



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2008129031/06, 15.07.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.07.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
16.07.2007 US 11/778,184(43) Дата публикации заявки: **20.01.2010** Бюл. № 2(45) Опубликовано: **10.01.2013** Бюл. № 1(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 4824328 A, 25.04.1989. US 5176500 A, 05.01.1993. US 3079681 A, 05.03.1963. US 4692976 A, 15.09.1987. US 5480285 A, 02.01.1996. RU 2302532 C2, 10.07.2007.**

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. А.В.Мицу, рег.№ 364**

(72) Автор(ы):

**МУЙЕЗИНОВИЧ Амир (US),
ДЕЛЕССИО Стивен (US)**

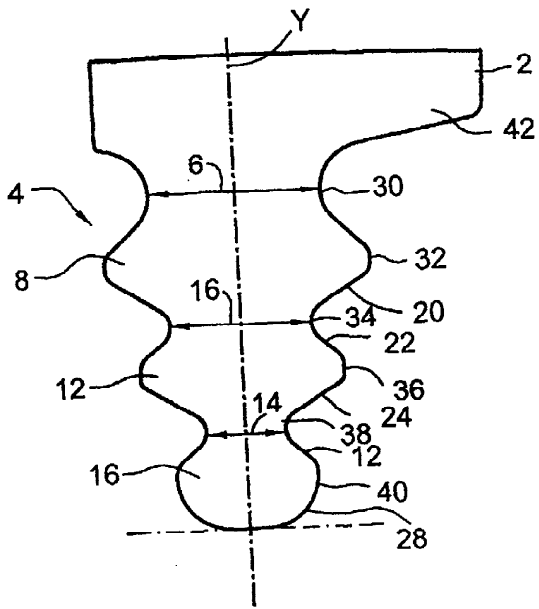
(73) Патентообладатель(и):

НОУВО ПИНЬОНЕ ХОЛДИНГ С.П.А. (IT)**(54) ПАРОВАЯ ТУРБИНА И ПОВОРОТНАЯ ЛОПАСТЬ (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Лопать, устанавливаемая на диск, содержит основание лопасти и хвостовик лопасти. Хвостовик лопасти содержит первый, второй и третий зубцы и первую, вторую и третью шейки. Каждый зубец содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность. Угол между неконтактной поверхностью первого зубца и контактной поверхностью второго зубца и между неконтактной поверхностью второго зубца и контактной поверхностью третьего зубца оптимизирован для уменьшения местных и средних напряжений и является симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти. В другом варианте лопасти указанный угол

составляет около 70,6°. Еще одно изобретение группы относится к турбине, содержащей лопасть и диск ротора. Контактные поверхности ротора расположены относительно неконтактных поверхностей ротора под тем же углом, что и контактные поверхности лопасти и неконтактные поверхности лопасти, причем угол оптимизирован для снижения местных и средних напряжений между контактными поверхностями и является по существу симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти. Изобретения позволяют снизить местные нагрузки на ротор без увеличения средних значений напряжений. 3 н. и 13 з.п. ф-лы, 8 ил.



Фиг.1

RU 2471998 C2

RU 2471998 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2008129031/06, 15.07.2008**

(24) Effective date for property rights:
15.07.2008

Priority:

(30) Convention priority:
16.07.2007 US 11/778,184

(43) Application published: **20.01.2010 Bull. 2**

(45) Date of publication: **10.01.2013 Bull. 1**

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):

**MUJEZINOVICH Amir (US),
DELESSIO Stiven (US)**

(73) Proprietor(s):

NOUVO PIN'ONE KhOLDING S.P.A. (IT)

(54) **STEAM TURBINE, AND TURNING BLADE (VERSIONS)**

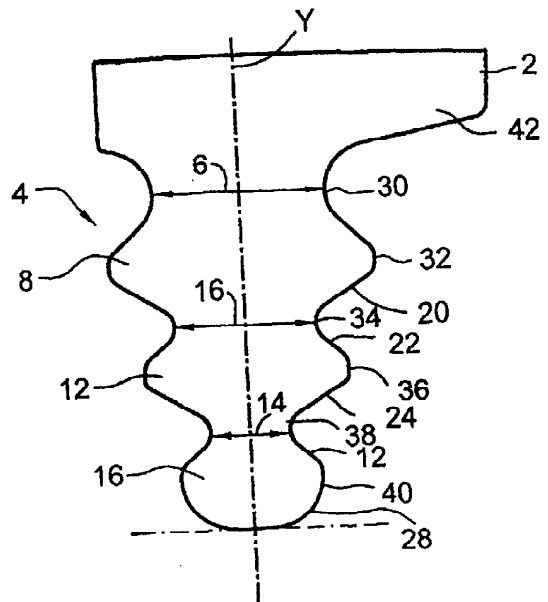
(57) Abstract:

