

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202291980 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.09.27

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

(22) Дата подачи заявки
2021.01.15

(54) ОБРАТНЫЙ КАНАЛ С НЕПОСТОЯННЫМ ШАГОМ ЛОПАТОК ОБРАТНОГО КАНАЛА И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ТУРБОМАШИНА, СОДЕРЖАЩАЯ УКАЗАННЫЙ ОБРАТНЫЙ КАНАЛ

(31) 102020000001294

(72) Изобретатель:

(32) 2020.01.23

Тони Лоренцо, Микеласси Витторио,

(33) IT

Гугльельмо Альберто, Гатта

(86) PCT/EP2021/025012

Джузеппе, Паницца Андреа (IT)

(87) WO 2021/148239 2021.07.29

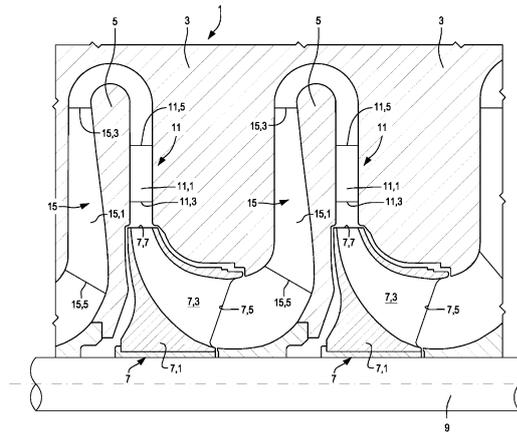
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

НУОВО ПИНЬОНЕ ТЕКНОЛОДЖЕ -
С.Р.Л. (IT)

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) Обратный канал (15) для центробежной турбомашины (1). Обратный канал содержит множество лопаток (15.1) обратного канала, расположенных вокруг оси (А-А) обратного канала. Каждая лопатка (15.1) обратного канала содержит передний край (15.3) на первом расстоянии от оси (А-А) обратного канала, задний край (15.5) на втором расстоянии от оси обратного канала, причем второе расстояние меньше первого расстояния. Между каждой парой расположенных рядом лопаток (15.1) обратного канала сформирован соответствующий проточный канал. Лопатки (15.1) обратного канала расположены с непостоянным шагом вокруг оси (А-А) обратного канала.



A1

202291980

202291980

A1

ОБРАТНЫЙ КАНАЛ С НЕПОСТОЯННЫМ ШАГОМ ЛОПАТОК ОБРАТНОГО КАНАЛА И
ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ТУРБОМАШИНА, СОДЕРЖАЩАЯ УКАЗАННЫЙ ОБРАТНЫЙ КАНАЛ

ОПИСАНИЕ

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 5 [0001] Настоящее описание относится к радиальным турбонасосам. Более конкретно, варианты осуществления настоящего описания относятся к центробежным турбонасосам, таким как центробежные компрессоры и/или центробежные насосы, содержащих один или более новых лопатных, то есть лопаточных, обратных каналов.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 10 [0002] Центробежные компрессоры применяют в различных областях применения для повышения давления газа. Центробежные компрессоры содержат неподвижную часть, такую как корпус, и одну или более крыльчаток, выполненных с возможностью вращения в корпусе. Механическая энергия, подаваемая на крыльчатку (-и), передается вращающейся крыльчаткой газу в виде кинетической энергии. Газ, ускоренный крыльчаткой (-ами), протекает через
15 диффузор, окружающий каждую крыльчатку, который собирает поток газа и уменьшает его скорость, преобразуя кинетическую энергию в давление газа. Если компрессор содержит множество крыльчаток, между диффузором расположенной выше по потоку крыльчатки и входным каналом расположенной ниже по потоку крыльчатки расположен обратный канал для подачи газа от расположенной выше по потоку крыльчатки к расположенной ниже по потоку
20 крыльчатке.

- [0003] Для лучшего направления потока газа через диффузор и обратный канал и улучшения восстановления давления были разработаны лопаточные диффузоры и лопаточные обратные каналы. При улучшении эффективности компрессора, лопатные или лопаточные обратные каналы генерируют импульсы давления, которые возбуждают вибрации в лопатках
25 крыльчатки, расположенной ниже по потоку от обратного канала. Вибрации крыльчатки могут привести к выходу из строя крыльчатки из-за многоциклового усталости (HCF). Это, в частности, становится проблемой тогда, когда частота вибрации, возбуждаемой лопаточным обратным каналом в крыльчатке, расположенной ниже по потоку от него, близка к критической частоте крыльчатки или совпадает с ней таким образом, что могут возникать резонансные явления. В настоящее время для ограничения этой проблемы количество лопаток обратного канала выбирают таким образом, чтобы частота вибрации, создаваемая обратным каналом на расположенной ниже по потоку крыльчатке, не совпадала с резонансной частотой
30 крыльчатки.

- [0004] В данной области будет желательной улучшенная конструкция обратного канала, направленная на более эффективное снижение вибраций в крыльчатках компрессора.
35

ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] В соответствии с одним аспектом, в настоящем документе описан новый лопастной или лопаточный обратный канал для центробежной турбомашины, в частности центробежного компрессора. Обратный канал содержит множество лопаток обратного канала, расположенных
5 вокруг оси обратного канала. Каждая лопатка обратного канала содержит передний край и задний край. Между каждой парой расположенных рядом, т. е. последовательных, лопаток обратного канала сформирован соответствующий проточный канал. Лопатки обратного канала расположены с непостоянным шагом вокруг оси обратного канала.

