

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046446**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.03.14**

(51) Int. Cl. **F04D 29/44** (2006.01)  
**F04D 29/66** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202291979**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.01.15**

---

(54) **ДИФфуЗОР С НЕПОСТОЯННЫМ ШАГОМ ЛОПАТОК ДИФфуЗОРА И  
ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ТУРБОМАШИНА, СОДЕРЖАЩАЯ УКАЗАННЫЙ ДИФфуЗОР**

---

(31) **102020000001216**

(56) **US-A1-2013280060**

(32) **2020.01.22**

**DE-A1-3705307**

(33) **IT**

**JP-A-2007315333**

(43) **2022.09.27**

**US-A-5529457**

(86) **PCT/EP2021/025010**

**WO-A1-2015197536**

(87) **WO 2021/148237 2021.07.29**

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

(72) Изобретатель:  
**Тони Лоренцо, Микеласси Витторио  
(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) Новый диффузор (11) для центробежной турбомашины (1), уменьшающий или предотвращающий срыв. Диффузор содержит лопатки (11.1) диффузора, расположенные вокруг оси (А-А) диффузора. Каждая лопатка (11.1) диффузора содержит: переднюю кромку (11.3), заднюю кромку (11.5), сторону (11.7) всасывания, обращенную в радиальном направлении внутрь, и сторону (11.9) нагнетания, обращенную в радиальном направлении наружу. Соответствующий проточный канал образован между стороной (11.7) всасывания первой лопатки (11.1) диффузора и стороной (11.9) нагнетания второй лопатки (11.1) диффузора каждой пары смежно расположенных лопаток диффузора. Лопатки (11.1) диффузора расположены с непостоянным шагом вокруг оси (А-А) диффузора. Шаг (S1, S2) между каждой парой смежно расположенных первых лопаток (11.1) диффузора и вторых лопаток (11.1) диффузора, образующих соответствующий проточный канал между ними, согласован с хордой одной из указанных первой лопатки (11.1) диффузора и второй лопатки (11.1) диффузора.

---

**046446**  
**B1**

**046446**  
**B1**

### **Область применения изобретения**

Изобретение относится к радиальным турбомашинам. Конкретнее, варианты реализации данного изобретения относятся к центробежным турбомашинам, таким как центробежные насосы и/или центробежные компрессоры, содержащие один или большее количество лопаточных диффузоров, т.е. диффузоров с направляющими лопатками.

### **Предпосылки создания изобретения**

Центробежные компрессоры используются в различных областях применения для повышения давления газа. Центробежные компрессоры содержат корпус и одну или большее количество крыльчаток, выполненных с возможностью вращения в корпусе. Механическая энергия, подаваемая на крыльчатку(и), передается вращающейся крыльчаткой газу в форме кинетической энергии. Газ, ускоренный крыльчаткой, протекает через диффузор, окружающий крыльчатку по периметру, который собирает поток газа и уменьшает его скорость, преобразуя кинетическую энергию в давление газа.

Для улучшения направления потока газа через диффузор были разработаны лопаточные диффузоры. Лопатки диффузора перенаправляют поток газа в более радиальном направлении и улучшают аэродинамическую эффективность компрессора. Однако лопатки диффузора создают импульсы давления, которые возбуждают вибрации в лопастях крыльчатки. Вибрации крыльчатки могут привести к разрушению крыльчатки по причине многоциклового усталости (МЦУ).

Для того, чтобы уменьшить риск отказа крыльчатки по причине вибрации, индуцированной лопатками диффузора, были разработаны центробежные компрессоры, которые содержат так называемый непериодический диффузор. Непериодический диффузор представляет собой лопаточный диффузор, в котором лопатки диффузора расположены по несимметричной и непериодической схеме. Непериодические диффузоры для центробежных компрессоров описаны, например, в документах US 7845900 и WO 2011/096981.

Некоторые варианты реализации непериодических диффузоров для центробежных компрессоров содержат лопатки диффузора, которые расположены согласно переменному шагу, т.е. расположены таким образом, что угловой интервал двух соседних лопаток диффузора, образующих проточный канал между ними, отличается от углового интервала двух других соседних лопаток диффузора, образующих другой проточный канал между ними. Было обнаружено, что неправильный (т.е. непостоянный) угловой интервал между лопатками диффузора уменьшает возбуждение вибраций в лопастях крыльчатки.

Однако асимметричная непериодическая конструкция лопаток диффузора отрицательно влияет на рабочий диапазон компрессора. Конкретнее, увеличение углового интервала (шага) между соседними лопатками диффузора приводит к уменьшению густоты соответствующего проточного канала. Густота представляет собой отношение между хордой лопатки (т.е. расстоянием между задней кромкой и передней кромкой лопатки) и шагом между двумя последовательными лопатками. Уменьшение густоты приводит к уменьшению диапазона массового расхода, в пределах которого компрессор может работать без срыва или без значительного уменьшения производительности. Минимальная массовая скорость потока, при которой достигается состояние срыва, увеличивается в результате уменьшения густоты. Таким образом, хотя это благоприятно с точки зрения уменьшения вибрации, переменный шаг лопаток оказывает негативное воздействие по причине снижения эксплуатационной работоспособности компрессора.

