в виде цилиндрической пружины. В каждой концевой пластине упругого элемента имеется отверстие (как изображено на фиг. 5) для резьбовых крепежных элементов. Комель лопасти (как изображено на фиг. 6) и втулка также имеют отверстия для указанных крепежных элементов. Один конец каждого упругого элемента соединен с комлем лопасти, и его другой конец соединен с втулкой. Упругие элементы проходят через центр корпусов для лопасти и центр комлей лопастей. Внутренние боковые поверхности комлей лопастей и корпусов (46, 44) для лопасти препятствуют прогибанию упругих элементов при их сжатии. Направляющие расположены по окружности вдоль внутренних боковых поверхностей корпусов для лопасти. Они показаны в виде пазов, вырезанных во внутренней боковой поверхности.

Сопряженные с направляющей частью (6) показаны в виде кругового массива выступающих элементов, которые окружают комель лопасти. Когда комель лопасти скользит в корпусе для лопасти, сопряженные с направляющей части скользят в направляющих. Резьбовой крепежный элемент используют для болтового соединения не прикрепленного конца упругого элемента с корпусом (2) для лопасти или боковой стенкой (27) втулки со стороны внутренней части втулки, как изображено на фиг. 6.

После установки лопастей в корпуса для лопасти устанавливают удерживающие части (11) для пре-

дотвращения выскальзывания указанных лопастей из корпусов для лопасти. Приведенная в качестве примера удерживающая часть показана в виде гибкого кольца с разрезом, пересекающим его, так что его можно раскрывать путем растягивания, размещать на открытом конце корпуса для лопасти и прикреплять резьбовыми крепежными элементами. Это кольцо закрывает открытый конец направляющих.

На фиг. 7 изображена альтернативная версия варианта А реализации, согласно которой внутренний диаметр комлей лопастей выполнен больше, чем наружный диаметр корпусов для лопасти, так что комли лопастей скользят поверх корпусов для лопасти.

Удерживающая часть может состоять из двух отдельных частей, которые объединяются и привинчиваются к открытому концу комлей лопастей, как изображено на фиг. 8. Направляющие необязательно должны быть расположены на корпусах для лопасти; они также могут быть выполнены в комлях лопастей. Когда направляющие выполнены в комлях лопастей, сопряженные с направляющими части должны быть размещены на корпусах для лопасти, что также изображено на фиг. 8.

Сопряженные с направляющей части могут включать в себя два круговых массива, расположенных в различных продольных местоположениях вокруг комля лопасти или корпуса для лопасти, как изображено на фиг. 8 и 9. Продольное разделение двух круговых массивов поддерживает изгиб лопасти, предотвращает заклинивание между комлями лопасти и корпусами, предотвращает прямой контакт внутренней и наружной поверхностей перемещения друг с другом и позволяет пользователю не использовать радиальные линейные подшипники. Форма поперечного сечения комлей лопасти и корпусов для лопасти не обязательно должна быть круглой при условии достаточно большого размера зазора между лопастями и корпусами для лопасти.

На фиг. 9 изображена уникальная специально построенная уменьшающая трение система. Ее сопряженные с направляющей части имеют два подшипника: один нормальный подшипник (17) и один бинормальный подшипник (18). Нормальный подшипник вращается вокруг оси, которая перпендикулярна оси бинормального подшипника. Бинормальный подшипник расположен внутри нормального подшипника и во время использования контактирует с дном желобообразных направляющих. Бинормальные подшипники расположены под углом, обеспечивающим возможность тангенциального качения вдоль направляющих без заедания. Нормальные подшипники имеют немного меньший размер, чем ширина желобообразных направляющих. В результате они входят в контакт только с одной стенкой направляющих в текущий момент времени и, таким образом, вращаются без заедания. Бинормальные подшипники не обязательно должны быть размещены в центре нормальных подшипников; они также могут быть выполнены полностью раздельными.

Корпуса для лопасти обычно являются тупыми объектами, которые могут вызвать разделение потока и турбулентность при воздействии потока жидкости. У турбомашин с небольшими отношениями размеров втулки и лопастей корпуса для лопасти будут выступать из втулки и подвергаться воздействию потока, но соответствующие неблагоприятные воздействия потока будут минимальными. У турбомашин с большим отношением размеров втулки и лопастей корпуса для лопасти могут быть частично или полностью охвачены втулкой, как изображено на фиг. 10. В этом случае они не подвергаются воздействию внешнего потока, вследствие чего уменьшается разделение потока, турбулентность следа и аэродинамическое сопротивление корпусов для лопасти.

Используемые лопасти могут быть любого типа, включая лопасти осевого вентилятора (фиг. 10). Направляющие могут быть вырезаны вдоль всего корпуса для лопасти. Кроме того, удерживающая часть может состоять из пружинящего стопорного кольца, размещенного внутри втулки, как изображено на фиг. 11.

Вариант В реализации.

В некоторых случаях применения необходимо использовать механизм компенсации веса лопасти для противодействия компоненте веса лопасти, действующей в продольном направлении корпуса для указанной лопасти. Механизм компенсации веса лопасти может противодействовать этой компоненте независимо от угла вращения лопасти вокруг вала. Потребность в механизме компенсации веса лопасти возрастает с весом каждой лопасти и степенью близости ориентации оси втулки к горизонтали (перпендикулярной направлению вектора силы тяжести). Потребность в механизме компенсации веса лопасти уменьшается с увеличением скорости вращения втулки и устраняется совсем, когда ось втулки является вертикальной (параллельной направлению вектора силы тяжести). Механизм компенсации веса лопасти согласно варианту В реализации не подходит для случаев применения со значительно изменяющейся ориентацией диска, образуемого вращающимися лопастями, (например, в случае полномасштабного винтового самолета-истребителя).

На фиг. 12 изображен вариант В реализации. Внутри корпуса (15) размещен двигатель (14). Двигатель и корпус двигателя показаны на фиг. 13 и 14 соответственно. В данном приведенном в качестве примера варианте реализации задняя стенка (26) втулки (12) соединена болтами с пластиной, которая соединена сваркой с валом (10) двигателя. В целом известны множество различных способов крепления втулки к валу, любой из которых может использоваться. Согласно варианту В реализации объекте (13) прикреплен к боковой стенке (27) втулки по окружности ее периферийной области с использованием резьбовых крепежных элементов. Корпуса для лопасти могут быть выполнены с задней стенкой и боко-

вой стенкой за одно целое. Согласно еще одному варианту реализации корпуса для лопасти могут быть выполнены по отдельности и затем прикреплены к боковой стенке посредством резьбы, выполненной на наружных боковых поверхностях корпусов для лопасти, с размещением соответствующих резьбовых отверстий в боковой стенке. Известны множество других способов соединения боковой стенки втулки с индивидуально изготовленными корпусами для лопасти, включая использование массива крепежных элементов или соединение адгезивом. Независимо от используемого способа должны быть предприняты меры предосторожности для обеспечения уверенности в том, что после сборки корпуса для лопасти и направляющие ориентированы должным образом.