[0006] В соответствии с дополнительным аспектом, в настоящем документе описана
10 центробежная турбомашина, в частности, центробежный компрессор, которая содержит неподвижную часть, такую как корпус, и по меньшей мере две крыльчатки, выполненных с возможностью вращения в неподвижной части, т. е. в корпусе. Ниже по потоку от каждой крыльчатки расположен диффузор. Кроме того, между первой крыльчаткой и второй крыльчаткой расположен новый лопаточный обратный канал, как описано выше.

15 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0007] Описанные варианты осуществления изобретения и многие сопутствующие ему преимущества можно более полно оценить и понять в ходе изучения следующего подробного описания, рассматриваемого в связи с прилагаемыми чертежами, причем:

на Фиг. 1 представлен схематический вид в разрезе части компрессора;

20 на Фиг. 2 представлен схематический вид в разрезе обратного канала в соответствии с плоскостью, перпендикулярной оси вращения, в одном варианте осуществления;

на Фиг. 3 представлен изометрический вид части обратного канала;

на Фиг. 4 представлен схематический вид в разрезе обратного канала в соответствии с плоскостью, перпендикулярной оси вращения, в другом варианте осуществления; и

25 на Фиг. 5 и Фиг. 6 представлены сравнительные графики, демонстрирующие анализ содержания гармоник вибраций крыльчатки в одном варианте осуществления в соответствии с предпосылками создания изобретения техники и в вариантах осуществления, показанных на Фиг. 2 и Фиг. 4.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

30 [0008] Для снижения вибраций лопастей крыльчатки в центробежной турбомашине, в частности, в центробежном компрессоре, лопасти или лопатки одного, некоторых или всех возвратных каналов турбомашины расположены с непостоянным шагом, т. е. интервал между по меньшей мере одной парой лопаток обратного канала, формирующей проточный канал обратного канала, отличается от интервала между по меньшей мере другой парой лопаток
35 обратного канала, формирующей другой проточный канал обратного канала. Непостоянный шаг оказывает благоприятное воздействие в плане снижения амплитуды вибрации лопастей крыльчатки, как будет подробно описано ниже.

[0009] Со ссылкой на Фиг. 1 показана часть центробежного компрессора 1. Секция на Фиг. 1 ограничена двумя ступенями центробежного компрессора. Количество ступеней компрессора и, следовательно, количество крыльчаток может отличаться в зависимости от компрессора в соответствии с конструкцией компрессора и требованиями к компрессору. Новые признаки обратного канала в соответствии с настоящим описанием могут быть реализованы в одном, некоторых или предпочтительно всех обратных каналах, обеспеченных в компрессоре.

[0010] Компрессор содержит неподвижную часть 3, такую как корпус 3, в которой расположены диафрагмы 5, разделяющие последовательные ступени компрессора. Каждая ступень компрессора содержит крыльчатку 7, поддерживаемую с возможностью вращения в корпусе 3. Крыльчатка 7 может быть посажена с натягом на вращающийся вал 9. В других вариантах осуществления, которые не показаны, крыльчатка 7 может представлять собой сложенную крыльчатку в соответствии с конструкцией, известной специалистам в области центробежных компрессоров, и не описанной в настоящем документе. Крыльчатки 7 и вал 9 в совокупности образуют ротор компрессора, выполненный с возможностью вращения в корпусе 3 вокруг оси А-А вращения. Крыльчатка 7 имеет ступицу 7.1 крыльчатки, из которой выступает множество лопастей 7.3 крыльчатки. Каждая лопасть 7.3 крыльчатки имеет передний край 7.5 и задний край 7.7. Передние края 7.5 расположены вдоль входного канала крыльчатки, а задние края 7.7 расположены вдоль выходного канала крыльчатки. В варианте осуществления, показанном на Фиг. 1, крыльчатка 7 дополнительно содержит кожух 7.9. В других вариантах осуществления крыльчатка 7 может представлять собой не защищенную кожухом крыльчатку, и в этом случае кожух 7.9 будет опущен.

[0011] Вокруг каждого выходного канала крыльчатки расположен диффузор 11. Каждый диффузор 11 окружает выходной канал крыльчатки 7 и является соосным ему, т. е. центральная ось диффузора 11 совпадает с осью А-А вращения крыльчаток 7.

[0012] В варианте осуществления, показанном на Фиг. 1, диффузоры 11 представляют собой так называемые лопаточные диффузоры или лопастные диффузоры. Каждый лопаточный диффузор обеспечен множеством лопаток 11.1 диффузора, расположенных вокруг оси А-А диффузора. Назначение лопаток 11.1 диффузора состоит в том, чтобы перенаправлять входящий поток газа в более радиальном направлении, т. е. уменьшать тангенциальную составляющую скорости потока газа, поступающего в диффузор 11, и повышать восстановление давления и общую эффективность ступени. Каждая лопатка 11.1 диффузора содержит передний край 11.3 и задний край 11.5.

[0013] В других вариантах осуществления диффузоры 11 могут представлять собой диффузоры без лопаток, т. е. лопатки 11.1 диффузора могут быть опущены.