В данной области техники будет приветствоваться новая конструкция диффузора, которая улучшает поведение компрессора с точки зрения уменьшения вибраций крыльчатки, с меньшим отрицательным воздействием на рабочий диапазон компрессора.

### **Изложение сущности изобретения**

Согласно одному аспекту данного изобретения предложен диффузор для центробежной турбомшины, такой как центробежный компрессор (или центробежный насос). Диффузор содержит совокупность лопаток диффузора, расположенных по окружности вокруг оси диффузора. Каждая лопатка диффузора содержит: переднюю кромку на первом расстоянии от оси диффузора, заднюю кромку на втором расстоянии от оси диффузора, причем второе расстояние больше первого расстояния, сторону всасывания, обращенную в радиальном направлении внутрь и проходящую от передней кромки до задней кромки, сторону нагнетания, обращенную в радиальном направлении наружу и проходящую от передней кромки до задней кромки. Лопатки диффузора образуют совокупность проточных каналов. Конкретнее, между каждой парой соседних, т.е. последовательных лопаток, между стороной всасывания первой лопатки диффузора и стороной нагнетания второй лопатки диффузора каждой пары лопаток диффузора образован проточный канал. Лопатки диффузора расположены с непостоянным шагом вокруг оси диффузора. Для улучшения рабочего диапазона компрессора и уменьшения отрицательного влияния изменения шага на функциональность компрессора шаг между каждой парой расположенных смежно первой лопатки диффузора и второй лопатки диффузора, образующих соответствующий проточный канал между ними, согласован с хордой, в частности с длиной хорды, одной из указанных первой лопатки диффузора и второй лопатки диффузора.

Конкретнее, хорда, которая согласована с шагом, представляет собой хорду лопатки диффузора, сторона всасывания которой обращена к проточному каналу.

Соотношение между хордой и шагом таково, что уменьшение густоты, которое было бы вызвано

увеличением шага между лопатками диффузора, компенсируется, по меньшей мере частично, увеличением длины хорды.

В данном документе также описан лопаточный диффузор для центробежной турбомашин, в частности центробежного компрессора (или центробежного насоса), содержащий совокупность лопаток диффузора, расположенных по окружности вокруг оси диффузора. Каждая лопатка диффузора содержит: переднюю кромку, заднюю кромку, сторону всасывания, обращенную в радиальном направлении внутрь и проходящую от передней кромки до задней кромки, сторону нагнетания, обращенную в радиальном направлении наружу и проходящую от передней кромки до задней кромки. Соответствующий проточный канал образован между стороной всасывания первой лопатки диффузора и стороной нагнетания второй лопатки диффузора каждой пары лопаток диффузора, расположенных смежно друг к другу. Лопатки диффузора расположены с непостоянным шагом вокруг оси диффузора. Кроме того, лопатки диффузора имеют непостоянные хорды, а отношение между хордой первой лопатки диффузора и шагом между первой лопаткой диффузора и второй лопаткой диффузора каждой пары лопаток диффузора по существу постоянно.

Лопатки диффузора могут быть расположены таким образом, что передние кромки всех лопаток диффузора расположены на одной окружности вокруг оси диффузора. В таком случае шаг между соседними лопатками диффузора, между которыми образован соответствующий проточный канал, представляет собой расстояние вдоль указанной окружности двух передних кромок указанных двух лопаток диффузора, образующих проточный канал.

Однако, как будет более подробно описано в следящем описании вариантов реализации изобретения, лопатки диффузора могут быть расположены таким образом, что не все передние кромки будут размещены вдоль одной окружности минимального диаметра вокруг оси диффузора. Вместо этого две лопатки диффузора по меньшей мере одной пары лопаток диффузора, образующей проточный канал, могут быть расположены с соответствующими передними кромками на переменном расстоянии от оси диффузора.

Таким образом, в более общем смысле шаг между соседними, т.е. последовательными, лопатками диффузора может быть определен как расстояние между средними линиями профиля двух соседних лопаток диффузора, измеряемое на минимальном расстоянии от оси диффузора, на котором присутствуют обе из указанных двух лопаток диффузора.

В данном документе описана также турбомашин, а именно центробежный компрессор или центробежный насос, содержащая по меньшей мере одну крыльчатку и по меньшей мере один лопаточный диффузор, как определено выше и ниже.

Дополнительные особенности и варианты реализации нового диффузора и центробежной турбомашин, содержащей указанный диффузор, описаны ниже и представлены в прилагаемой формуле изобретения, которая образует неотъемлемую часть описания.