16 cl, 8 dwg

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: blade installed on the disc includes blade root and blade shank. Blade shank includes the first, the second and the third teeth and the first, the second and the third necks. Each tooth includes contact surface and non-contact surface. Angle between non-contact surface of the first tooth and contact surface of the second tooth and between non-contact surface of the second tooth and contact surface of the third tooth is optimised for reduction of local and average stresses and is symmetrical relative to the axis perpendicular to central line of blade shank. As per the other version of the blade, the above angle is approximately 70.6°. One more invention of the group refers to the turbine containing the blade and rotor disk. Rotor contact surfaces are located relative to non-contact surfaces of rotor at the angle that is equal to the angle of contact surfaces of blade and non-contact surface of blade; at that, angle is optimised to reduce local and average stresses between contact surfaces and is essentially symmetric relative to the axis perpendicular to central line of blade shank.

EFFECT: inventions allow decreasing local loads on rotor without increasing average values of stresses.



Фиг. 1

RU 2 4 7 1 9 9 8 C 2

RU 2 4 7 1 9 9 8 C 2

Изобретение относится к поворотной лопасти и ротору паровой турбины и, в частности, к креплению лопасти паровой турбины к ротору, позволяющему свести к минимуму местные и средние напряжения.

5 Наиболее близким аналогом заявленного изобретения является паровая турбина согласно патенту США №4824328, в которой имеется канал для прохождения потока пара в паровой турбине, образованный неподвижным цилиндром и ротором. К цилиндру прикреплено по окружности множество неподвижных лопаток, проходящих
10 внутрь, в канал движения потока пара. Аналогичным образом к ротору прикреплено множество поворотных лопастей, проходящих наружу, в канал для прохождения потока пара. Неподвижные лопатки и поворотные лопасти расположены чередующимися рядами, при этом ряд лопаток и расположенный непосредственно
15 рядом с ним ряд лопастей образуют ступень турбины. Лопатки предназначены для направления потока пара таким образом, чтобы он входил в расположенный ниже по потоку ряд лопастей под правильным углом. Аэродинамические поверхности лопасти извлекают из пара энергию, обеспечивая достаточную мощность для приведения в движение ротора и связанной с ним нагрузки.

Аэродинамические поверхности проходят от хвостовика лопасти, применяемого
20 для крепления лопасти к диску ротора. Обычно крепление осуществляют с помощью «елочных пазов» на хвостовике лопасти, выполняемых путем формирования вдоль сторон хвостовика лопасти чередующихся в осевом направлении выступов и впадин. В диске ротора выполняют пазы с сопрягаемыми выступами и впадинами. Когда хвостовик лопасти вставляют в паз диска, центробежная нагрузка на лопасть, которая
25 очень высока в силу большой скорости вращения ротора, обычно составляющей 3600 об/мин, паровой турбины, применяемой для выработки электроэнергии, распределяется по участкам выступов, в которых хвостовик и диск контактируют. Из-за высокой центробежной нагрузки напряжения в хвостовике лопасти и пазах диска
30 очень высоки. Следовательно, нужно свести к минимуму концентрацию напряжений в выступах и впадинах и увеличить до максимума опорные поверхности, по которым осуществляется контакт между хвостовиком лопатки и пазом диска. Это особенно желательно в последних рядах паровой турбины низкого давления, так как в этих рядах лопасти имеют большой размер и вес, а также подвергаются коррозии под
35 напряжением из-за влажности пара. Последние ступени подвергаются более высоким местным напряжениям, которые могут уменьшить усталостную долговечность ротора и поворотных лопастей. Кроме того, существует повышенный спрос на длинные поворотные лопасти, что заставляет работать ротор и лопасти при еще более высоких
40 нагрузках.

Помимо постоянной центробежной нагрузки, лопасти подвергаются воздействию вибрации.

Следовательно, существует необходимость в создании конструкции крепления лопастей к ротору, выдерживающей центробежные нагрузки, в которой уменьшены
45 местные нагрузки на ротор (колесо) и закругления поворотных лопастей, при этом средние значения напряжений и касательные напряжения остаются низкими.