В варианте В реализации сопряженные с направляющим элементом части (9) показаны в виде роликов, как изображено на фиг. 15. Они прикреплены к упругим элементам с использованием множества болтов, как изображено на фиг. 16. Другие способы крепления являются одинаково применимыми. Вариант В реализации содержит восемь колес (как изображено на фиг. 17), но могут использоваться большее или меньшее количество колес. Для вариантов реализации, подобных варианту В реализации, рекомендуется включать в сопряженную с направляющим элементом часть по меньшей мере четыре колеса.

Направляющий элемент (8) механизма компенсации веса лопасти образует замкнутые контуры, которые не обязательно должны быть круглыми (как изображено на фиг. 18). Для показанного на чертеже варианта реализации направляющий элемент представляет собой два параллельных прямоугольных канала, образованных тремя концентрическими частями (как изображено на фиг. 19), которые также не обязательно должны быть круглыми. Самая задняя концентрическая часть прикреплена к корпусу двигателя посредством резьбовых крепежных элементов. Каждая концентрическая часть имеет множество отверстий, расположенных вокруг ее периферийной области, посредством которых она скреплена вместе с другими концентрическими частями (как изображено на фиг. 20). Сопряженные с направляющим элементом части размещают внутри направляющих элементов во время скрепления вместе указанных трех концентрических частей направляющих элементов (8) (как изображено на фиг. 21). Сопряженные с направляющим элементом части могут перемещаться только внутри каналов направляющего элемента и не могут быть удалены из каналов направляющего элемента без демонтажа указанных концентрических частей (как изображено на фиг. 22). Направляющий элемент вертикально смещен в направлении от оси втулки, и для каждой лопасти имеется одна сопряженная с направляющим элементом часть.

Упругие элементы (3) являются цилиндрическими пружинами, которые одним концом прикреплены к сопряженным с направляющим элементом частям (9) (как изображено на фиг. 23) и другим концом к комлям (16) лопастей с использованием резьбовых крепежных элементов. Лопастей (1) удерживаются в корпусах (2) для лопасти с использованием удерживающих частей (11) как в варианте А реализации.

Во втулке имеется сквозное отверстие, диаметр которого равен внутреннему диаметру цилиндрических корпусов для лопасти (как изображено на фиг. 12, 16). В варианте В реализации упругие элементы показаны в виде пружин, которые проходят через отверстие в боковой стенке и корпуса для лопасти для соединения с комлями лопастей. Следует отметить, что корпус для лопасти также проходит внутрь к направляющим элементам, что предотвращает прогибание упругих элементов во время сжатия. Такая конструкция также предотвращает боковую деформацию упругих элементов в промежутке между направляющим элементом и боковой стенкой.

Поскольку сопряженные с направляющим элементом части принуждены перемещаться только вдоль направляющего элемента, один конец каждого упругого элемента также принужден перемещаться вдоль направляющего элемента. Это приводит к перемещению внутреннего конца упругих элементов при вращении вала. Перемещение внутреннего конца упругих элементов предназначено для противодействия весу каждой лопасти, действующему в ее продольном направлении.

Лопастей периодически вращаются вместе с валом, в то время как их весовые векторы указывают вниз. Компонента весового вектора может указывать в продольном направлении лопасти и добавляться к вектору центробежной силы или вычитаться из него. В результате возникает нежелательный периодический вклад веса лопасти в центробежную силу.

Когда ось диска, образуемого вращающимися лопастями, является горизонтальной (перпендикулярной весовому вектору), а лопасть находится в ее самом низком положении, вес лопасти добавляется к центробежной силе, вызывая чрезмерную растягивающую деформацию прикрепленного к ней упругого элемента. Результат состоит в том, что лопасть переместится слишком далеко вниз. Чтобы противодействовать этому, направляющий элемент принуждает внутренний конец упругого элемента перемещаться вверх к оси втулки (как изображено на фиг. 22). Противоположное действие происходит, когда лопасть находится в верхней части цикла ее вращения, и ее вес действует против центробежной силы. В этом случае растягивающая деформация упругого элемента недостаточна, так что лопасть не будет значительно перемещаться вверх. Для компенсации этого эффекта направляющий элемент принуждает внутренний конец упругого элемента перемещаться вверх дальше от оси втулки. Ось втулки коллинеарна валу.

Вариант С реализации.

В варианте С реализации используются дополнительные части, включая: стержни (19), подшипники (20), ограничители (21), вкладыши (22), соединитель (23), рычаги (24) и штифты (25). Общий перспективный вид варианта С реализации без обтекателя изображен на фиг. 28.

Согласно варианту С реализации лопасти (1) и корпуса (2) для лопасти объединены следующим образом: изготовленные по отдельности гильзовидные направляющие (5) вставлены в корпуса (2) для лопасти. Указанные направляющие имеют один или более ключей (29), и корпуса для лопасти имеют один или более ключевых пазов (30). Ключи и ключевые пазы сопряжены друг с другом для предотвращения относительного вращения между направляющими и корпусами для лопасти, как изображено на фиг. 29.

Стержень (19) вставлен в подшипник (20) и проходит через ограничитель (21). Подшипник размещен в углублении, выполненном в ограничителе. Ограничитель имеет резьбу вокруг своей периферийной области. Комель (16) каждой лопасти имеет резьбу, проходящую вдоль его цилиндрической внутренней поверхности, как изображено на фиг. 30. Ограничитель (21) ввинчен в комель (16) лопасти для соединения стержня (19) и подшипника (20) с комлем лопасти. Подшипник (20) является опорным подшипником; стержень (19) может скользить вдоль продольного направления лопасти, причем стержень (19) имеет головку на одном конце, препятствующую его полному выходу из комля лопасти, подшипника и ограничителя. Глубина комля лопасти недостаточна для осуществления возможности стержню перемещаться слишком далеко внутрь. В другом конце каждого стержня имеется отверстие для штифта (25) для последующего соединения с рычагами (24), как изображено на фиг. 31.

В задней части каждого корпуса лопасти имеется отверстие. Отверстие проходит через боковую стенку (27) втулки (12). В каждом отверстии установлен вкладыш (22). Комли лопасти имеют сопряженные с направляющей части (6), которые скользят в направляющих (5). В то же время указанные стержни скользят через вкладыши и боковую стенку во внутреннюю часть втулки. Удерживающая часть (11) в форме пружинящего стопорного кольца установлена в наружной части каждого корпуса для лопасти для запирания соответствующих ему гильзовидной направляющей и комля лопасти. Свободный конец каждого стержня (19) прикреплен к одному концу каждого рычага (24).

Вариант С реализации имеет механизм (7) компенсации веса лопасти, как изображено на фиг. 28. Он имеет только один направляющий элемент (8), который представляет собой: по существу стержень или трубку, расположенные в центре втулки и выровненные с осью вращения втулки. Трубчатый направляющий элемент проходит в наружном направлении из внутренней поверхности задней стенки (26). Имеется только одна сопряженная с направляющим элементом часть (9), которая также является по существу трубчатой или кольцевой; ее насаживают скольжением поверх направляющего элемента, пока она не остановится на небольшом уступе у дна направляющего элемента. Направляющий элемент и сопряженная с направляющим элементом часть являются концентрическими.