[0014] Ниже по потоку от диффузора 11, за исключением того, который следует за самой нижней по потоку крыльчаткой (не показана), обеспечено обратное колено 13. Обратное колено 13 образует поворот на 180 градусов в направлении потока газа, выходящего из диффузора 11, от направления радиально наружу к направлению радиально внутрь. За

обратным коленом 13 обеспечен обратный канал 15, который направляет поток газа из обратного колена 13 внутрь к следующей крыльчатке 7. Функция обратного канала заключается в равномерной подаче потока газа к каждой крыльчатке 7 ниже по потоку от него с минимальными потерями. Каждый обратный канал 15 обеспечен множеством лопаток или лопастей 15.1 обратного канала. Каждая пара расположенных рядом лопаток 15.1 обратного канала формирует между собой проточный канал для газа. Форма и распределение лопаток 15.1 обратного канала будут более подробно описаны ниже. Как отмечалось выше, расположенный в самом низу по потоку диффузор не обеспечен обратным коленом 13, а скорее соединен по текучей среде со спиральной камерой (не показана), которая собирает поток газа из последней ступени компрессора. Спиральная камера, в свою очередь, соединена по текучей среде с выходным каналом компрессора (не показан).

[0015] С дальнейшей ссылкой на Фиг. 1, на Фиг. 2 и Фиг. 3 показаны вид в разрезе и изометрический вид одного из обратных каналов 15 и соответствующих лопаток 15.1 обратного канала в одном варианте осуществления. Аналогичная конфигурация может быть обеспечена для всех обратных каналов 15 компрессора 1 или для некоторых из них.

[0016] Лопатки 15.1 обратного канала расположены по окружности вокруг оси обратного канала, совпадающей с осью А-А вращения. Каждая лопатка 15.1 обратного канала содержит передний край 15.3 и задний край 15.5. Передние края 15.3 расположены на первом расстоянии от оси А-А, а задние края 15.5 расположены на втором расстоянии от оси А-А, причем второе расстояние меньше первого расстояния.

[0017] В некоторых вариантах осуществления лопасти 15.1 обратного канала могут иметь криволинейную форму с вогнутой стороной нагнетания и выпуклой стороной всасывания, причем обе проходят от переднего края к заднему краю, как показано на Фиг. 2. Могут быть обеспечены другие более простые формы, в которых сторона всасывания и сторона нагнетания каждой лопатки по существу симметричны относительно средней линии профиля лопатки.

[0018] В варианте осуществления, показанном на Фиг. 2, все лопасти 15.1 обратного канала имеют одинаковую форму. Кроме того, все лопасти 15.1 обратного канала расположены на одинаковом расстоянии от центральной оси А-А обратного канала 15 таким образом, что все передние края 15.3 и задние края 15.5 лопаток 15.1 обратного канала расположены на внешней окружности и на внутренней окружности соответственно. Однако это не является обязательным, и возможны альтернативные варианты осуществления. Например, лопатки 15.1 обратного канала могут иметь переменную хорду. Хорда представляет собой расстояние между передним краем и задним краем лопатки. Кроме того, задние края и/или передние края могут быть расположены на переменном радиальном расстоянии от центральной оси А-А обратного канала 15. То есть может быть по меньшей мере две лопатки 15.1 обратного канала, имеющие соответствующие задние края 15.5, расположенные на двух разных расстояниях от центральной оси А-А, и/или по меньшей мере две лопатки 15.1 обратного канала могут иметь соответствующие передние края 15.3, расположенные на двух разных расстояниях от центральной оси А-А.

[0019] Кроме того, обратный канал 15 может иметь переменный профиль и/или переменную высоту как в тангенциальном направлении, так и в направлении потока. Более того, лопатки 15.1 обратного канала также могут иметь переменный наклон.

5 [0020] Как показано на Фиг. 2, интервал S , т. е. шаг между двумя соседними или последовательными лопатками 15.1 обратного канала, формирующими между ними соответствующий проточный канал, является непостоянным. Изменение шага или интервала может соответствовать различным критериям. Вариант осуществления, показанный на Фиг. 2, обеспечивает 18 лопаток, расположенных с образованием четырех секторов по 90° . Два из указанных секторов включают в себя пять лопаток, расположенных под углом 18° друг к другу, 10 а два других сектора включают в себя четыре лопатки, расположенные под углом $22,5^\circ$. Угол между каждой парой соседних лопаток 15.1 обратного канала указан для каждого проточного канала на Фиг. 2. Таким образом, в этом варианте осуществления распределение лопаток 15.1 обратного канала является регулярным, т. е. шаги распределения повторяются в последующих секторах вокруг полного 360° -го расширения обратного канала 15.

15 [0021] В других вариантах осуществления распределение может быть полностью случайным, как показано, например, на Фиг. 4. В данном случае 18 лопаток 15 обратного канала расположены таким образом, что угол между последовательными, т. е. соседними лопатками 15.1 обратного канала, формирующими соответствующие проточные каналы, 20 изменяется случайным образом, например, от минимального значения 17° до максимального значения 23° . Переменный угловой интервал соответствует переменному шагу между парами соседних лопаток 15.1 обратного канала.

[0022] Влияние неравномерного, т. е. непостоянного распределения лопаток 15.1 обратного канала на вибрацию лопаток 7.3 крыльчатки можно оценить по двум графикам, показанным на Фиг. 5 и Фиг. 6, которые иллюстрируют соответствующее содержание гармоник, характерное 25 для источников возбуждения, в трех различных ситуациях. На обоих графиках порядок по окружности нанесен на горизонтальную ось, а амплитуда нанесена на вертикальную ось.

[0023] Более конкретно, на Фиг. 5 показано содержание гармоник в центробежном компрессоре известного уровня техники по сравнению с содержанием гармоник в компрессоре, включающем схему распределения лопаток 15.1 обратного канала согласно Фиг. 2, т. е. 30 регулярное повторение двух разных шагов под углами 18° и $22,5^\circ$ соответственно. Содержание гармоник существенно увеличивается из-за непостоянного шага, а амплитуда возбуждения уменьшается.

