



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2008129037/06, 15.07.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**15.07.2008**

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
**16.07.2007 US 11/778,180**(43) Дата публикации заявки: **20.01.2010** Бюл. № 2(45) Опубликовано: **20.01.2013** Бюл. № 2(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **ТРУХНИЙ А.Д., ЛОМАКИН Б.В.**

**Теплофикационные паровые турбины и  
турбоустановки: Учебное пособие для вузов.**  
- М.: изд. МЭИ, 2002, с.65-71. WO 2007000326  
A1, 04.01.2007. RU 2264541 C2, 20.11.2005. SU  
232986 A1, 01.01.1969. US 5267834 A,  
07.12.1993. US 5509784 A, 23.04.1996. US  
5277549 A, 11.01.1994.

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

**РИАЗ Мухаммад (US),  
СЛЕПСКИ Джонатан (US)**

(73) Патентообладатель(и):

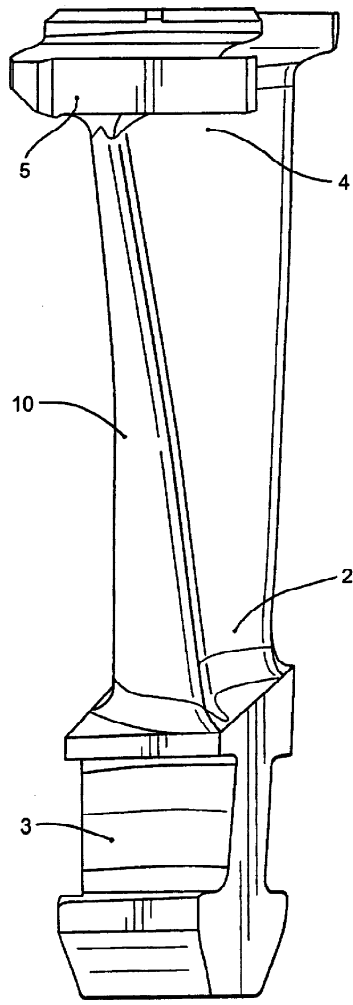
**НУОВО ПИНЬОНЕ ХОЛДИНГ СПА (IT)**

**(54) ВРАЩАЮЩАЯСЯ ЛОПАТКА ДЛЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Вращающаяся лопатка для паровой турбины содержит корневой участок, участок аэродинамического профиля, смежный с корневым участком, верхушечный участок и крышку. Участок аэродинамического профиля, смежный с корневым участком, имеет такую форму, чтобы оптимизировать аэродинамическую характеристику с обеспечением при этом оптимального распределения потока и минимальных центробежных и изгибающих напряжений. Верхушечный участок, смежный с участком аэродинамического профиля, имеет ширину верхушки. Крышка выполнена в виде части

верхушечного участка и образует радиальное уплотнение, которое доводит до минимума верхушечные потери. Ширина крышки превышает ширину верхушки, так что на скорости крышка взаимодействует со смежной крышкой смежной лопатки. Выходная кольцевая площадь лопатки составляет 0,143 м<sup>2</sup>. Диапазон рабочих скоростей лопатки составляет от 5625 до 11250 оборотов в минуту. Максимальный массовый расход для лопатки составляет 30,9 кг/с. В результате лопатки турбины могут эффективно функционировать при повышенных рабочих скоростях. 2 н. и 7 з.п. ф-лы, 4 ил.



ФИГ.2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2008129037/06, 15.07.2008**

(24) Effective date for property rights:  
**15.07.2008**

Priority:

(30) Convention priority:  
**16.07.2007 US 11/778,180**

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

(45) Date of publication: **20.01.2013 Bull. 2**

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):

**RIAZ Mukhammad (US),  
SLEPSKI Dzhonatan (US)**

(73) Proprietor(s):

**NUOVO PIN'ONE KhOLDING SPA (IT)**

(54) **ROTATING BLADE FOR STEAM TURBINE (VERSIONS)**

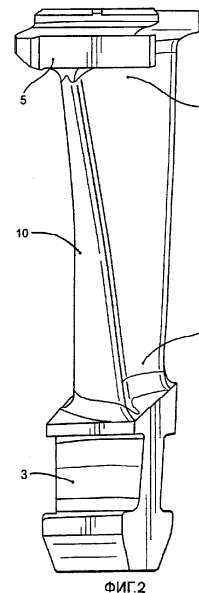
(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: rotating blade for steam turbine includes: root area, aerodynamic profile area adjacent to root area, top area and cover. Aerodynamic profile area adjacent to root area has such form to optimise aerodynamic characteristic with provision of optimal distribution of flow and minimum centrifugal and bending stresses. Top area adjacent to aerodynamic profile area has the width of the top. Cover is made as part of top area and forms radial seal that minimises top losses. Cover width exceeds top width so on the speed the cover interacts with adjacent cover of adjacent blade. Output runabout of blade amounts 0.143 m<sup>2</sup>. Blade working velocity range is from 5625 to 11250 revolutions per minute. Maximum mass flow for blade is 30.9 kg/s.