Упругий элемент (3) в форме спиральной пружины кручения насажен скольжением на направляющий элемент и окружает его. Согласно еще одному варианту реализации упругий элемент может быть насажен скольжением поверх сопряженной с направляющим элементом части. Упругий элемент одним концом прикреплен к направляющему элементу и другим концом к сопряженной с направляющим элементом части. Сопряженная с направляющим элементом часть выполнена с возможностью вращения вокруг направляющего элемента, но без возможности перемещения вдоль него. Упругий элемент оказывает сопротивление вращению сопряженной с направляющим элементом части.

Сопряженная с направляющим элементом часть имеет соединительные части (31), расположенные вокруг нее, как изображено на фиг. 32. Один конец каждого рычага прикреплен к соединительным частям, и его другой конец прикреплен к стержню. Штифтовые соединения обеспечивают возможность плоского вращения каждого рычага относительно его соответствующей сопряженной с направляющим элементом части и стержня. Штифты (25) согласно варианту С реализации могут быть штифтами с отверстием под шплинт, имеющими одну головку (как изображено на фиг. 32).

Верхняя внутренняя поверхность трубчатого направляющего элемента является резьбовой для облегчения установки обтекателя (13). Обтекатель сопряжен с верхней стороной втулки и коаксиален с втулкой. Обтекатель имеет центральный трубчатый соединитель (23), который выступает внутрь от центра его внутренней купольной или конусовидной поверхности. Соединитель (23) имеет резьбу на одном конце для обеспечения возможности ввинчивания обтекателя в направляющий элемент. Согласно еще одному варианту реализации соединитель может иметь внутренний диаметр, который больше диаметра направляющего элемента, для навинчивания поверх направляющего элемента. Имеется уступ, проходящий вокруг периферийной части открытого конца обтекателя (13). Указанный уступ сопряжен с уступом, проходящим вдоль открытого конца боковой стенки (27), для обеспечения гладкой непрерывной поверхности между обтекателем и боковой стенкой.

При вращении втулки к обтекателя приложен момент, который имеет тенденцию к затягиванию обтекателя. В то же время центробежные силы тянут лопасти в наружном направлении, что вызывает перемещение стержней в наружном направлении. Указанное перемещение в наружном направлении преобразуется посредством прикрепленных рычагов во вращение сопряженной с направляющим элементом части. Указанное перемещение в наружном направлении прекращается при достижении баланса моментов вокруг сопряженной с направляющим элементом части. Баланс происходит между моментом, являющимся результатом деформации упругого элемента, и моментом, являющийся результатом центробежных сил, приложенных к лопастям.

Все три лопасти механически принуждены иметь один и тот же угол установки при одинаковой

скорости вращения независимо от веса лопасти или ее ориентации. Лопасти в нижней части диска, образуемого их вращением, увеличивают силу, действующую в наружном направлении. В то же время другие лопасти в верхней части диска, образуемого их вращением, уменьшают силу, действующую в наружном направлении. Таким образом, действие веса лопасти автоматически компенсируется независимо от угла наклона диска, образуемого вращающимися лопастями, или локального ускорения свободного падения. Этот механизм будет работать одинаково хорошо в космическом пространстве, на Марсе, в горизонтальной плоскости, вертикальной плоскости или в любой плоскости между ними. Узел компенсации веса лопасти согласно варианту С реализации механически принуждает все лопасти смещаться на одно и то же продольное расстояние и иметь один и тот же угол установки в данный момент времени. Если возникает чрезмерное трение в одной из направляющих, соответствующая лопасть не будет отклоняться от угла установки других лопастей.

В описанной системе управления шагом используется простое механическое устройство, которое не подвержено влиянию перебоев в подаче энергии, погрешностей датчиков или ошибок пользователя. Такой подход повышает надежность системы. Общая конструкция является достаточно простой. Затраты на изготовление и техническое обслуживание, как ожидается, будут обоснованно низкими.

Несмотря на то, что предшествующее письменное описание настоящего изобретения обеспечивает возможность специалисту в данной области техники осуществить и использовать то, что в настоящее время считается наилучшим режимом настоящего изобретения, специалисты поймут и оценят возможные изменения, сочетания и эквиваленты данного конкретного варианта реализации, способа и примеров, представленных в настоящем документе. Таким образом, настоящее изобретение не должно быть ограничено представленными выше описанными вариантами реализации, способами и примерами, но включает все варианты реализации и способы в объеме охраны и принципа настоящего изобретения.

(1) Определения.

Термин "вал" относится к валу, вокруг которого вращаются втулка и лопасти. Этот вал может быть соединен с двигателем непосредственно или через редуктор, или другой набор передаточных механизмов.

Термин "двигатель" в целях настоящего патента интерпретируется с включением в себя двигателей, машин и генераторов. "Двигатель" приводит в действие вращающиеся лопасти или приводится в действие вращающимися лопастями.

Термин "упругий элемент" относится к любой эластичной части или набору частей, соединенных с лопастями прямо или косвенно, которые могут сопротивляться перемещению лопастей относительно корпусов лопасти.

Термин "направляющая" относится к любому направляющему элементу, пазу, щели, каналу, дорожке, шине, звену стержню, или другому устройству, которое принуждает должным образом сконструированные сопряженные с направляющей части к перемещению вдоль него. Термин "направляющая" конкретно применим к механизмам установки шага.

Термин "сопряженная с направляющей часть" относится к любой выступающей части, штифту, язычку, ролику, колесу, ползуну, кольцу или другому устройству, выполненному с возможностью сопряжения с направляющей для принудительного перемещения вдоль указанной направляющей. Термин "сопряженная с направляющей часть" конкретно применим к механизмам установки шага.

Термин "направляющий элемент" относится к любому направляющему элементу, пазу, щели, каналу, дорожке, рельсу, планке, стержню, трубе или другому устройству, выполненному с возможностью принуждения должным образом спроектированных сопряженных с направляющим элементом частей перемещаться вдоль него. Термин "направляющий элемент" конкретно применим к механизмам компенсации веса лопасти.

Термин "сопряженная с направляющим элементом часть" относится к любой выступающей части, язычку, ролику, колесу, ползуну, кольцевому выступу, трубе или другому устройству, которое выполнено с возможностью сопряжения с направляющим элементом для принудительного перемещения вдоль указанного направляющего элемента. Термин "сопряженная с направляющим элементом часть" конкретно применим к механизмам компенсации веса лопасти.

Термин "удерживающая часть" относится к любой части, которая препятствует перемещению лопастей в наружном направлении достаточно далеко для выскальзывания или выхода из их соответствующих корпусов для лопасти. Удерживающие части не обязательно являются кольцевыми.

Термин "механизм шага" относится к любому механизму или набору механизмов, используемых для принуждения лопастей устанавливать угол установки, когда они перемещаются относительно корпусов для лопасти.

Термин "механизм компенсации веса лопасти" относится к набору частей, который частично или полностью противодействует воздействию веса лопасти на установку угла установки лопасти.