[0024] Вариант осуществления изобретения, показанный на Фиг. 4, представляет собой дополнительное улучшение по сравнению с вариантом осуществления, показанным на Фиг. 2, 35 как можно понять из Фиг. 6. График, показанный на Фиг. 6, иллюстрирует содержание гармоник в варианте осуществления, показанном на Фиг. 2, по сравнению с содержанием гармоник в варианте осуществления, показанном на Фиг. 4, согласно которому лопатки 15.1 обратного канала расположены полностью случайным образом. Содержание гармоник

дополнительно увеличивается, а максимальная амплитуда возбуждения дополнительно уменьшается по сравнению с вариантом осуществления, показанным на Фиг. 2.

[0025] В качестве дополнительного улучшения шаг и хорда лопаток 15.1 обратного канала могут быть связаны друг с другом для дополнительного повышения эффективности турбомшины. Более подробно, шаг и хорда могут быть выбраны таким образом, чтобы густота соответствующего проточного канала, сформированного между двумя соседними лопатками 15.1 обратного канала, оставалась по существу постоянной. Густота представляет собой отношение между хордой лопатки (т. е. расстоянием между задним краем и передним краем лопатки) и шагом между двумя последовательными лопатками. В настоящем контексте определение «по существу постоянный» может подразумевать густоту, которая находится в диапазоне +/- 20% от постоянного заданного значения густоты. В соответствии с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, термин «по существу постоянный» может подразумевать густоту, которая поддерживается в диапазоне +/- 10% от заданного постоянного значения густоты и находится предпочтительно в диапазоне +/- 5% и более предпочтительно в диапазоне +/- 2%.

[0026] Корреляция между хордой и шагом является таковой, что уменьшение густоты, которое было бы вызвано увеличенным шагом между лопатками 15.1 обратного канала, компенсируется по меньшей мере частично увеличением длины хорды.

[0027] Более конкретно, хорда B лопаток 15.1 обратного канала коррелирует с шагом, т. е. с интервалом S между последовательными или соседними лопатками 15.1 обратного канала таким образом, что увеличенная хорда B одной из лопаток 15.1 обратного канала, формирующей канал между последовательными лопатками 15.1 обратного канала, заново уравнивает густоту канала следующим образом:

$$\sigma_{P1} = \frac{B1}{S1} \approx \frac{B2}{S2} = \sigma_{P2}$$

где B_i представляет собой хорду одной из двух лопаток 15.1 обратного канала, формирующих i -й канал P_i . Более конкретно, B_i представляет собой хорду лопатки обратного канала, сторона всасывания которой обращена к i -му каналу P_i . Густота проточного канала обратного канала определяется в данном случае как отношение между хордой лопатки 15.1 обратного канала, сторона всасывания которой обращена к проточному каналу, и шагом между двумя лопатками 15.1 обратного канала, между которыми сформирован проточный канал.

[0028] За счет того, что хорда B первой лопатки 15.1 обратного канала каждого i -го проточного канала P_i зависит от шага или интервала S_i между двумя лопатками обратного канала, формирующими канал, эффект изменения густоты, вызванный изменением шага, уравнивается изменением хорды.

[0029] Таким образом, благоприятный эффект изменения шага с точки зрения уменьшения вибраций крыльчатки достигается без отрицательного влияния на работоспособность

компрессора, уравнивая снижение густоты, которое было бы вызвано увеличенным шагом, с увеличением хорды соответствующей лопатки 11.1 обратного канала.

5 [0030] В предпочтительных вариантах осуществления соотношение между хордой V_i каждой лопатки обратного канала и шагом или интервалом S_i каждого i -го проточного канала P_i является таковым, что густота σ_{P_i} проточного канала остается постоянной.

10 [0031] Однако строго постоянное значение густоты не является обязательным. Благоприятные эффекты с точки зрения улучшенной работоспособности компрессора могут быть также достигнуты, если густота поддерживается по существу постоянной около заданного значения. В соответствии с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, термин «по существу постоянный» может подразумевать густоту, которая поддерживается в диапазоне $\pm 10\%$ от заданного постоянного значения густоты и находится предпочтительно в диапазоне $\pm 5\%$ и более предпочтительно в диапазоне $\pm 2\%$.

[0032] Для улучшенного снижения вибрации также можно расположить лопатки 11.1 диффузора с переменным, т. е. непостоянным или неравномерным шагом.

15 [0033] Описанные выше варианты осуществления конкретно относятся к центробежным компрессорам. Однако новые обратные каналы в соответствии с настоящим описанием можно успешно применять также в центробежных насосах, имеющих конструкцию, аналогичную показанной на Фиг. 1