#### **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:

фиг. 1 иллюстрирует схематический вид в разрезе компрессора, соответствующий плоскости, содержащей ось вращения компрессора;

фиг. 2 иллюстрирует вид в разрезе, соответствующий линии II-II на фиг. 1, диффузора компрессора по фиг. 1 в одном варианте реализации изобретения;

фиг. 3 иллюстрирует изометрическую проекцию диффузора компрессора по фиг. 1;

фиг. 4 иллюстрирует увеличенную деталь на фиг. 2;

фиг. 5 схематически иллюстрирует характеристическую рабочую кривую ступени компрессора на диаграмме отношения массового расхода к перепаду давления;

фиг. 6 иллюстрирует направление потока в двух различных рабочих точках диаграммы по фиг. 5;

фиг. 7, 8 и 9 иллюстрируют изменение шага, хорды и густоты в диффузоре согласно данному изобретению в трех вариантах реализации изобретения; и

фиг. 10 иллюстрирует вид в разрезе, соответствующий линии II-II на фиг. 1, диффузора компрессора по фиг. 1 в другом варианте реализации изобретения

#### **Подробное описание**

Было обнаружено, что отрицательное влияние на функциональность компрессора вследствие увеличения шага между соседними лопатками диффузора, образующими проточный канал диффузора, можно устранить путем соответствующего увеличения длины хорды лопатки диффузора, сторона всасывания которой обращена к проточному каналу. Таким образом, уменьшение густоты, вызванное увеличением шага, уменьшается и по меньшей мере частично компенсируется соответствующим изменением хорды. В некоторых вариантах реализации изобретения комбинация изменения шага и хорды может быть такой, что густота остается по существу постоянной вокруг диффузора, т.е. в различных проточных каналах, образованных между парами смежных лопаток лопаточного диффузора.

Теперь обратимся к фиг. 1, на которой показана часть центробежного компрессора 1 на виде в раз-

резу вдоль плоскости, содержащей ось вращения компрессора. Часть, показанная на фиг. 1, ограничена одной ступенью центробежного компрессора. Количество ступеней компрессора и, следовательно, количество крыльчаток может отличаться от одного компрессора к другому, согласно конструкции компрессора требованиям к компрессору. Новые особенности диффузора согласно данному изобретению могут быть реализованы в одном, некоторых или предпочтительно всех диффузорах данного компрессора.

Компрессор содержит корпус 3, в котором расположены диафрагмы 5, разделяющие последовательные ступени компрессора. Каждая ступень компрессора содержит крыльчатку 7, поддерживаемую для вращения в корпусе 3. Крыльчатка 7 может быть посажена на горячо на вращающийся вал 9. В других, не показанных, вариантах реализации изобретения крыльчатка 7 может представлять собой стопочную крыльчатку согласно конструкции, известной специалистам в области центробежных компрессоров, и не описываемой в данном документе. Крыльчатка 7 содержит ступицу 7.1 крыльчатки, из которой выступают совокупность лопастей 7.3 крыльчатки. Каждая лопасть 7.3 крыльчатки содержит переднюю кромку 7.5 и заднюю кромку 7.7. Передние кромки 7.5 расположены вдоль входного канала крыльчатки, а задние кромки 7.7 расположены вдоль выходного канала крыльчатки. Задние кромки 7.7 расположены на расстоянии от оси А-А вращения, превышающем расстояние передних кромок 7.5.

В варианте реализации изобретения, показанном на фиг. 1, крыльчатка 7 дополнительно содержит защитный кожух 7.9. В других, не показанных, вариантах реализации изобретения крыльчатка 7 может представлять собой крыльчатку без кожуха, в этом случае защитный кожух 7.9 опущен.

Вокруг выходного отверстия крыльчатки расположен диффузор 11. Диффузор 11 окружает крыльчатку 7 и коаксиален с ней. Диффузор 11 показан на виде в разрезе по фиг. 2, взятом вдоль линии II-II по фиг. 1, и в изометрической проекции по фиг. 3. Увеличенный вид детали по фиг. 2 показан на фиг. 4. Диффузор 11 проходит по окружности вокруг крыльчатки 7 и имеет ось, которая совпадает с осью А-А вращения вала 9.

Диффузор 11 представляет собой так называемый лопаточный диффузор, содержащий совокупность лопаток 11.1 диффузора, расположенных вокруг оси А-А диффузора. Цель лопаток 11.1 диффузора заключается в перенаправлении входящего потока газа в более радиальном направлении, т.е. уменьшении тангенциального компонента скорости потока газа, выходящего из диффузора 11, и усилении восстановления давления, а также общей эффективности ступени.

Каждая лопатка 11.1 диффузора содержит переднюю кромку 11.3 и заднюю кромку 11.5. Расстояние между передней кромкой 11.3 и задней кромкой 11.5 называется хордой В лопатки 11.1 диффузора. Передние кромки 11.3 находятся на расстоянии от оси А-А, меньшем расстояния задних кромок 11.5.

Каждая лопатка 11.1 диффузора дополнительно содержит сторону 11.7 всасывания и сторону 11.9 нагнетания. Аэродинамическая нагрузка на каждую лопатку 11.1 диффузора такова, что сторона всасывания представляет собой сторону лопатки, обращенную по направлению к входному каналу диффузора 11, т.е. сторону лопатки 11.1 диффузора, обращенную в радиальном направлении внутрь. И наоборот, сторона нагнетания представляет собой сторону лопатки 11.1 диффузора, обращенную к выходному каналу диффузора 11, т.е. обращенную в радиальном направлении наружу.

Направление потока газа во входном канале диффузора 11 зависит от массовой скорости потока через компрессор. Более радиальное направление потока (меньший тангенциальный компонент скорости) наблюдается при больших массовых скоростях потока, а более тангенциальное направление потока (большой тангенциальный компонент скорости) наблюдается при меньших массовых скоростях потока. Перепад давления на разных ступенях компрессора увеличивается по мере уменьшения массовой скорости потока.