Термины "винтовой" и "спиральный" относятся к кривой или перемещению вдоль кривой, образованной любой линией, проведенной на плоскости, когда эта плоскость обернута вокруг цилиндрической поверхности.

Термин "любая линия" включает в себя линии, которые изогнуты и/или имеют прерывистые (не гладкие) производные.

Термины "цилиндрический", "цилиндр" и "цилиндрически" не следует рассматривать как ограничение прямым, сплошным или круговым цилиндрами.

(2) Список символов.

- 1 - лопасть,
- 2 - корпус для лопасти,
- 3 - упругий элемент,
- 4 - механизм установки шага,
- 5 - направляющая,
- 6 - сопряженная с направляющей часть,
- 7 - механизм компенсации веса лопасти,
- 8 - направляющий элемент,
- 9 - сопряженная с направляющим элементом часть,
- 10 - вал,
- 11 - удерживающая часть,
- 12 - втулка,
- 13 - обтекатель,
- 14 - двигатель,
- 15 - крышка двигателя,
- 16 - комель лопасти,
- 17 - нормальный подшипник,
- 18 - бинормальный подшипник,
- 19 - стержень,
- 20 - подшипник,
- 21 - ограничитель,
- 22 - вкладыш,
- 23 - соединитель,
- 24 - рычаг,
- 25 - штифт,
- 26 - задняя стенка,
- 27 - боковая стенка,
- 28 - установочное отверстие,
- 29 - ключ,
- 30 - ключевой паз,
- 31 - соединительные части,
- 40 - ось втулки,
- 41 - продольная ось корпуса для лопасти,
- 42 - воображаемая плоскость,
- 43 - сегмент спирального пути,
- 44 - боковая внутренняя поверхность корпуса для лопасти,
- 45 - боковая наружная поверхность корпуса для лопасти,
- 46 - боковая внутренняя поверхность комля лопасти,
- 47 - боковая наружная поверхность комля лопасти,
- 48 - пружина кручения,
- 49 - первый конец стержня,
- 50 - второй конец стержня,
- 51 - первый конец рычага,
- 52 - второй конец рычага,
- 53 - секция увеличения шага,
- 54 - секция уменьшения шага,
- 55 - установочная секция,
- 100 - система управления шагом.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система (100) управления шагом, содержащая:

- (a) втулку (12);
- (b) корпус (2) для лопасти, расположенный на втулке (12) вокруг оси (40) втулки;
- (c) лопасть (1), взаимодействующую с корпусом (2) для лопасти,
 - (a) выполненную с возможностью перемещения по спирали к оси (40) втулки и от нее вдоль сегмента спирального пути (43) для вызова изменения угла установки лопасти (1), причем направление спирали проходит вдоль продольной оси (41) корпуса;
 - (b) где имеются по меньшей мере две лопасти (1) и два корпуса (2) для лопасти;

(d) упругий элемент (3), прямо или косвенно притягивающий лопасть (1) к оси (40) втулки; и
 (e) механизм (4) установки шага, выполненный с возможностью способствования перемещению лопасти (1) по спирали вокруг продольной оси (41) корпуса:

(a) в направлении от оси (40) втулки, если без учета других сил центробежная сила больше, чем противодействующая упругая сила в продольном направлении (41) корпуса, когда обе силы приложены к лопасти (1), и когда центробежная сила является результатом вращения втулки (12), а упругая сила является результатом действия одного или более упругих элементов (3); или

(b) в направлении к оси (40) втулки, если без учета других сил указанная центробежная сила меньше, чем указанная упругая сила, действующая в продольном направлении (41) корпуса,

при этом механизм (4) установки шага содержит направляющую (5), которая простирается вдоль сегмента спирального пути; и сопряженную с направляющей часть (6), причем между направляющей (5) и сопряженной с ней частью (6) существует отношение связанного перемещения, которое включает в себя скольжение или качение вдоль друг друга, для обеспечения возможности перемещения лопасти (1) по спирали вдоль продольной оси (41) корпуса;

механизм (4) установки шага содержит механизм (7) компенсации веса лопасти, который полностью или частично противодействует нарушающему балансировку воздействию веса лопасти на продольное относительно корпуса для лопасти положение лопасти относительно других лопастей, причем механизм (7) компенсации веса лопасти содержит:

(a) направляющий элемент (8), расположенный вокруг оси (40) втулки; и

(b) сопряженную с направляющим элементом часть (9), причем перемещение указанной сопряженной с направляющим элементом части (9) ограничено перемещением вокруг направляющего элемента (8).

2. Система (100) управления шагом по п.1, в которой:

(a) направляющая (5) расположена на боковой поверхности (44, 45) корпуса (2) для лопасти; и

(b) сопряженная с направляющей часть (6) расположена на боковой поверхности (46, 47) комля (16) лопасти.

3. Система (100) управления шагом по п.1, в которой:

(a) направляющая (5) расположена на боковой поверхности (46, 47) комля (16) лопасти; и

(b) сопряженная с направляющей часть (6) расположена на боковой поверхности (44, 45) корпуса (2) для лопасти.

4. Система (100) управления шагом по п.1, в которой:

(a) внутренний диаметр комля (16) лопасти больше, чем наружный диаметр соответствующего ему корпуса (2); и

(b) комель (16) лопасти выполнен с возможностью скольжения по верху соответствующего ему корпуса (2) для лопасти.

5. Система (100) управления шагом по п.1, в которой корпус (2) для лопасти полностью или частично содержится внутри втулки (12).

6. Система (100) управления шагом по п.5, в которой корпус (2) для лопасти выступает радиально наружу за внешнюю боковую поверхность втулки (12).

7. Система (100) управления шагом по п.1, в которой направляющий элемент (8) имеет некруглое поперечное сечение или центр, который вертикально смещен от оси (40) втулки.

8. Система (100) управления шагом по п.1, в которой упругим элементом (3) является цилиндрическая пружина, которая:

(a) выровнена с продольной осью (41) корпуса;

(b) проходит через втулку (12), боковую стенку (27) и корпус (2) для лопасти;

(c) соединена одним своим концом с комлем (16) лопасти и другим своим концом - с механизмом (7) компенсации веса лопасти.

9. Система (100) управления шагом по п.1, в которой:

(a) направляющий элемент (8) имеет цилиндрическую форму; и

(b) сопряженная с направляющим элементом часть (9) имеет цилиндрическую форму и является концентрической с направляющим элементом (8), причем сопряженная с направляющим элементом часть (9) выполнена с возможностью вращения вокруг направляющего элемента (8).