20 [0034] Примеры осуществления были описаны выше и проиллюстрированы в прилагаемых графических материалах. Специалистам в данной области будет понятно, что в варианты, конкретно описанные в настоящем документе, могут быть внесены различные изменения, исключения и дополнения без отступления от объема настоящего изобретения, как определено в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Обратный канал (15) для центробежной турбомашины (1), причем обратный канал содержит множество лопаток (15.1) обратного канала, расположенных вокруг оси (A-A) обратного канала; причем каждая лопатка (15.1) обратного канала содержит:
5 передний край (15.3) на первом расстоянии от оси (A-A) обратного канала, задний край (15.5) на втором расстоянии от оси обратного канала, причем второе расстояние меньше первого расстояния; при этом между каждой парой расположенных рядом лопаток (15.1) обратного канала сформирован соответствующий проточный канал; отличающийся тем, что лопатки (15.1) обратного канала расположены с непостоянным шагом вокруг оси (A-A) обратного
10 канала.
2. Обратный канал (15) по п. 1, в котором лопатки (15.1) обратного канала расположены с произвольным шагом.
3. Обратный канал (15) по п. 1 или 2, в котором лопатки (15.1) обратного канала имеют непостоянные хорды.
- 15 4. Обратный канал (15) по одному или более из предшествующих пунктов, в котором лопатки (15.1) обратного канала имеют переменные профили в тангенциальном направлении и/или в направлении потока.
5. Обратный канал (15) по одному или более из предшествующих пунктов, в котором лопатки (15.1) обратного канала имеют переменное радиальное положение передних
20 краев (15.3).
6. Обратный канал (15) по одному или более из предшествующих пунктов, в котором лопатки (15.1) обратного канала имеют переменное радиальное положение задних краев (15.5).
7. Обратный канал (15) по одному или более из предшествующих пунктов, в
25 котором лопатки (15.1) обратного канала имеют переменный наклон.
8. Обратный канал (15) по одному или более из предшествующих пунктов, в котором высота обратного канала является переменной в тангенциальном направлении и/или в направлении потока.
9. Обратный канал (15) по одному или более из предшествующих пунктов, в
30 котором лопатки (15.1) обратного канала имеют хорды переменной длины; причем шаг (S1, S2) между каждой парой расположенных рядом первой лопатки (15.1) обратного канала и второй лопатки обратного канала и хордой одной из первой лопатки (15.1) обратного канала и второй лопатки обратного канала (15.1) выбирают таким образом, что густота каждого проточного канала поддерживается в пределах диапазона около постоянного значения густоты.
- 35 10. Диффузор (11) по п. 9, в котором указанный диапазон равен +/- 20% от

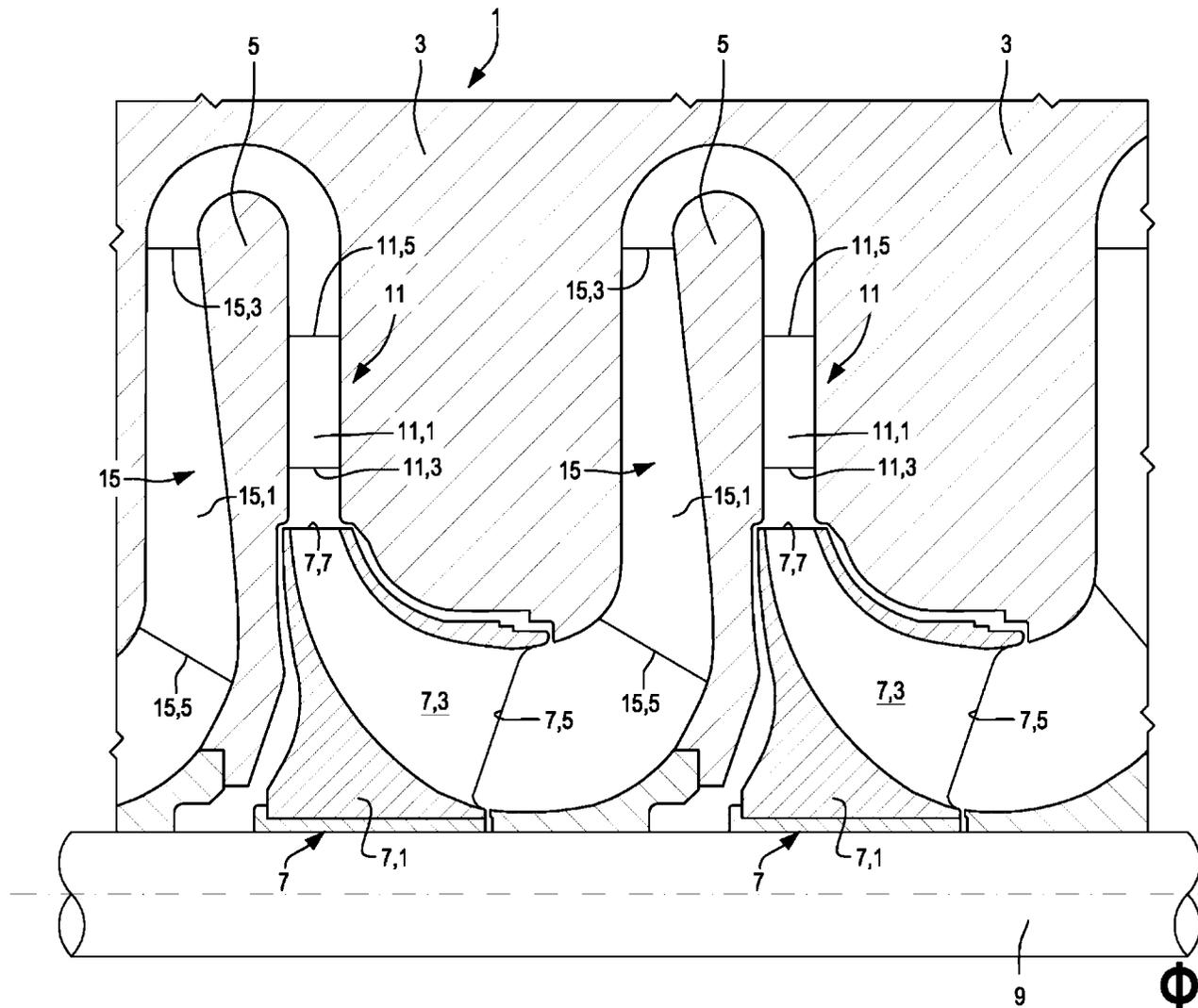
постоянного значения густоты, предпочтительно равен $\pm 10\%$ постоянного значения густоты; более предпочтительно $\pm 5\%$ и еще более предпочтительно $\pm 2\%$ от постоянного значения густоты.