EFFECT: turbine blades can efficiently operate at increased working velocities.

9 cl, 4 dwg



RU 2 4 7 2 9 4 4 C 2

RU 2 4 7 2 9 4 4 C 2

Настоящее изобретение относится к вращающейся лопатке для паровой турбины и, в частности, к вращающейся лопатке для паровой турбины с оптимизированной геометрией, способной обеспечить повышенные рабочие скорости.

5 Путь потока пара паровой турбины формируют посредством неподвижного цилиндра и ротора. При этом к цилиндру крепят множество неподвижных лопаток в виде идущего по окружности ряда, причем они проходят вовнутрь к пути прохода пара (см., например, Трухний А.Д., Ломакин Б.В., Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: Учебное пособие для вузов, Москва, изд. МЭИ, 10 2002, стр.65-71). Подобным же образом множество вращающихся лопаток крепят и к ротору в виде идущего по окружности ряда, при этом они проходят наружу к пути прохода пара. Неподвижные лопатки и вращающиеся лопатки располагают чередующимися рядами, так что ряд неподвижных лопаток и непосредственно ниже по потоку расположенный ряд вращающихся лопаток образуют ступень. 15 Неподвижные лопатки служат для придания направления потоку пара таким образом, чтобы он входил в находящийся ниже по потоку ряд вращающихся лопаток под правильным углом. Аэродинамические профили вращающихся лопаток забирают энергию от пара, развивая при этом энергию, необходимую для приведения в движение ротора и прикрепленной к нему нагрузки. 20

Количество энергии, забираемой каждым рядом вращающихся лопаток, зависит от размера и конфигурации аэродинамических профилей этих лопаток, а также от количества вращающихся лопаток в ряду. Таким образом, конфигурации аэродинамических профилей лопаток представляют собой важный фактор в 25 отношении термодинамической эксплуатационной характеристики турбины, а определение геометрии аэродинамических профилей вращающихся лопаток составляет важную часть конструирования турбины.

Когда пар течет через турбину, его давление падает на каждой последующей 30 ступени, пока не будет достигнуто желаемое выпускное давление. Таким образом, свойства пара, то есть его температура, давление, скорость и содержание влаги, изменяются от ряда к ряду, когда пар расширяется на пути его прохождения. Поэтому в каждом ряду вращающихся лопаток применяют лопатки, имеющие конфигурацию аэродинамического профиля, которая оптимизирована для условий пара, связанных с 35 этим рядом. Однако в пределах данного ряда конфигурации аэродинамического профиля вращающихся лопаток идентичны, за исключением некоторых турбин, в которых конфигурации аэродинамического профиля изменяются среди лопаток, находящихся в пределах одного ряда, чтобы изменять резонансные частоты.

40 Аэродинамические профили вращающихся лопаток проходят от корня (или хвостовика) лопатки, используемого для крепления лопатки к ротору. Обычно это выполняют посредством придания корню формы "елки" путем формирования приблизительно проходящих в осевом направлении чередующихся выступов и канавок вдоль боковых сторон корня вращающейся лопатки. В диске ротора формируют пазы, имеющие сопрягающиеся выступы и канавки. 45 Когда корень вращающейся лопатки со скольжением заходит в паз диска, центробежная нагрузка на вращающуюся лопатку, которая весьма высока вследствие высокой скорости вращения ротора, будет распределена вдоль частей выступов, у которых корень и диск находятся в контакте. Из-за высокой центробежной нагрузки напряжения в 50 корне вращающейся лопатки и пазах диска весьма высоки. Поэтому важно довести до минимума концентрации напряжений, образуемые посредством выступов и канавок, и довести до максимума опорные площади, по которым действуют силы контакта

между корнем вращающейся лопатки и пазом диска. Это особенно важно для последних рядов паровой турбины низкого давления вследствие значительного размера и веса вращающихся лопаток в этих рядах и наличия коррозионных напряжений вследствие влаги в потоке пара.

5 Кроме постоянной центробежной нагрузки вращающиеся лопатки также будут подвержены вибрации.

Вращающиеся лопатки турбины на участке низкого давления обычно конструируют и оптимизируют для охвата заданной рабочей скорости, которая  
10 необходима при различных применениях. Основными рабочими параметрами являются кольцевая площадь, скорость вращения, способность пропускания расхода и давление конденсации для вращающейся лопатки последней ступени.