Фиг. 5 схематически иллюстрирует характеристическую кривую ступени центробежного компрессора на диаграмме отношения массовой скорости потока к перепаду давления. Массовая скорость потока указана на горизонтальной оси, а перепад давления указан на вертикальной оси. Характеристическая кривая обозначена СС. Угол потока на входе диффузора, т.е. направление скорости газа во входном канале диффузора 11, становится более тангенциальным по мере падения массовой скорости потока. Фиг. 6 схематически иллюстрирует углы потока в двух противоположных рабочих точках РА и РВ характеристической кривой. VA и VB представляют собой векторы скорости на передней кромке лопатки 11.1 диффузора, соответствующие рабочим точкам РА и РВ соответственно.

Массовая скорость потока компрессора имеет нижний предел, при котором возникает состояние срыва. Этот предел обозначен как предел SL срыва на диаграмме по фиг. 5. Лопатки 11.1 диффузора срываются преимущественно на стороне 11.7 всасывания. Когда вектор скорости достигает наклона вектора VB, поток отделяется от стороны 11.7 всасывания лопатки 11.1 диффузора. Чтобы предотвратить повреждение компрессора, рабочая точка компрессора должна поддерживаться на безопасном расстоянии от предела SL срыва.

Предел SL срыва может смещаться к правой части диаграммы по фиг. 5, тем самым уменьшая рабочий диапазон компрессора с точки зрения массовой скорости потока, если густота диффузора уменьшается. Густота определяется как отношение между хордой лопаток 11.1 диффузора и расстоянием между двумя последовательными, т.е. расположенными смежно лопатками 11.1 диффузора. У лопаточных диффузоров, в которых шаг между лопатками диффузора постоянен, густота определяется как

$$\sigma=B/S \quad (1)$$

и идентична для каждого проточного канала. В представляет собой хорду лопаток диффузора, а S представляет собой шаг, т.е. расстояние между соседними лопатками 11.1 диффузора, т.е. расстояние двух последовательно расположенных лопаток 11.1 диффузора.

Густота влияет на предел срыва, при этом меньшая густота может означать более ранний срыв, т.е. смещение предела срыва в правую сторону на диаграмме по фиг. 5.

У лопаточных диффузоров современного уровня техники, в которых шаг между расположенными по окружности лопатками 11.1 диффузора непостоянен, густота снова определяется как

$$\sigma_i=B/S_i \quad (2)$$

для каждого i-го проточного канала, где  $S_i$  представляет собой интервал, т.е. шаг между двумя последовательными лопатками 11.1 диффузора, образующими i-й проточный канал. Поскольку густота непостоянна вокруг диффузора, состояние срыва может возникнуть в проточном канале, имеющем наименьшую густоту, т.е. наибольший шаг  $S_i$ . Для работы компрессора в безопасных условиях рабочая точка должна находиться на безопасном расстоянии от предела срыва наиболее критического проточного канала, т.е. имеющего наибольший шаг. Это существенно уменьшает рабочий диапазон компрессора. Таким образом, согласно конструкции компрессора известного уровня техники, уменьшение вибраций, направленное на уменьшение риска отказа крыльчатки по причине многоциклового усталости, уменьшает функциональность компрессора.

Для того, чтобы ослабить указанные выше недостатки, варианты реализации данного изобретения представляют новый подход к конструкции диффузора. Уменьшение густоты, которое определяет увеличение шага между соседними лопатками 11.1 диффузора, сбалансировано путем увеличения хорды соответствующей лопатки диффузора, а конкретнее, лопатки 11.1 диффузора, на стороне всасывания которой может произойти срыв. Эта лопатка диффузора представляет собой ту, сторона всасывания которой обращена к соответствующему проточному каналу.

Согласно фиг. 4, со ссылкой на фиг. 1, 2 и 3, без какой-либо потери целостности, показано увеличенное изображение части диффузора 11. В этом варианте реализации изобретения лопатки 11.1 диффузора расположены согласно двум различным шагам или интервалам  $S_1$  и  $S_2$ . Конкретнее, интервал  $S_2$  больше  $S_1$ .

Конкретнее, в данном варианте реализации изобретения последовательные пары лопаток 11.1 диффузора расположены поочередно с интервалом  $S_1$  и  $S_2$ . Другими словами, перемещаясь в направлении по часовой стрелке вокруг оси диффузора, за первым каналом  $P_1$ , имеющим интервал  $S_1$  между лопатками 11.1 диффузора, образующими его, следует второй канал  $P_2$ , имеющий интервал  $S_2$  ( $S_2 > S_1$ ) между соответствующими лопатками 11.1 диффузора, образующими второй канал  $P_2$ . Следующий канал снова имеет интервал  $S_1$ , и так далее. В этом варианте реализации изобретения каналы  $P_1$ ,  $P_2$  имеют непостоянный шаг.

Если бы хорды В трех расположенных последовательно лопаток, образующих каналы  $P_1$  и  $P_2$ , были одинаковыми, густота первого канала  $P_1$  была бы выше, чем густота второго канала  $P_2$ , согласно следующей формуле:

$$\sigma_{P1}=B/S_1 > B/S_2 = \sigma_{P2} \quad (3)$$

при этом  $S_i$  представляет собой шаг или интервал i-го проточного канала;

$\sigma_{P_i}$  представляет собой густоту i-го проточного канала  $P_i$ .