Согласно первому объекту изобретения создана лопасть, устанавливаемая на диск и содержащая основание лопасти и хвостовик лопасти, проходящий от основания
50 лопасти и содержащий первый, второй и третий зубцы и первую, вторую и третью шейки, причем каждый зубец содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность, при этом угол между неконтактной поверхностью первого зубца и контактной поверхностью второго зубца и между неконтактной поверхностью

второго зубца и контактной поверхностью третьего зубца оптимизирован для уменьшения местных и средних напряжений, причем указанный угол является по существу симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти.

5 Предпочтительно, в каждом из первого и второго зубцов имеются закругления, причем каждое закругление имеет первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и закругления соединены плоской поверхностью.

Предпочтительно, второй радиус больше первого радиуса.

10 Предпочтительно, третий зубец содержит первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и второй радиус переходит в плоский низ хвостовика лопасти.

Предпочтительно, по меньшей мере, одна из толщин зубцов и длин шеек оптимизирована для минимизации местных и средних напряжений.

15 Согласно второму объекту изобретения создана лопасть, устанавливаемая на диск и содержащая основание лопасти и хвостовик лопасти, проходящий от основания лопасти и содержащий первый, второй и третий зубцы и первую, вторую и третью шейки, причем каждый зубец содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность, при этом угол между неконтактной поверхностью первого зубца и контактной поверхностью второго зубца и между неконтактной поверхностью второго зубца и контактной поверхностью третьего зубца составляет около $70,6^\circ$, причем указанный угол является по существу симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти.

25 Предпочтительно, в каждом из первого и второго зубцов имеются закругления, причем каждое закругление имеет первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и закругления соединены плоской поверхностью.

Предпочтительно, второй радиус больше первого радиуса.

30 Предпочтительно, третий зубец содержит первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и второй радиус переходит в плоский низ хвостовика лопасти.

Предпочтительно, по меньшей мере, одна из толщин зубцов и длин шеек оптимизирована для минимизации местных и средних напряжений.

35 Согласно третьему объекту изобретения создана турбина, содержащая лопасть, включающую в себя хвостовик, проходящий от основания лопасти и содержащий первый, второй и третий зубцы лопасти и первую, вторую и третью шейки лопасти, причем каждый зубец лопасти содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность и угол между каждой контактной поверхностью одного зубца и каждой неконтактной поверхностью следующего зубца; диск ротора, снабженный пазом, 40 причем паз содержит первый, второй и третий зубцы ротора и первую, вторую и третью шейки ротора, причем каждый зубец ротора содержит контактную поверхность, вступающую в контакт с соответствующей контактной поверхностью лопасти, и неконтактную поверхность, расположенную на расстоянии от соответствующей неконтактной поверхности лопасти, при этом контактные 45 поверхности ротора расположены относительно неконтактных поверхностей ротора под тем же углом, что и контактные поверхности и неконтактные поверхности лопасти, и угол оптимизирован для снижения местных и средних напряжений между контактными поверхностями, причем указанный угол является по существу симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика 50 лопасти.

Предпочтительно, первый зубец ротора имеет радиус кривизны, переходящий в верхнюю поверхность диска ротора.

Предпочтительно, второй и третий зубцы ротора содержат закругления, причем каждое закругление имеет первый радиус и второй радиус, и закругления соединены плоской поверхностью.

Предпочтительно, первый радиус превышает второй радиус.

Предпочтительно, по меньшей мере, одна из толщин зубцов лопасти и ротора и длин шеек лопасти и ротора оптимизирована для минимизации местных и средних напряжений на контактной поверхности.

Предпочтительно, упомянутый угол составляет около $70,6^\circ$.

Таким образом, настоящее изобретение позволяет уменьшить напряжения, возникающие при установке и эксплуатации лопастей паровой турбины. Также, благодаря настоящему изобретению уменьшаются местные нагрузки на ротор или рабочее колесо паровой турбины, а средние значения напряжений и касательные напряжения остаются неизменно низкими.

Далее настоящее изобретение будет описано более подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

фиг.1 - вид сбоку поворотной лопасти паровой турбины, включающий в себя хвостовик лопасти;

фиг.2 - вид сбоку ротора паровой турбины, включающий в себя паз для хвостовика лопасти;

фиг.3 - вид сбоку лопасти и ротора в сборе;

фиг.4 - подробный вид сбоку ротора, включающего в себя паз;

фиг.5 - подробный вид сбоку хвостовика лопасти;

фиг.6 - увеличенное изображение области D-4 с фиг.4;

фиг.7 - увеличенное изображение области C-3 с фиг.4 и

фиг.8 - увеличенное изображение области C-1 с фиг.4.