Затруднения, связанные с конструированием вращающейся лопатки паровой турбины, усиливает то обстоятельство, что конфигурация аэродинамического  
15 профиля в значительной степени определяет как силы, воздействующие на лопатку, так и ее механическую прочность, и резонансные частоты, а также термодинамическую эксплуатационную характеристику лопатки. Эти соображения налагают ограничения на выбор конфигурации аэродинамического профиля  
20 вращающейся лопатки, так что в силу необходимости оптимальная конфигурация аэродинамического профиля лопатки для данного ряда представляет собой компромисс между ее механическими и аэродинамическими свойствами.

Таким образом, желательно создать ряд лопаток паровой турбины, который  
25 обеспечивает оптимальную термодинамическую эксплуатационную характеристику с доведением при этом до минимума напряжений на аэродинамический профиль лопатки и на ее корень вследствие воздействия центробежных сил, а также избежать воздействия резонанса.

Согласно первому объекту настоящего изобретения создана вращающаяся лопатка  
30 для паровой турбины, содержащая: корневой участок; участок аэродинамического профиля, смежный с корневым участком и имеющий такую форму, чтобы оптимизировать аэродинамическую характеристику с обеспечением при этом оптимального распределения потока и минимальных центробежных и изгибающих  
35 напряжений; верхушечный участок, смежный с участком аэродинамического профиля; и крышку, выполненную в виде части верхушечного участка и образующую радиальное уплотнение, которое доводит до минимума верхушечные потери; при этом выходная кольцевая площадь вращающейся лопатки составляет  $0,143 \text{ м}^2$ .

Предпочтительно, диапазон рабочих скоростей вращающейся лопатки составляет  
40 от 5625 до 11250 оборотов в минуту.

Предпочтительно, вращающаяся лопатка обеспечивает максимальный массовый расход порядка 30,9 кг/с.

Предпочтительно, диапазон рабочих скоростей вращающейся лопатки составляет  
45 от 5625 до 11250 оборотов в минуту.

Предпочтительно, вращающуюся лопатку используют в качестве лопатки для второй - последней ступени.

Предпочтительно, крышка имеет такие размеры, чтобы на скорости она взаимодействовала со смежной крышкой смежной лопатки.

50 Предпочтительно, крышка составляет единое целое с верхушечным участком.

Предпочтительно, радиальное уплотнение содержит, по меньшей мере, одно верхушечное уплотнение.

Согласно второму объекту изобретения создана вращающаяся лопатка для

паровой турбины, содержащая: корневой участок; участок аэродинамического профиля, смежный с корневым участком и имеющий такую форму, чтобы оптимизировать аэродинамическую характеристику с обеспечением при этом оптимального распределения потока и минимальных центробежных и изгибающих напряжений; верхушечный участок, смежный с участком аэродинамического профиля и имеющий ширину верхушки; и крышку, выполненную в виде части верхушечного участка и образующую радиальное уплотнение, которое доводит до минимума верхушечные потери, причем ширина крышки превышает ширину верхушки, так что на скорости крышка взаимодействует со смежной крышкой смежной лопатки; при этом выходная кольцевая площадь лопатки составляет  $0,143 \text{ м}^2$ , диапазон рабочих скоростей лопатки составляет от 5625 до 11250 оборотов в минуту, а максимальный массовый расход для лопатки составляет 30,9 кг/с.

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

Фиг.1 - вид спереди вращающейся лопатки паровой турбины;

Фиг.2 - вид в перспективе;

Фиг.3 - вид сверху крышки лопатки; и

Фиг.4 - верхушка и крышка лопатки.

Как показано на фиг.1 и 2, вращающаяся лопатка для паровой турбины включает в себя корневой участок 2, соединенный с осевой входной частью 3 типа ласточкиного хвоста для подсоединения к ротору турбины. Как показано, часть 3 типа ласточкиного хвоста имеет конфигурацию "елки" с двумя крючками. Согласно предмету изобретения одновременно находящейся на рассмотрении заявки на патент США геометрия осевой входной части типа ласточкиного хвоста оптимизирована для обеспечения распределения среднего и локального напряжения, которое гарантирует требуемую защиту при избыточной скорости и малоциклового усталости.

Аэродинамический профиль 10 проходит от корневого участка 2, а верхушечный участок 4 является смежным с аэродинамическим участком 10. Как показано на фиг.3 и 4, крышка 5 образована в виде части верхушечного участка 4.