Канал  $P_2$ , имеющий меньшую густоту, может вызвать более ранний срыв. Поэтому  $P_2$  будет ограничивающим каналом для работы компрессора. Чтобы избежать этого, описанный в данном документе вариант реализации изобретения предусматривает лопатки 11.1 диффузора, имеющие переменную, т.е. непостоянную, хорду В. Конкретнее, хорда В лопаток 11.1 диффузора согласована с шагом, т.е. интервалом S между последовательными или соседними лопатками 11.1 диффузора таким образом, что увеличение хорды В одной из лопаток диффузора, образующих канал P, восстанавливает равновесие густоты канала следующим образом:

$$\sigma_{P1}=B_1/S_1 \approx B_2/S_2 = \sigma_{P2} \quad (4)$$

где  $B_i$  представляет собой хорду одной из двух лопаток 11.1 диффузора, образующих i-й канал  $P_i$ . Конкретнее,  $B_i$  представляет собой хорду лопатки диффузора, сторона 11.7 всасывания которой обращена к i-му каналу  $P_i$ , как проиллюстрировано на фиг. 4. Густота проточного канала диффузора в данном случае определена в виде отношения между хордой 11.1 лопатки диффузора, сторона всасывания которой обращена к проточному каналу, и шагом между двумя лопатками 11.1 диффузора, между которыми образован указанный проточный канал.

Благодаря тому, что хорда В первой лопатки 11.1 диффузора каждого i-го проточного канала  $P_i$  зависит от шага или интервала  $S_i$  между двумя лопатками диффузора, образующими указанный канал, воздействие изменения густоты, вызванное изменением шага, уравновешено изменением хорды.

Таким образом, благоприятный эффект изменения шага в отношении уменьшения вибраций крыльчатки достигается без отрицательного влияния на функциональность компрессора путем уравновешивания уменьшения густоты, которое вызвано увеличением шага, при увеличении хорды соответствующей

лопатки 11.1 диффузора.

В предпочтительных вариантах реализации изобретения соотношение между хордой  $B_i$  каждой лопатки диффузора и шагом или интервалом  $S_i$  каждого  $i$ -го проточного канала  $P_i$  таково, что густота  $\sigma_{P_i}$  проточного канала остается постоянной.

Однако строго постоянное значение густоты не обязательно. Благоприятных эффектов с точки зрения повышения работоспособности компрессора можно достигнуть также, если густота сохраняется по существу постоянной около предварительно заданного значения. В контексте данного документа термин "по существу постоянная" можно понимать как густоту, которая находится в диапазоне  $\pm 20\%$  относительно постоянного предварительно заданного значения густоты. Согласно вариантам реализации изобретения, описанным в данном документе, термин "по существу постоянная" можно понимать как густоту, которая сохраняется в пределах диапазона  $\pm 10\%$  относительно постоянного предварительно заданного значения густоты, а предпочтительно находится в диапазоне  $\pm 5\%$ , и более предпочтительно в диапазоне  $\pm 2\%$ .

Фиг. 7 иллюстрирует диаграмму, показывающую зависимость шага (интервала)  $S$  и хорды  $B$  от углового положения проточных каналов, указанного на оси абсцисс. Шаги последовательно расположенных пар лопаток диффузора обозначены  $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$ . Соответствующая хорда первой лопатки 11.1 диффузора каждого проточного канала  $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$  обозначена  $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n$ . Горизонтальная прямая линия  $\sigma_{const}$  указывает постоянное значение густоты, в то время как  $\sigma_{min}$  и  $\sigma_{max}$  указывают минимальное и максимальное значения допустимого диапазона значений густоты около предварительно заданного постоянного значения густоты  $\sigma_{const}$ . Как отмечено выше,  $\sigma_{min}$  может быть на 20% меньше  $\sigma_{const}$  или предпочтительно на 10% меньше или более предпочтительно на 5% меньше или еще более предпочтительно на 2% меньше  $\sigma_{const}$ . Аналогичным образом,  $\sigma_{max}$  может быть на 20% больше  $\sigma_{const}$  или предпочтительно на 10% больше или более предпочтительно на 5% больше или еще более предпочтительно на 2% больше  $\sigma_{const}$ .

На фиг. 2, 4 показано циклическое изменение шага  $S$  между соседними лопатками 11.1 диффузора и соответствующее циклическое изменение хорды  $B$  лопатки согласно двум различным шагам  $S_1$  и  $S_2$ . В других вариантах реализации изобретения лопатки могут быть расположены согласно более чем двум различным шагам или интервалам  $S_1, S_2$  (фиг. 7).

В других вариантах реализации изобретения изменение как шага, так и хорды может быть случайным, как показано на фиг. 8, а не циклическим. Фиг. 10 показывает вид в разрезе диффузора 11 с расположенными случайным образом лопатками 11.1 диффузора.

В дополнительных вариантах реализации изобретения изменение может быть монотонным, т.е. шаг и хорда могут постепенно уменьшаться вокруг оси А-А диффузора, начиная с первого проточного канала до последнего канала диффузора, как показано на фиг. 9.