Как показано на фиг.1, поворотная лопасть 2 паровой турбины включает в себя хвостовик 4. Хвостовик 4 лопасти также можно назвать охватываемым элементом типа «ласточкин хвост» или «ласточкиным хвостом» лопатки. Элемент 4 типа «ласточкин хвост» лопасти содержит верхнюю шейку 6, верхний зубец 8, среднюю шейку 10, средний зубец 12, нижнюю шейку 14 и нижний зубец 16. Шейки также можно назвать впадинами, а зубцы - выступаами.

Верхний зубец 8 содержит верхнюю наклонную контактную, или опорную, поверхность 18. Верхний зубец 8 также содержит верхнюю неконтактную поверхность 20. Средний зубец 12 содержит среднюю наклонную контактную, или опорную, поверхность 22 и среднюю неконтактную поверхность 24. Нижний зубец 16 содержит нижнюю наклонную контактную, или опорную, поверхность 26 и нижнюю неконтактную поверхность 28.

Как показано на фиг.2, диск ротора 44 содержит паз, или элемент 46 ротора типа «ласточкин хвост». Элемент 46 типа «ласточкин хвост» ротора также можно назвать охватывающим элементом типа «ласточкин хвост» или элементом типа «ласточкин хвост» колеса. Элемент 46 типа «ласточкин хвост» ротора также симметричен относительно центральной линии Y соединения типа «ласточкин хвост». Элемент 46 типа «ласточкин хвост» ротора содержит верхний зубец 48, верхнюю шейку 50, средний зубец 52, среднюю шейку 54, нижний зубец 56 и нижнюю шейку 58.

Верхний зубец 48 содержит верхнюю наклонную контактную, или опорную, поверхность 72 и верхнюю неконтактную поверхность 74. Средний зубец 52 содержит среднюю наклонную контактную, или опорную, поверхность 76 и среднюю неконтактную поверхность 78. Нижний зубец 56 содержит нижнюю наклонную

контактную, или опорную, поверхность 80 и нижнюю неконтактную поверхность 82.

Как показано на фиг.3, элемент 4 типа «ласточкин хвост» лопасти устанавливают в диск 44 ротора, вводя «ласточкин хвост» 4 лопасти в «ласточкин хвост» 46 ротора в осевом направлении, т.е. в направлении, перпендикулярном центральной линии Y соединения типа «ласточкин хвост» в плоскости чертежа. В собранном состоянии (см. фиг.3) верхняя наклонная контактная поверхность 18 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти контактирует с верхней наклонной контактной поверхностью 72 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора. Средняя наклонная контактная поверхность 22 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти контактирует со средней наклонной контактной поверхностью 76 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора. Нижняя наклонная контактная поверхность 26 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти контактирует с нижней наклонной контактной поверхностью 80 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора. Как показано на фиг.3, неконтактные поверхности 20, 24, 28 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти располагаются напротив неконтактных поверхностей 74, 78, 82, соответственно, элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора, но не контактируют с ними.

Как показано на фиг.4 и 5, между верхней неконтактной поверхностью 20 и средней наклонной контактной поверхностью 22 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти обеспечен плоский угол 86. Плоский угол 86 также обеспечен между средней неконтактной поверхностью 24 и нижней наклонной контактной поверхностью 26. Аналогичным образом, в элементе 46 типа «ласточкин хвост» ротора (см. фиг.4) плоский угол 86 обеспечен между верхней неконтактной поверхностью 74 и средней наклонной контактной поверхностью 76. Плоский угол 86 также обеспечен между средней неконтактной поверхностью 78 и нижней наклонной контактной поверхностью 80 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора.

Контактные поверхности повернуты, или ориентированы, таким образом, что угол перехода между контактными и неконтактными поверхностями составляет около $70,6^\circ$. Плоский угол в общем случае симметричен относительно оси X. При принудительном изменении путей нагружения возникают концентрированные напряжения. Благодаря обеспечению наклонных контактных поверхностей изменение направления становится не таким резким, и уменьшается концентрация напряжений. Наличие наклонных контактных поверхностей также позволяет увеличить радиус кривизны закругления на расстоянии перехода. Увеличенный радиус кривизны закругления также способствует снижению концентрированных напряжений, увеличивая при этом площадь контактной поверхности.