10. Система (100) управления шагом по п.1, также содержащая:

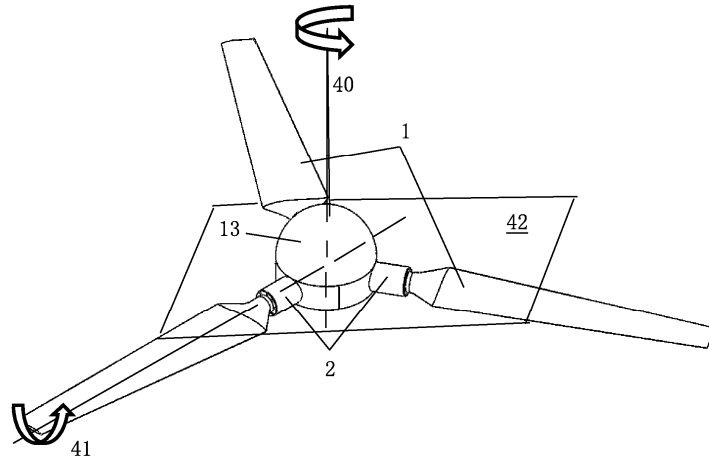
(a) стержень (19), имеющий первый конец и второй конец;

(b) рычаг (24), имеющий первый конец и второй конец, причем первый конец стержня (19) находится внутри комля (16) лопасти или корпуса (2) для лопасти и проходит через отверстие в боковой стенке втулки (12), второй конец стержня (19) шарнирно соединен с первым концом рычага (24), второй конец которого шарнирно соединен с сопряженной с направляющим элементом частью (9).

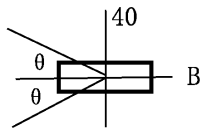
11. Система (100) управления шагом по п.1, в которой упругим элементом (3) является пружина (48) кручения, которая окружает внутреннюю часть или наружную часть направляющего элемента (8) и соединена с сопряженной с направляющим элементом частью (9).

12. Система (100) управления шагом по п.1, в которой:

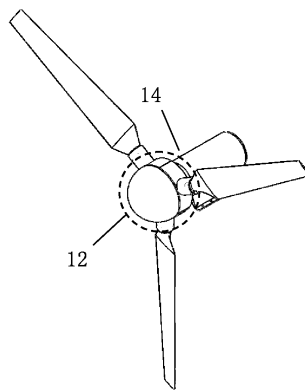
- (а) вкладыш (22) расположен вокруг стержня (19) для уменьшения трения, когда стержень (19) скользит во втулку (12) и из втулки (12) через ее боковую стенку (27); и
 (б) подшипник (20), который уменьшает трение, когда лопасть (1) вращается относительно стержня (19).