- 5 11. Центробежная турбомашина (1), содержащая:
- неподвижную часть (3);
- по меньшей мере первую крыльчатку (7) и вторую крыльчатку (7), выполненные с возможностью вращения вокруг оси (А-А) вращения;
- первый диффузор (11), окружающий первую крыльчатку (7), и второй диффузор (11), окружающий вторую крыльчатку (7), причем указанный первый диффузор и указанный второй
- 10 диффузор выполнены с возможностью преобразования скорости потока текучей среды из соответствующей крыльчатки (7) в давление; и
- обратный канал (15) по любому из предшествующих пунктов, расположенный между первым диффузором (11) и второй крыльчаткой (7).

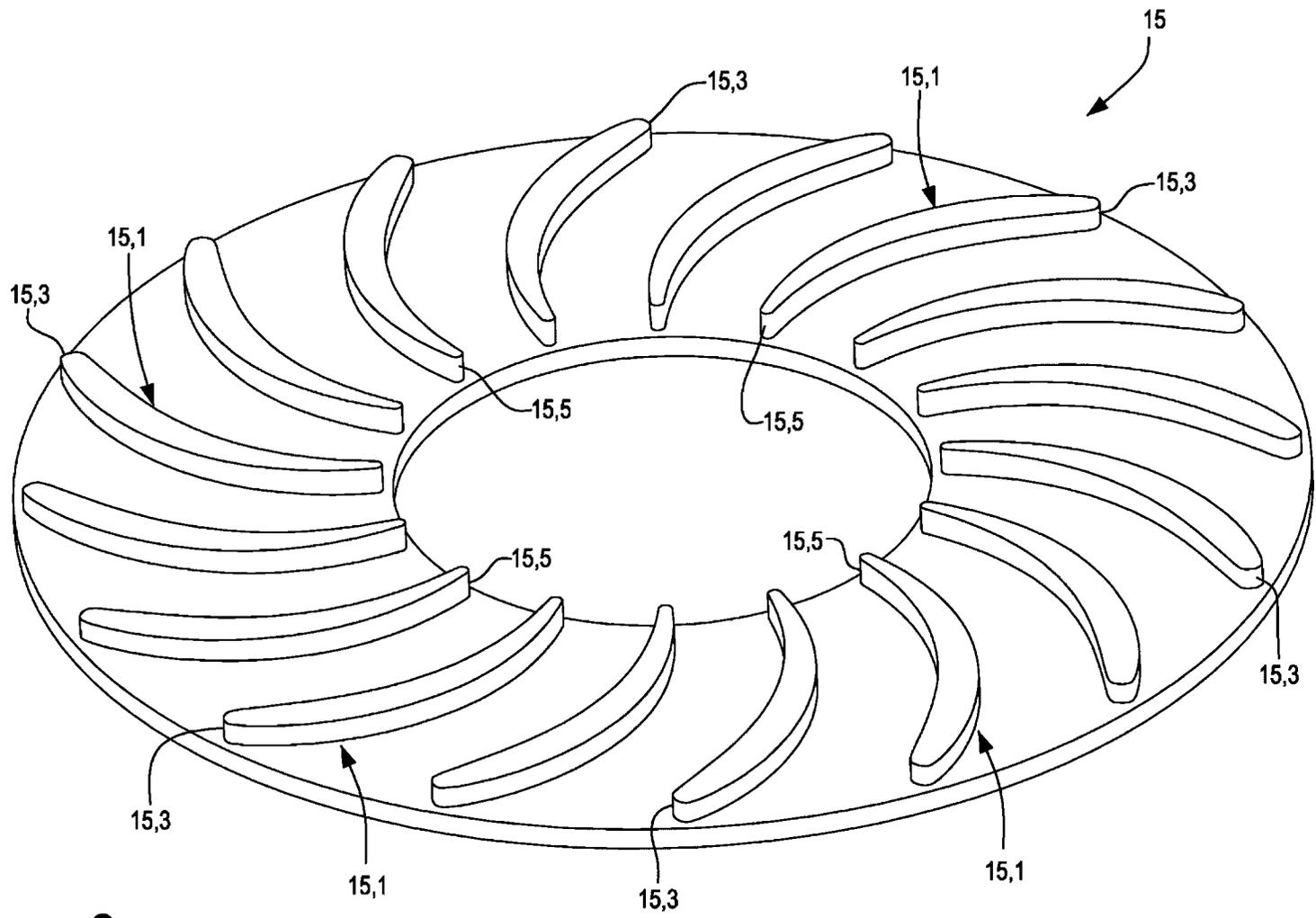
12. Турбомашина (1) по п. 9, в которой диффузор (11) представляет собой
- 15 лопаточный диффузор, и причем лопатки (11.1) диффузора расположены с постоянным или непостоянным шагом.

13. Турбомашина по п. 11 или 12, в которой указанная турбомашина представляет собой центробежный компрессор.