Как показано на фиг.1 и 5, верхняя шейка 6 элемента типа «ласточкин хвост» содержит закругление 30 верхней шейки, средняя шейка 10 элемента типа «ласточкин хвост» содержит закругление 34 средней шейки, и нижняя шейка 14 элемента типа «ласточкин хвост» содержит закругление 38 нижней шейки. Плоский угол 86 между зубцами 8, 12, 16 позволяет увеличить радиус кривизны закругления шейки, что приводит к уменьшению местных напряжений в элементе 4 типа «ласточкин хвост» лопасти. Радиусы 34r, 38r закругления 34 средней шейки и закругления 38 нижней шейки, соответственно, равны. Радиус 30r кривизны закругления 30 верхней шейки больше радиусов 34r, 38r, что обеспечивает более плавный переход к основанию 42 элемента типа «ласточкин хвост» лопасти. Радиусы 30r, 34r, 38r оптимизированы для уменьшения концентрации местных напряжений.

Верхний зубец 8 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти содержит закругление 32 верхнего зубца. Закругление 32 верхнего зубца содержит два

радиуса 32r1, 32r2 и плоскую поверхность 32f. Средний зубец 12 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти также содержит закругление 36 среднего зубца, имеющее первый радиус 36r1 и второй радиус 36r2, соединенные плоской поверхностью 36f. Нижний зубец 16 элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти содержит закругление 40
 5 нижнего зубца, имеющее составной радиус 40r, заканчивающийся плоскостью 40f в нижней части элемента 4 типа «ласточкин хвост» лопасти.

Как показано на фиг.1, 4 и 6-8, верхняя шейка 50 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора содержит закругление 62 верхней шейки, а средняя шейка 54 содержит
 10 закругление 66 средней шейки. Закругление верхней шейки имеет один радиус 62г кривизны, и закругление 66 средней шейки также имеет один радиус 66г кривизны. Радиусы 62г и 66г равны. Нижняя шейка 58 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора содержит закругление 70 нижней шейки, имеющее составной радиус 70r1, 70r2,
 15 выбираемый из соображений плавного перехода к нижней части 70f элемента 46 ротора типа «ласточкин хвост».

Верхний зубец 48 элемента 46 типа «ласточкин хвост» ротора содержит закругление 60. Закругление 60 верхнего зубца имеет один радиус 60r. Средний зубец 52 содержит закругление 64, а нижний зубец 56 содержит закругление 68.
 20 Закругление 64 среднего зубца имеет два радиуса 64r1, 64r2. Первый радиус 64r1 меньше второго радиуса 64r2 (см. фиг.7). Закругление 64 среднего зубца также содержит плоскую поверхность 64f.

Как показано на фиг.8, закругление 68 нижнего зубца содержит два радиуса 68r1, 68r2. Первый радиус 68r1 меньше второго радиуса 68r2. Закругление 68 нижнего зубца
 25 также содержит плоскую поверхность 68f.

Закругление 60 верхнего зубца, с одной стороны, и закругления 64 и 68, с другой стороны, являются различными и имеют оптимальные параметры для того, чтобы выдерживать равные нагрузки. Радиус 60r закругления 60 верхнего зубца больше
 30 радиусов закругления 64 среднего зубца и закругления 68 нижнего зубца, чтобы обеспечить плавный переход к верхней поверхности 84 ротора.

Толщина зубца и длина шейки управляют распределением нагрузки между зубцами, а также жесткостью на изгиб и сдвиг и напряжениями изгиба и сдвига в зубце. Все это оказывает влияние на пропорции концентрированных напряжений и деформаций.
 35 Толщина зубца и длина шейки оптимизированы для минимизации местных и средних напряжений. Как показано на чертежах, толщина зубца равна разности размеров по

оси X вдоль центральной линии Y соединения типа «ласточкин хвост». Например, верхний зубец 24 имеет толщину $14,466 - 8,817 = 7,643$.
 40

Как было описано, положение радиусов, величины радиусов и другие аспекты формы элементов типа «ласточкин хвост» лопасти и ротора, включая толщину зубцов и длины шеек, но не ограничиваясь ими, оптимизированы для минимизации местных и средних напряжений. Как показано на чертежах, значения положения радиусов, величин радиусов, толщин зубцов и длин шеек представлены в миллиметрах, а
 45 соответствующие размеры в дюймах приведены в квадратных скобках. Однако следует отметить, что элементы типа «ласточкин хвост» лопасти и ротора могут иметь большие или меньшие размеры при условии неизменности формы. Следовательно, величины, приведенные на чертежах, можно считать безразмерными.