Для того, чтобы дополнительно уменьшить вибрации лопастей крыльчатки, дополнительные характеристики лопаток диффузора можно сделать переменными вокруг оси диффузора. Согласно некоторым вариантам реализации изобретения, например, лопатки 11.1 диффузора могут иметь переменные профили. В некоторых вариантах реализации изобретения лопатки диффузора могут иметь переменные радиальные положения передней кромки и/или задней кромки. В дополнительном или альтернативном варианте лопатки диффузора могут иметь переменный наклон.

Кроме того, хотя на фиг. 1 диффузор имеет постоянную высоту, в некоторых вариантах реализации изобретения диффузор может иметь переменную высоту в тангенциальном направлении и/или в направлении потока.

Описанные выше варианты реализации изобретения конкретно относятся к центробежным компрессорам. Однако новые диффузоры согласно данному изобретению можно использовать с преимуществом также в центробежных насосах, имеющих конструкцию, аналогичную показанной на фиг. 1

Типовые варианты реализации изобретения были описаны выше и проиллюстрированы в прилагаемых графических материалах. Специалистам в данной области техники будет понятно, что различные изменения, опущения и добавления можно внести в то, что конкретно описано в данном документе, без отступления от объема изобретения, определенного в следующей формуле изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Диффузор (11) для центробежной турбомашины (1), содержащий: совокупность лопаток (11.1) диффузора, расположенных по окружности вокруг оси (А-А) диффузора; в котором каждая лопатка (11.1) диффузора содержит: переднюю кромку (11.3) на первом расстоянии от оси (А-А) диффузора, заднюю кромку (11.5) на втором расстоянии от оси (А-А) диффузора, причем второе расстояние больше первого расстояния, сторону (11.7) всасывания, обращенную в радиальном направлении внутрь и проходящую от передней кромки (11.3) до задней кромки (11.5), сторону (11.9) нагнетания, обращенную в радиальном направлении наружу и проходящую от передней кромки (11.3) до задней кромки (11.5); причем соответствующий проточный канал образован между стороной (11.7) всасывания первой лопатки (11.1) диффузора и стороной (11.9) нагнетания второй лопатки (11.1) диффузора каждой пары смежно расположенных лопаток диффузора; и при этом лопатки (11.1) диффузора расположены с непостоянным шагом вокруг оси (А-А) диффузора, представляющим расстояние (S1, S2) между передними кромками каждой пары смежно расположенных лопаток (11.1) диффузора; причем указанный шаг (S1, S2) между каждой парой смежно расположенных первых лопаток (11.1) диффузора и вторых лопаток (11.1) диффузора, образующих соответствующий проточный канал между ними, согласован с хордой (В) указанной первой лопатки (11.1) диффузора; при этом лопатки (11.1) диффузора имеют хорды переменной длины; причем шаг (S1, S2) между каждой парой смежно расположенных лопаток (11.1) диффузора и хорда указанной первой лопатки (11.1) диффузора выбраны таким образом, что густота каждого проточного канала (Pi), представляющая собой отношение между хордой первой лопатки (11.1) диффузора и шагом (S1, S2) между первой лопаткой диффузора и второй лопаткой диффузора каждой пары лопаток (11.1) диффузора, сохраняется в пределах диапазона  $\pm 20\%$  относительно постоянного предварительно заданного значения густоты; и при этом лопатки (11.1) диффузора имеют переменные радиальные положения передней кромки (11.3).

2. Диффузор (11) по п.1, в котором шаг между каждой парой смежно расположенных первых лопаток (11.1) диффузора и вторых лопаток (11.1) диффузора, образующих соответствующий проточный канал между ними, согласован с хордой первой лопатки (11.1) диффузора, сторона (11.7) всасывания которой обращена к соответствующему проточному каналу, так что увеличение шага между соседними лопатками (11.1) диффузора, сбалансировано путем увеличения хорды первой лопатки (11.1), для сохранения густоты каждого проточного канала (Pi) в пределах указанного диапазона постоянного значения густоты.

3. Диффузор (11) по п.1 или 2, в котором указанный диапазон равен  $\pm 10\%$  постоянного значения густоты; предпочтительно  $\pm 5\%$  и более предпочтительно  $\pm 2\%$  постоянного значения густоты.

4. Диффузор (11) по одному из предшествующих пунктов, в котором лопатки (11.1) диффузора имеют переменные профили.

5. Диффузор (11) по одному из предшествующих пунктов, в котором изменение как шага, так и хорды нерегулярно.

6. Диффузор (11) по п.1, в котором изменение шага и хорды монотонно, при этом шаг и хорда постепенно уменьшаются вокруг оси А-А диффузора, начиная от первого проточного канала до последнего проточного канала.

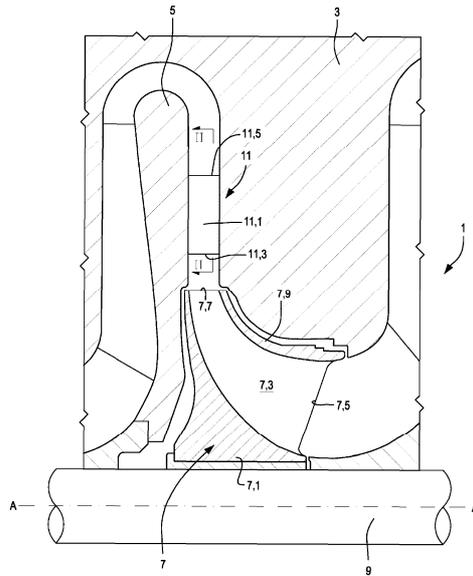
7. Диффузор (11) по одному из предшествующих пунктов, в котором лопатки (11.1) диффузора имеют переменные радиальные положения задней кромки (11.5).