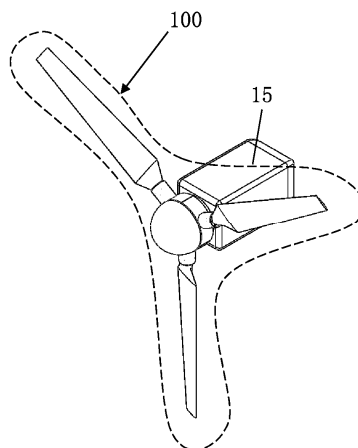
Фиг. 1А



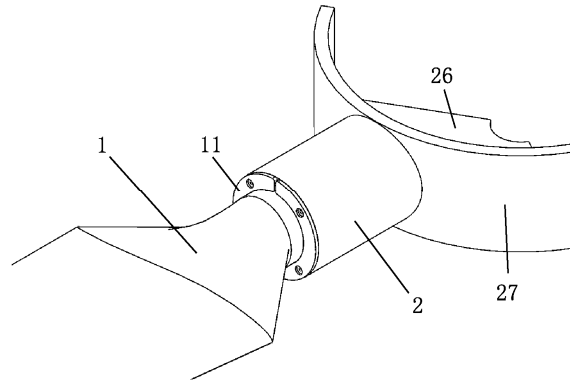
Фиг. 1В



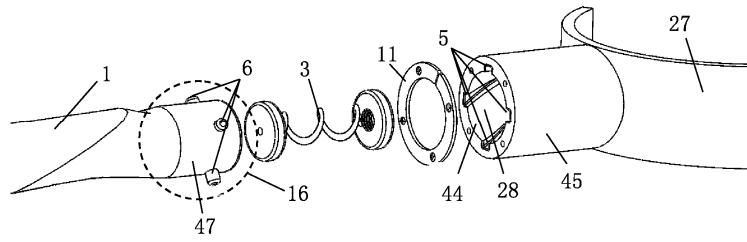
Фиг. 2



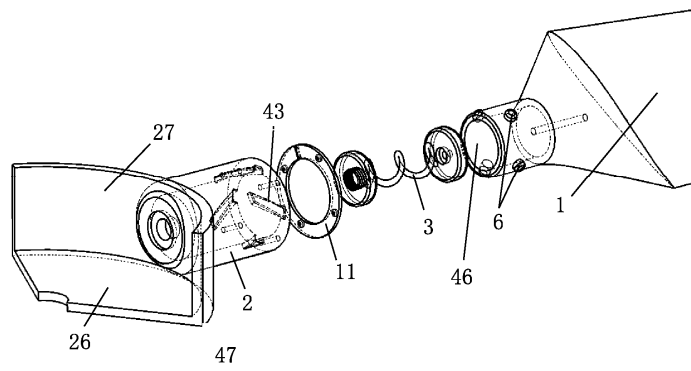
Фиг. 3



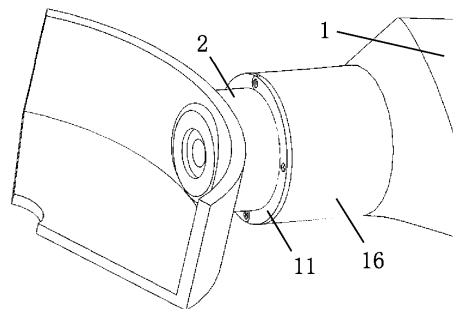
Фиг. 4



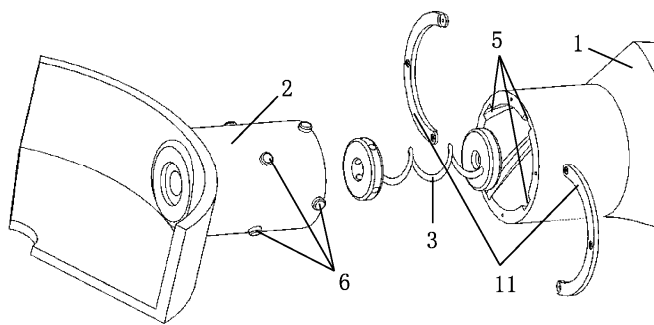
Фиг. 5



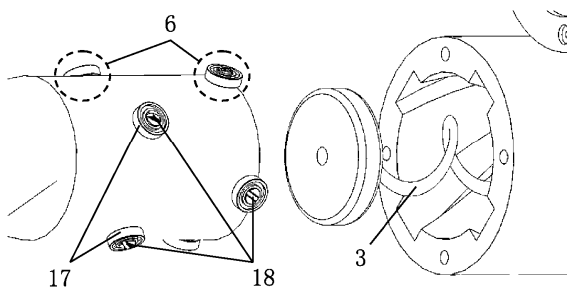
Фиг. 6



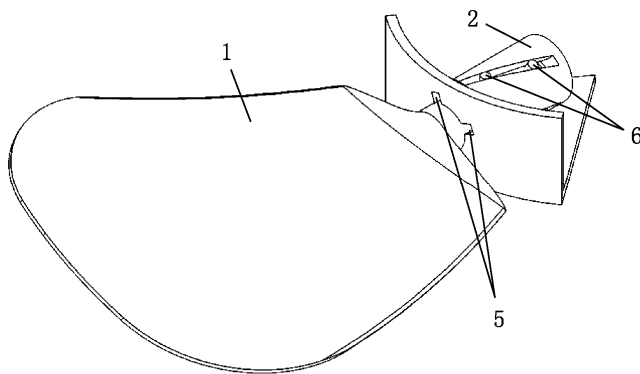
Фиг. 7



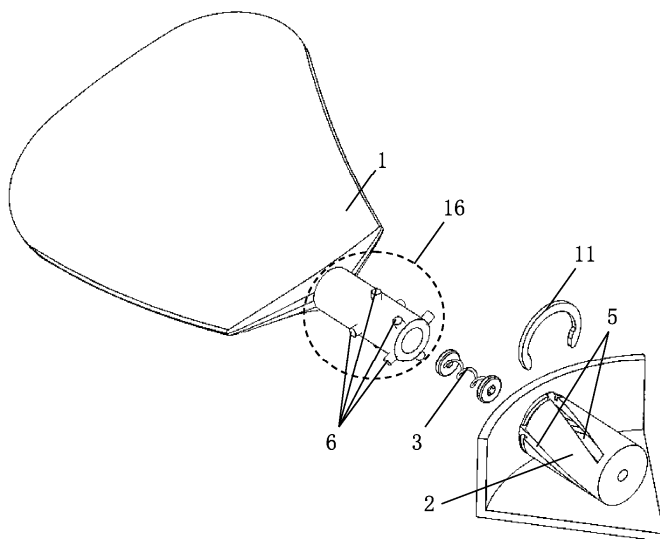
Фиг. 8



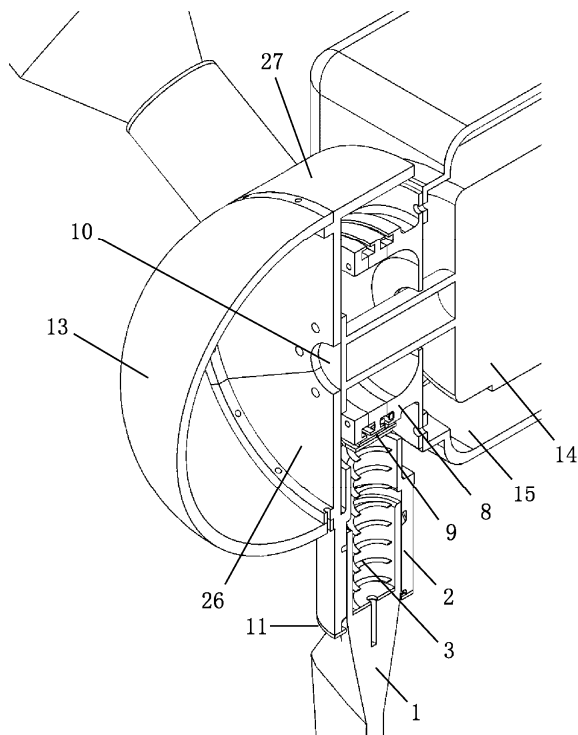
Фиг. 9



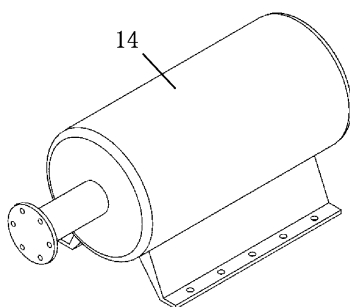
Фиг. 10