Хотя изобретение было описано в связи с вариантами осуществления, которые на настоящий момент считаются предпочтительными и наиболее практичными, следует понимать, что объем изобретения не ограничен раскрытыми вариантами
 50 осуществления, а наоборот - охватывает разнообразные модификации и

эквивалентные конструкции, входящие в сущность и объем прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения

- 5 1. Лопасть, устанавливаемая на диск и содержащая основание лопасти и хвостовик лопасти, проходящий от основания лопасти и содержащий первый, второй и третий зубцы и первую, вторую и третью шейки, причем каждый зубец
10 содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность, отличающаяся тем, что угол между неконтактной поверхностью первого зубца и контактной поверхностью второго зубца и между неконтактной поверхностью второго зубца и контактной поверхностью третьего зубца оптимизирован для уменьшения местных и средних напряжений, причем указанный угол является, по существу, симметричным
15 относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти.
2. Лопасть по п.1, отличающаяся тем, что в каждом из первого и второго зубцов имеются закругления, причем каждое закругление имеет первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и закругления соединены плоской поверхностью.
- 20 3. Лопасть по п.2, отличающаяся тем, что второй радиус больше первого радиуса.
4. Лопасть по п.1, отличающаяся тем, что третий зубец содержит первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и второй радиус переходит в плоский низ хвостовика лопасти.
- 25 5. Лопасть по п.1, отличающаяся тем, что, по меньшей мере, одна из толщин зубцов и длин шеек оптимизирована для минимизации местных и средних напряжений.
6. Лопасть, устанавливаемая на диск и содержащая основание лопасти и хвостовик лопасти, проходящий от основания лопасти и содержащий первый,
30 второй и третий зубцы и первую, вторую и третью шейки, причем каждый зубец содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность, отличающаяся тем, что угол между неконтактной поверхностью первого зубца и контактной поверхностью второго зубца и между неконтактной поверхностью второго зубца и контактной поверхностью третьего зубца составляет около $70,6^\circ$, причем указанный
35 угол является, по существу, симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти.
7. Лопасть по п.6, отличающаяся тем, что в каждом из первого и второго зубцов имеются закругления, причем каждое закругление имеет первый радиус кривизны и
40 второй радиус кривизны, и закругления соединены плоской поверхностью.
8. Лопасть по п.7, отличающаяся тем, что второй радиус больше первого радиуса.
9. Лопасть по п.6, отличающаяся тем, что третий зубец содержит первый радиус кривизны и второй радиус кривизны, и второй радиус переходит в плоский низ хвостовика лопасти.
- 45 10. Лопасть по п.6, отличающаяся тем, что, по меньшей мере, одна из толщин зубцов и длин шеек оптимизирована для минимизации местных и средних напряжений.
11. Турбина, содержащая лопасть, включающую в себя хвостовик, проходящий от основания лопасти и содержащий первый, второй и третий зубцы лопасти и первую, вторую и третью
50 шейки лопасти, причем каждый зубец лопасти содержит контактную поверхность и неконтактную поверхность и угол между каждой контактной поверхностью одного зубца и каждой неконтактной поверхностью следующего зубца;

диск ротора, снабженный пазом, причем паз содержит первый, второй и третий зубцы ротора и первую, вторую и третью шейки ротора, отличающаяся тем, что каждый зубец ротора содержит контактную поверхность, вступающую в контакт с соответствующей контактной поверхностью лопасти, и неконтактную поверхность, расположенную на расстоянии от соответствующей неконтактной поверхности лопасти, при этом контактные поверхности ротора расположены относительно неконтактных поверхностей ротора под тем же углом, что и контактные поверхности и неконтактные поверхности лопасти, и угол оптимизирован для снижения местных и средних напряжений между контактными поверхностями, причем указанный угол является, по существу, симметричным относительно оси, перпендикулярной центральной линии хвостовика лопасти.

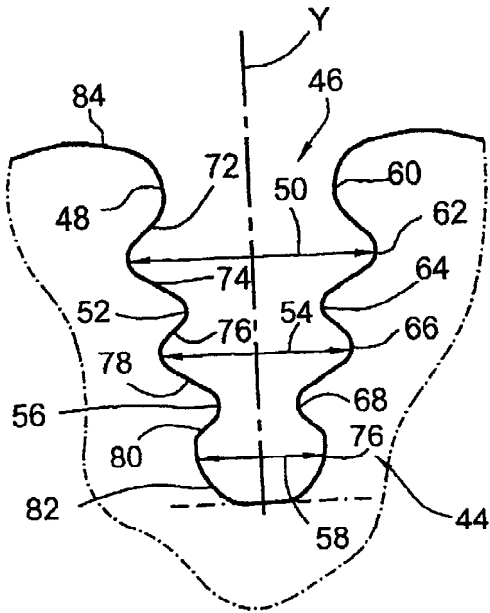
12. Турбина по п.11, отличающаяся тем, что первый зубец ротора имеет радиус кривизны, переходящий в верхнюю поверхность диска ротора.