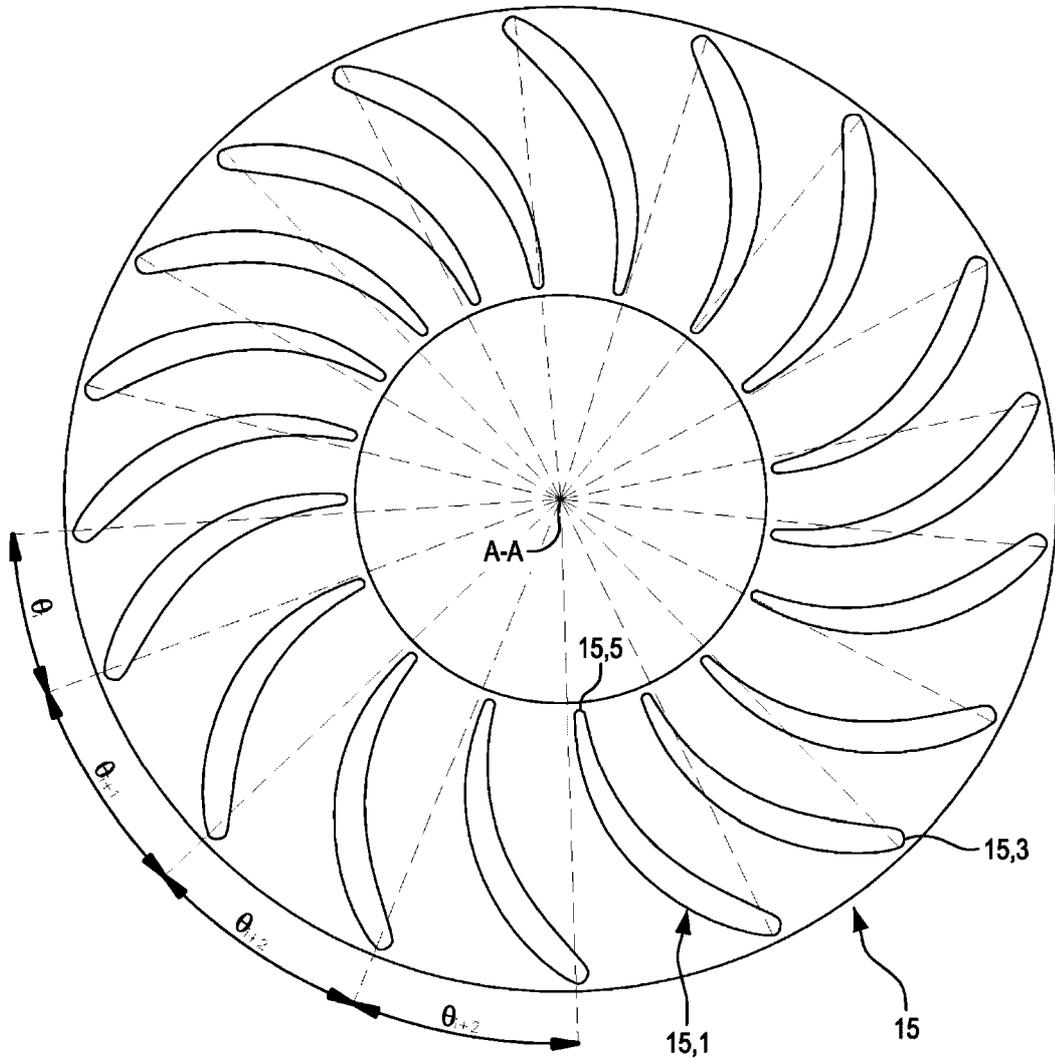
20



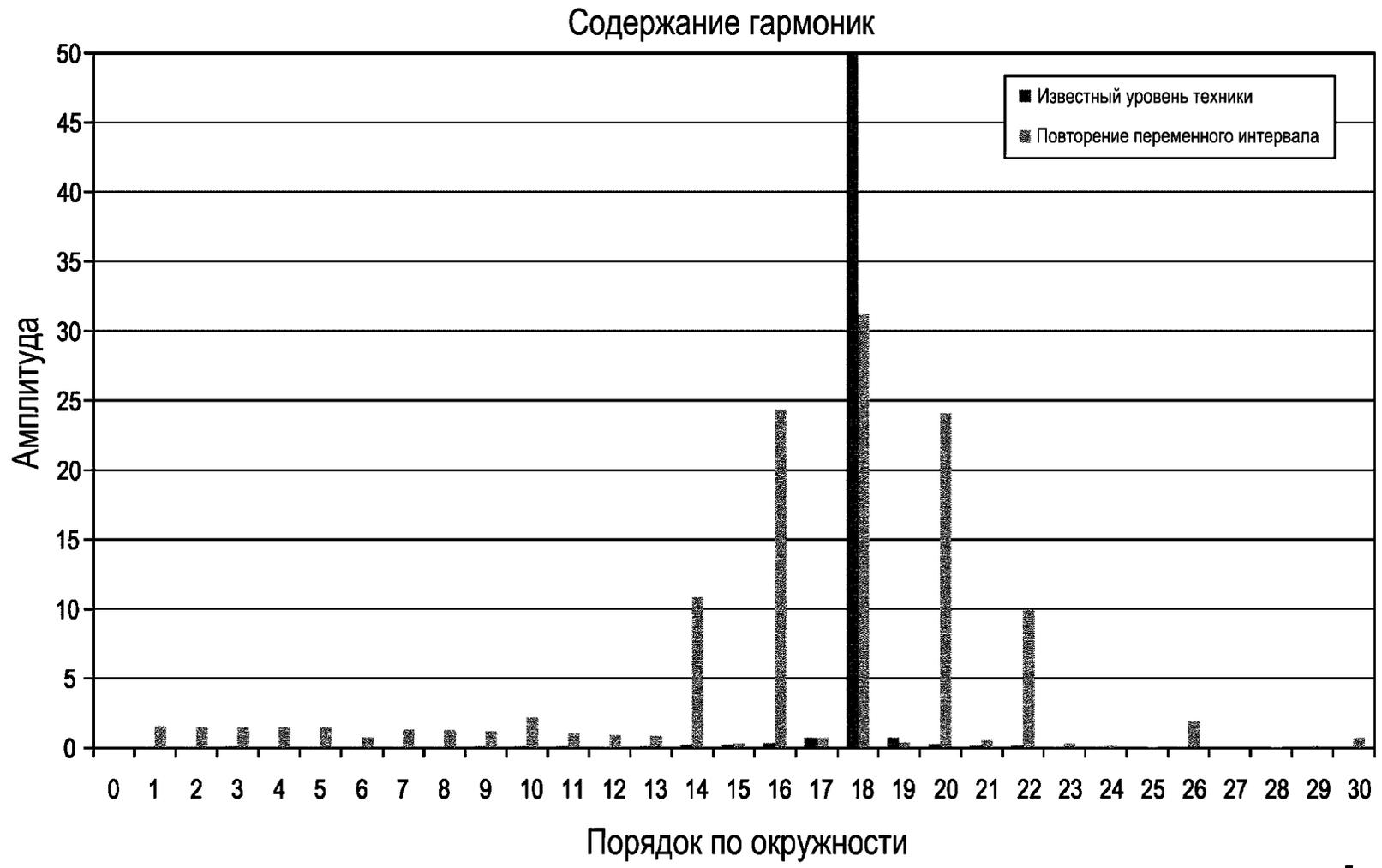
Фиг. 1