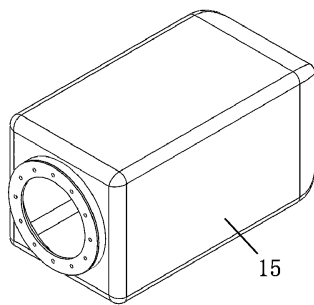
Фиг. 11



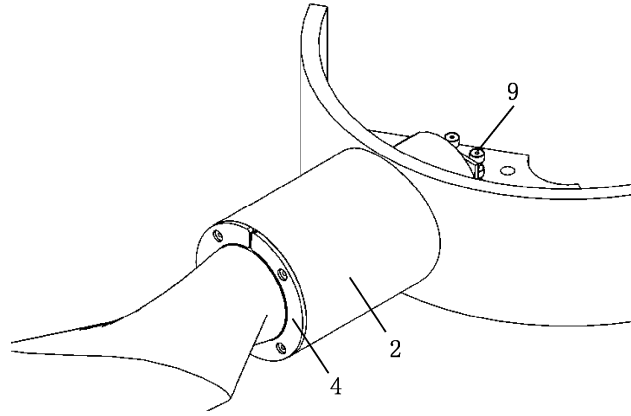
Фиг. 12



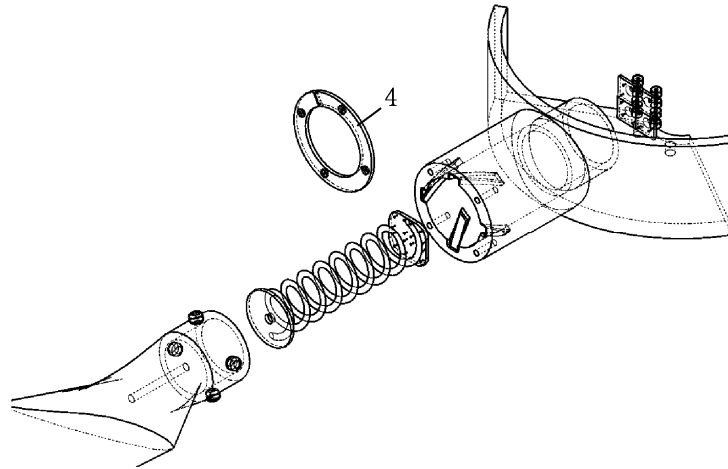
Фиг. 13



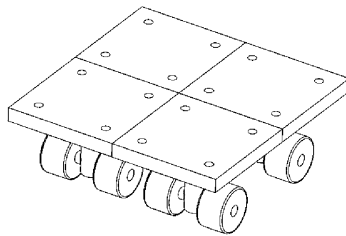
Фиг. 14



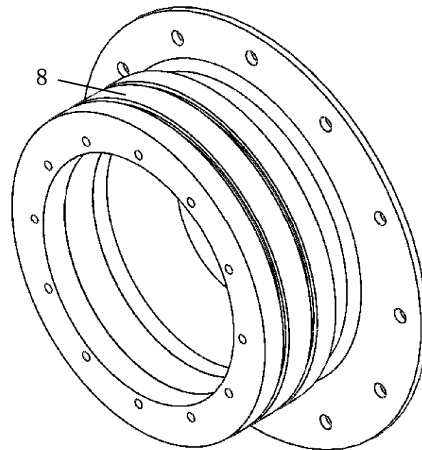
Фиг. 15



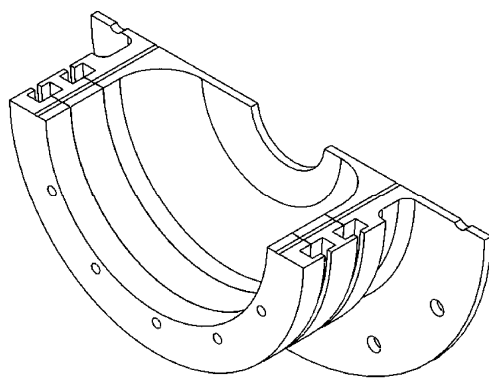
Фиг. 16



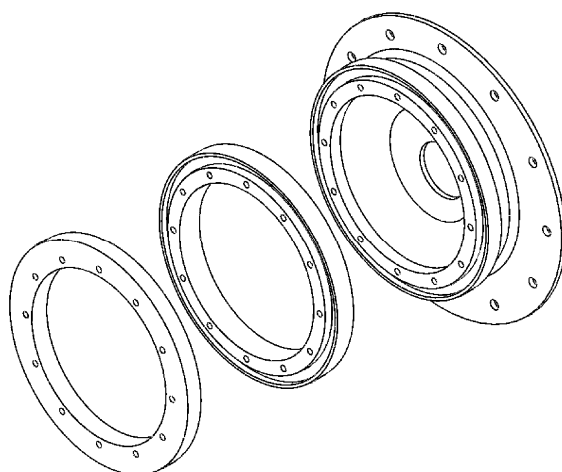
Фиг. 17



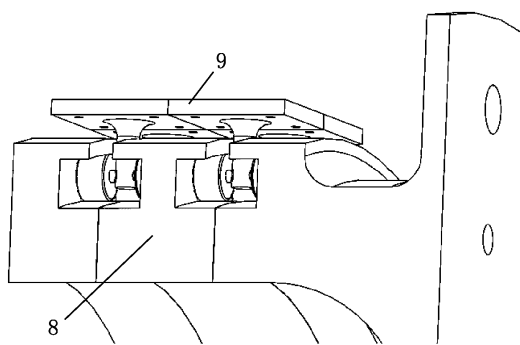
Фиг. 18



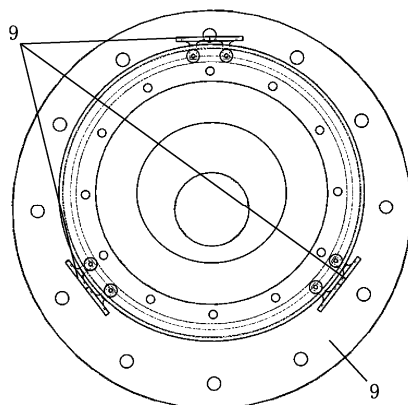
Фиг. 19



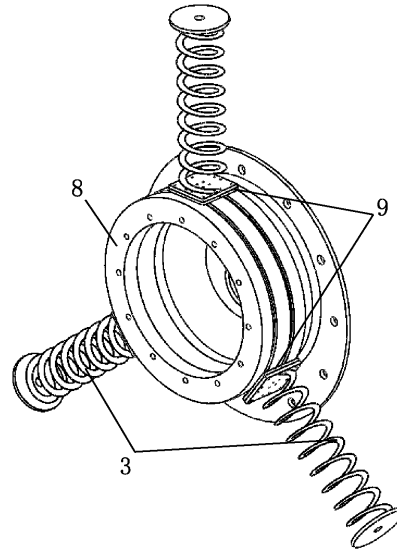
Фиг. 20



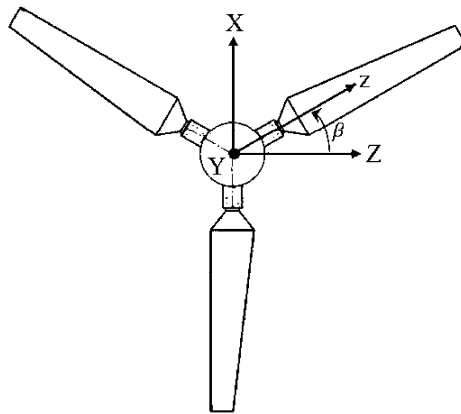