13. Турбина по п.11, отличающаяся тем, что второй и третий зубцы ротора содержат закругления, причем каждое закругление имеет первый радиус и второй радиус, и закругления соединены плоской поверхностью.

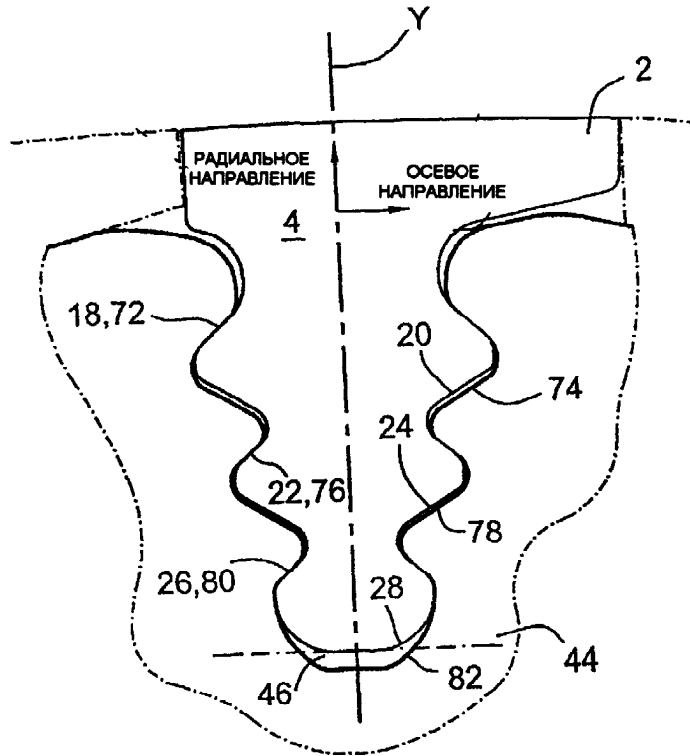
14. Турбина по п.13, отличающаяся тем, что первый радиус превышает второй радиус.

15. Турбина по п.11, отличающаяся тем, что, по меньшей мере, одна из толщин зубцов лопасти и ротора и длин шеек лопасти и ротора оптимизирована для минимизации местных и средних напряжений на контактной поверхности.