8. Диффузор (11) по одному из предшествующих пунктов, в котором лопатки (11.1) диффузора имеют переменные наклоны.

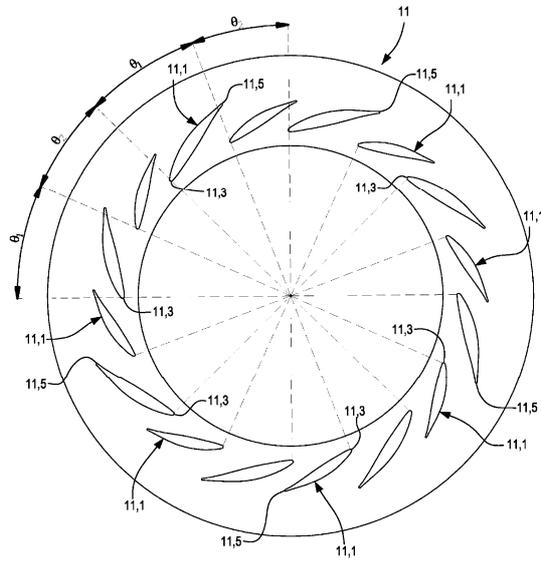
9. Диффузор (11) по одному из предшествующих пунктов, в котором высота диффузора переменная, по меньшей мере, в одном из тангенциального направления и направления потока.

10. Центробежная турбомашина (1), содержащая: по меньшей мере, одну крыльчатку (7), выполненную с возможностью вращения вокруг оси (А-А) вращения; и диффузор (11) по одному из предшествующих пунктов.

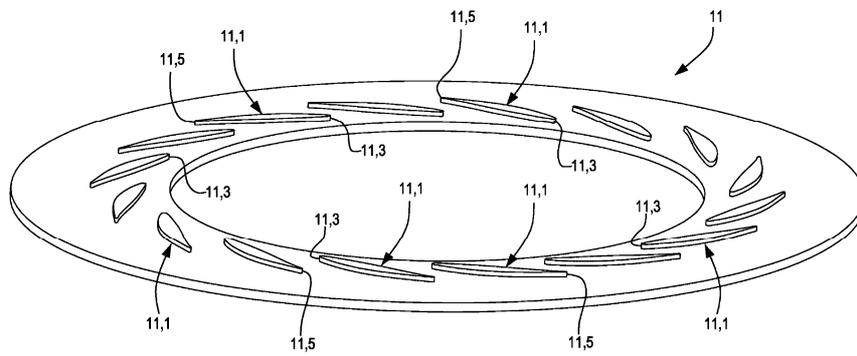
11. Турбомашина по п.10, которая представляет собой центробежный компрессор.