Фиг. 21



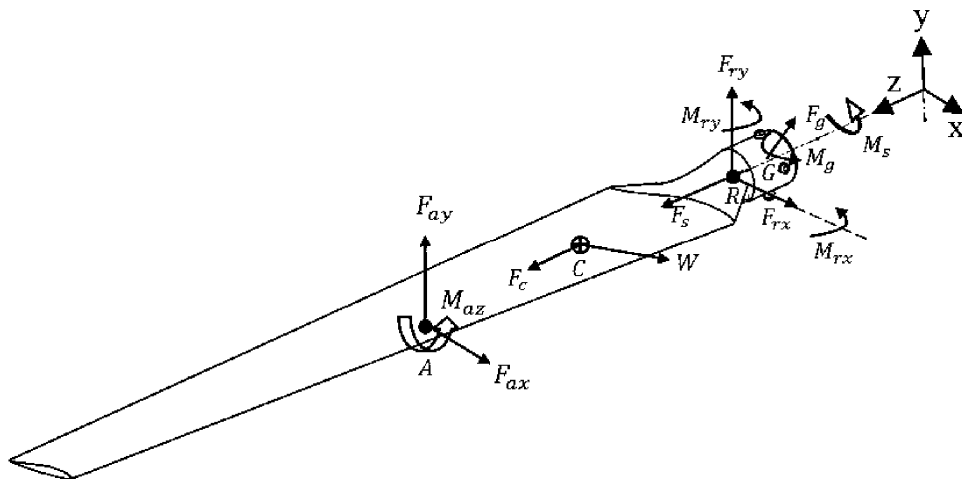
Фиг. 22



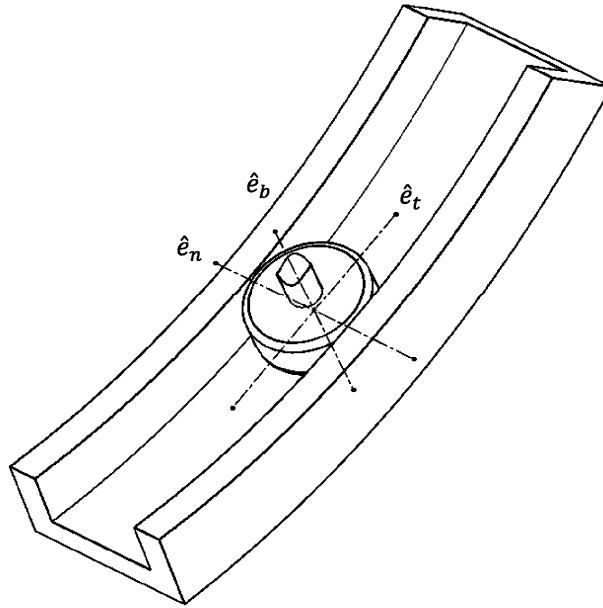
Фиг. 23



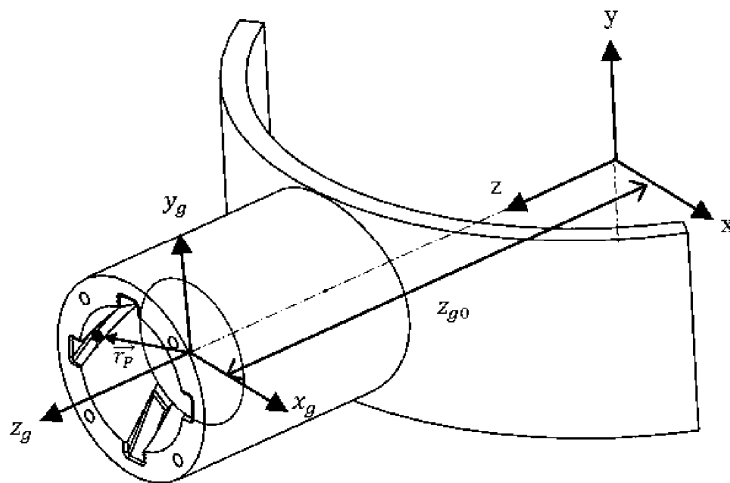
Фиг. 24



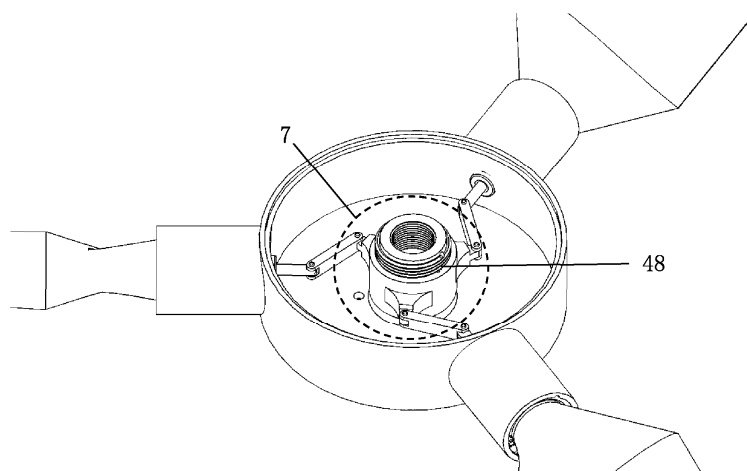
Фиг. 25



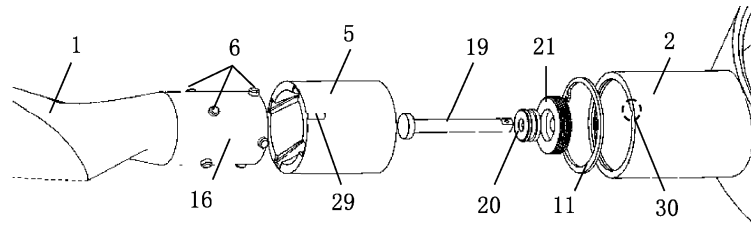
Фиг. 26



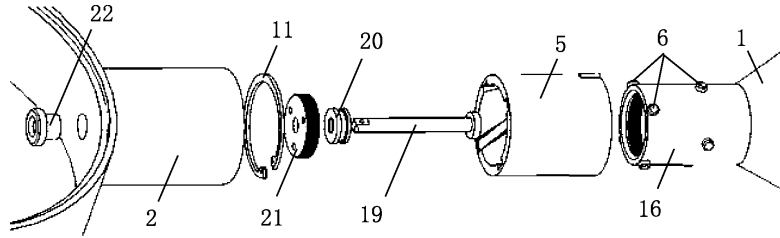
Фиг. 27



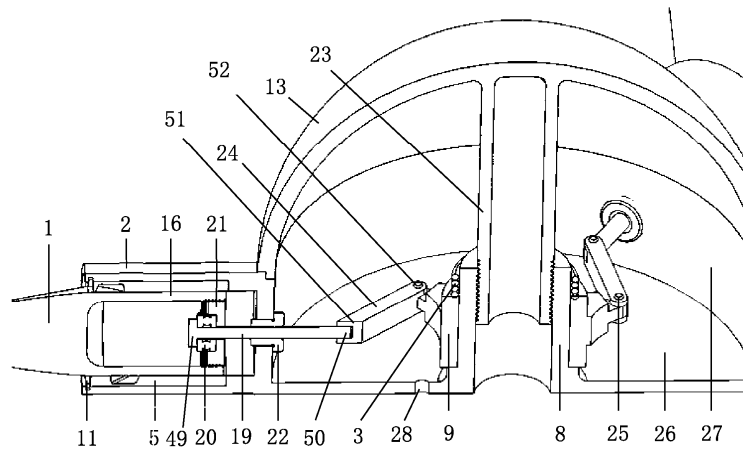
Фиг. 28



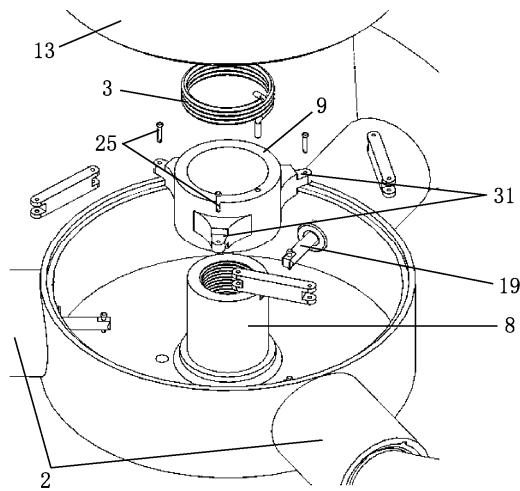
Фиг. 29



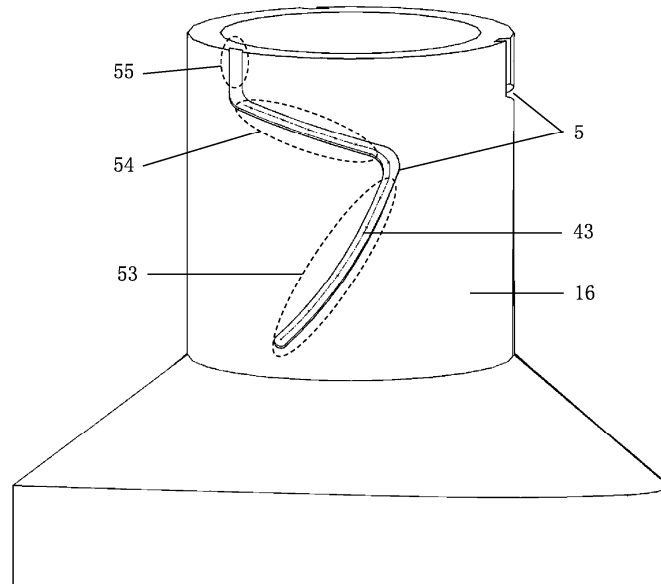
Фиг. 30



Фиг. 31



Фиг. 32



Фиг. 33



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