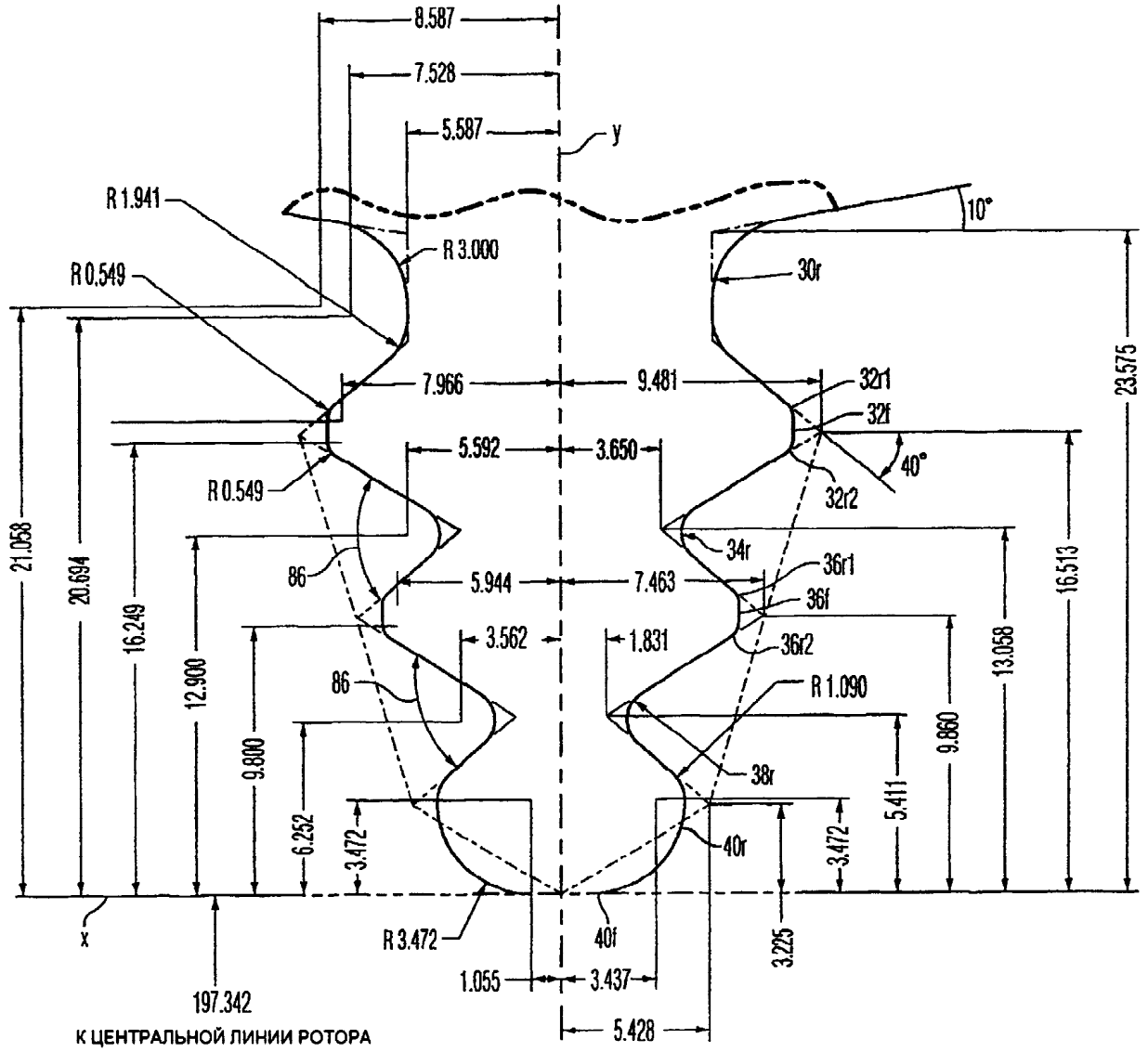
16. Турбина по п.11, отличающаяся тем, что упомянутый угол составляет около $70,6^\circ$.



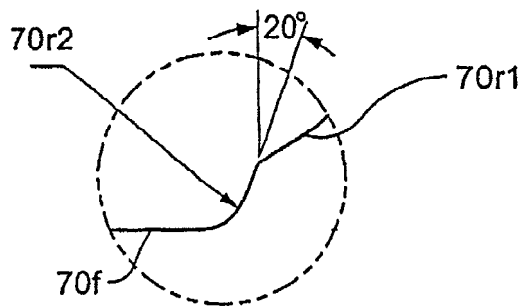
ФИГ.2



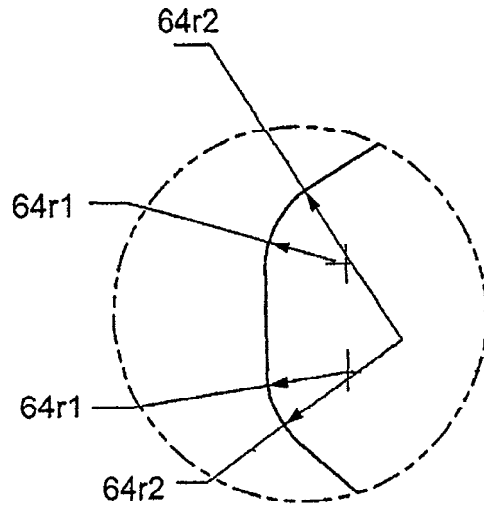
ФИГ.3



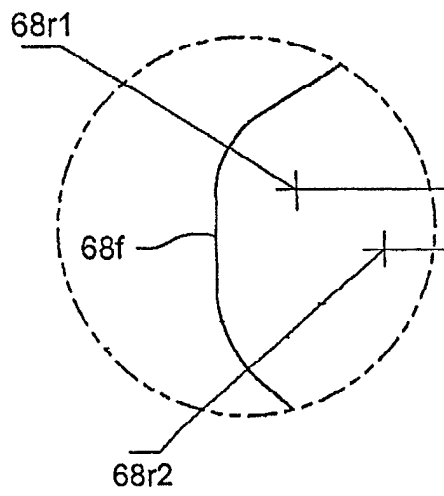
Фиг.5



Фиг.6



ФИГ.7



ФИГ.8