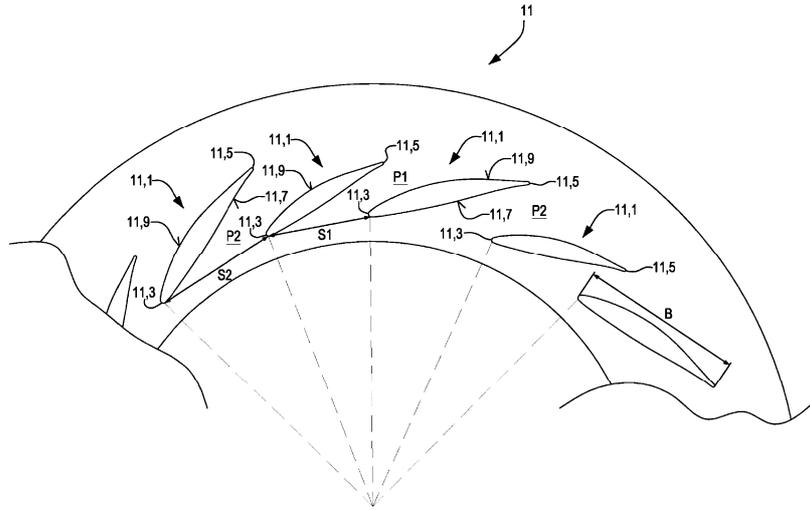
Фиг. 1



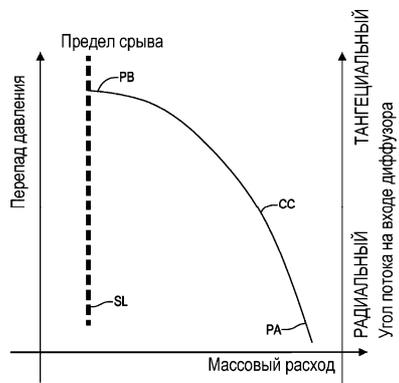
Фиг. 2



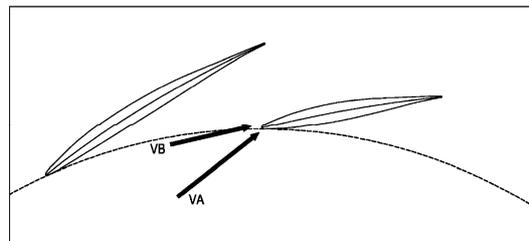
Фиг. 3



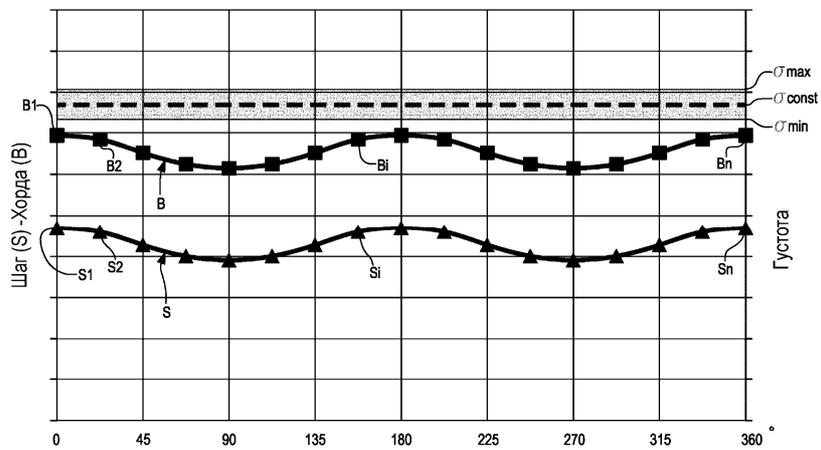
Фиг. 4



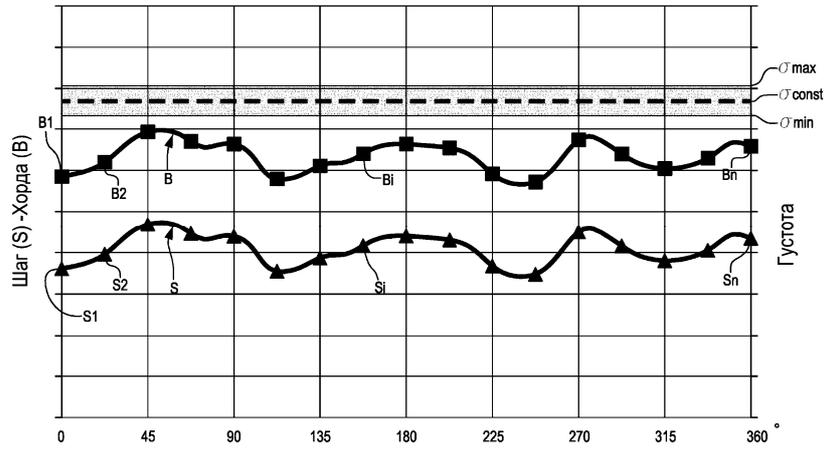
Фиг. 5



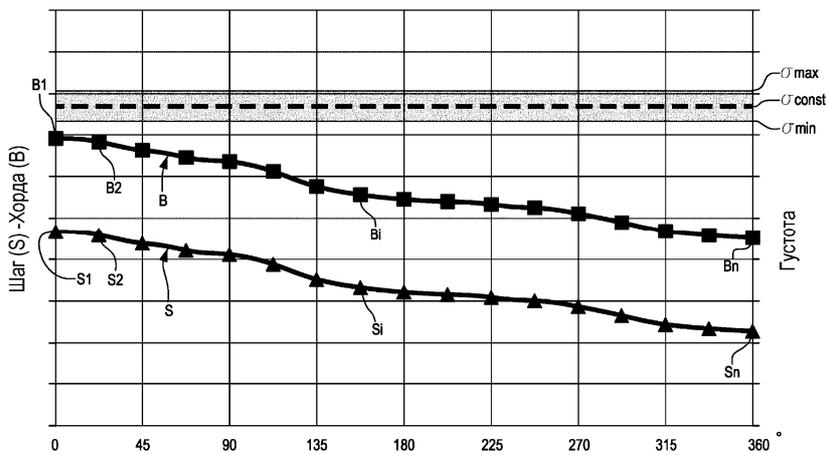
Фиг. 6



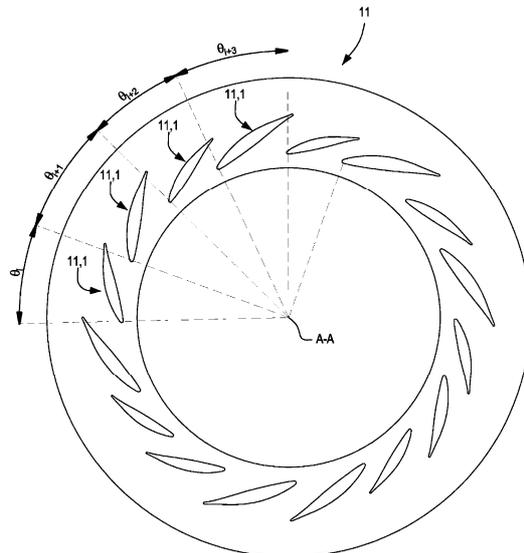
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