Фиг. 3

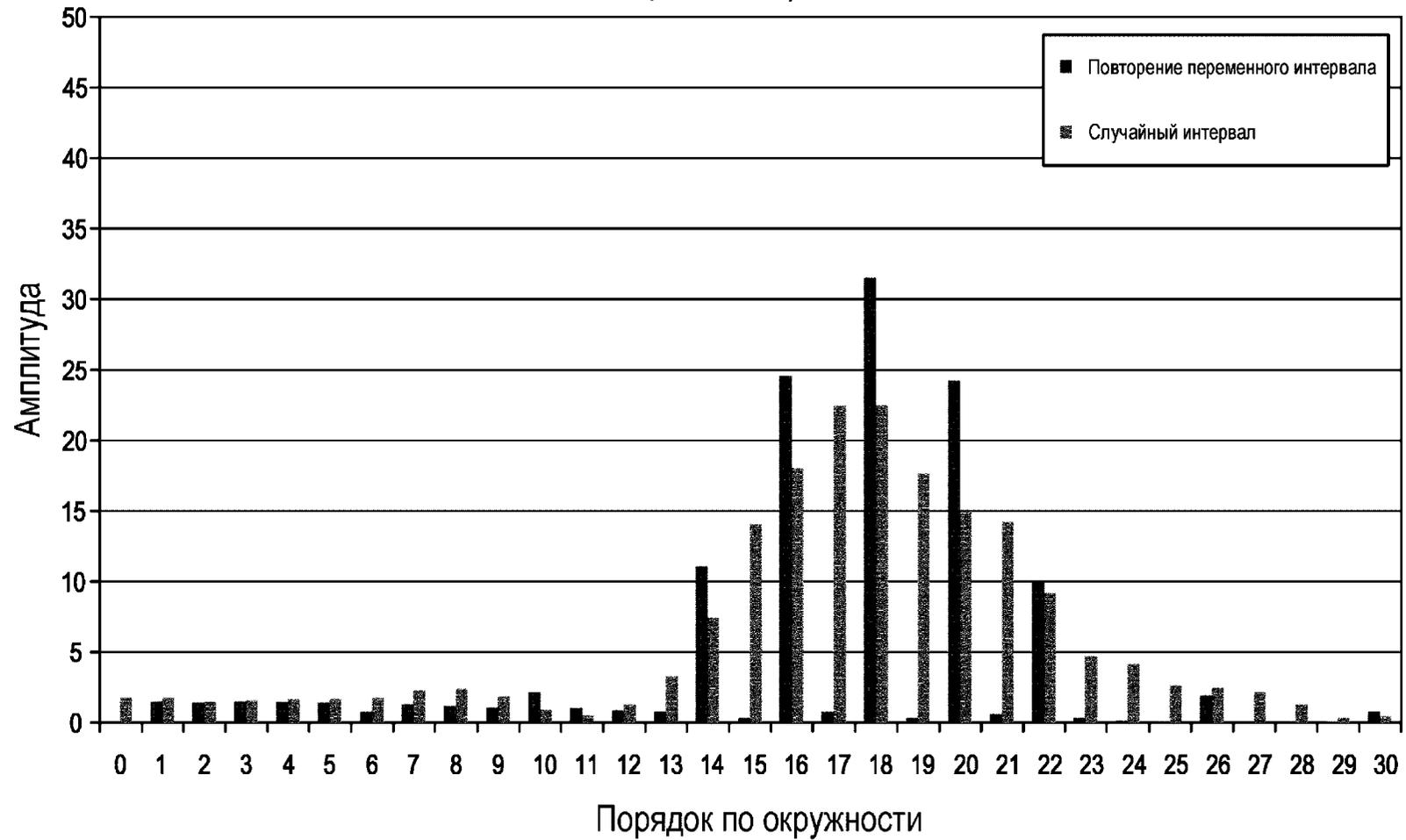


Фиг. 4



Фиг. 5

Содержание гармоник



Фиг. 6