Чтобы согласовать рабочие скорости, которые находятся в диапазоне от 5625 до 11250 оборотов в минуту, с максимальным расходом, составляющим порядка 30,9 кг/с, и с выходной кольцевой площадью, составляющей порядка  $0,143 \text{ м}^2$ , были выполнены расчеты, касающиеся динамики текучей среды, для оптимизации геометрии аэродинамического профиля. Расход и кольцевая площадь представляют собой важные конструктивные параметры, оцениваемые специалистами в этой области. «Выходная кольцевая площадь» представляет собой площадь кольцевой формы, образованную снизу посредством верхней части той части лопатки, которая имеет форму ласточкиного хвоста, и сверху посредством нижней стороны крышки. Оптимизированная геометрия может обеспечить более высокие рабочие скорости с возможностью устранения при этом связанных с ними увеличений напряжения и частоты. В частности, участок 10 аэродинамического профиля выполняют с оптимальным отношением шага к ширине. Кроме того, распределение толщины вдоль участка 10 аэродинамического профиля изменено с обычной конструкции на оптимальное исполнение. Далее, кривизна участка 10 аэродинамического профиля отрегулирована на пониженное давление и на ударные потери в результате работы на высокой скорости. Пакетирование аэродинамических участков оптимизировано для доведения до минимума локального напряжения корня лопатки, вызываемого центробежным скручиванием лопатки.

На фиг.3 и 4 показана крышка 5 лопатки соответственно на виде сверху и боковом виде. Крышку 5 предпочтительно подвергают механической обработке совместно с лопаткой и, следовательно, заодно с верхушечным участком 4. Крышка 5 включает в себя, по меньшей мере, одно, а предпочтительно два верхушечных уплотнения 12 и цилиндрические поверхности, механически обработанные на лопатке для обеспечения контроля утечек.

Как показано на фиг.4, крышка 5 имеет большую ширину, чем верхушечная часть 4. Эта конструкция совместно со скручиванием лопатки определяет начальный зазор между контактными сторонами крышек смежных лопаток. Такой зазор будет сомкнут на скорости как следствие поворота крышки, вызываемого раскручиванием лопатки. Как только крышки смежных лопаток входят в зацепление друг с другом, лопатки ведут себя подобно постоянно соединенной конструкции, которая имеет более высокие характеристики жесткости и демпфирования по сравнению с самостоятельной конструкцией, приводя к весьма низким вибрационным напряжениям. То есть, находящиеся в зацеплении крышки между смежными лопатками формируют крышечный пояс или бандаж вокруг внешней периферии колеса турбины для ограничения рабочей текучей среды в пределах вполне определенного пути и для увеличения жесткости лопаток.

Описанная здесь вращающаяся лопатка паровой турбины обеспечивает значительно повышенные аэродинамическую и механическую характеристики и эффективность, при этом лопатки включают в себя крышки, имеющие радиальное уплотнение для доведения до минимума потерь на верхушках, позволяют получить минимальные напряжения от центробежного воздействия и изгибающего воздействия пара, имеют конструкцию непрерывно соединенных крышек для доведения до минимума вибрационных напряжений, обеспечивают уменьшенные потери эффективности и оптимизированное распределение потока. Лопатки турбины как таковые могут эффективно функционировать при повышенных рабочих скоростях.

Хотя изобретение описано применительно к тому, что в настоящее время можно считать наиболее практичными и предпочтительными вариантами его осуществления, следует иметь в виду, что изобретение не ограничено описанными вариантами, напротив, оно предназначено для охвата различных модификаций и эквивалентных компоновок, входящих в объем прилагаемой формулы изобретения.

#### Формула изобретения

1. Вращающаяся лопатка для паровой турбины, содержащая:

корневой участок;

участок аэродинамического профиля, смежный с корневым участком и имеющий такую форму, чтобы оптимизировать аэродинамическую характеристику с обеспечением при этом оптимального распределения потока и минимальных центробежных и изгибающих напряжений;

верхушечный участок, смежный с участком аэродинамического профиля; и крышку, выполненную в виде части верхушечного участка и образующую радиальное уплотнение, которое доводит до минимума верхушечные потери;

при этом выходная кольцевая площадь вращающейся лопатки составляет  $0,143 \text{ м}^2$ .

2. Вращающаяся лопатка по п.1, диапазон рабочих скоростей которой составляет от 5625 до 11250 об/мин.

3. Вращающаяся лопатка по п.2, обеспечивающая максимальный массовый расход порядка 30,9 кг/с.

4. Вращающаяся лопатка по п.1, используемая в качестве лопатки для второй - последней ступени.

5. Вращающаяся лопатка по п.4, в которой крышка имеет такие размеры, чтобы на скорости она взаимодействовала со смежной крышкой смежной лопатки.

6. Вращающаяся лопатка по п.4, диапазон рабочих скоростей которой составляет от 5625 до 11250 об/мин.

7. Вращающаяся лопатка по п.1, в которой крышка составляет единое целое с верхушечным участком.

8. Вращающаяся лопатка по п.1, в которой радиальное уплотнение содержит, по меньшей мере, одно верхушечное уплотнение.

9. Вращающаяся лопатка для паровой турбины, содержащая:  
корневой участок;

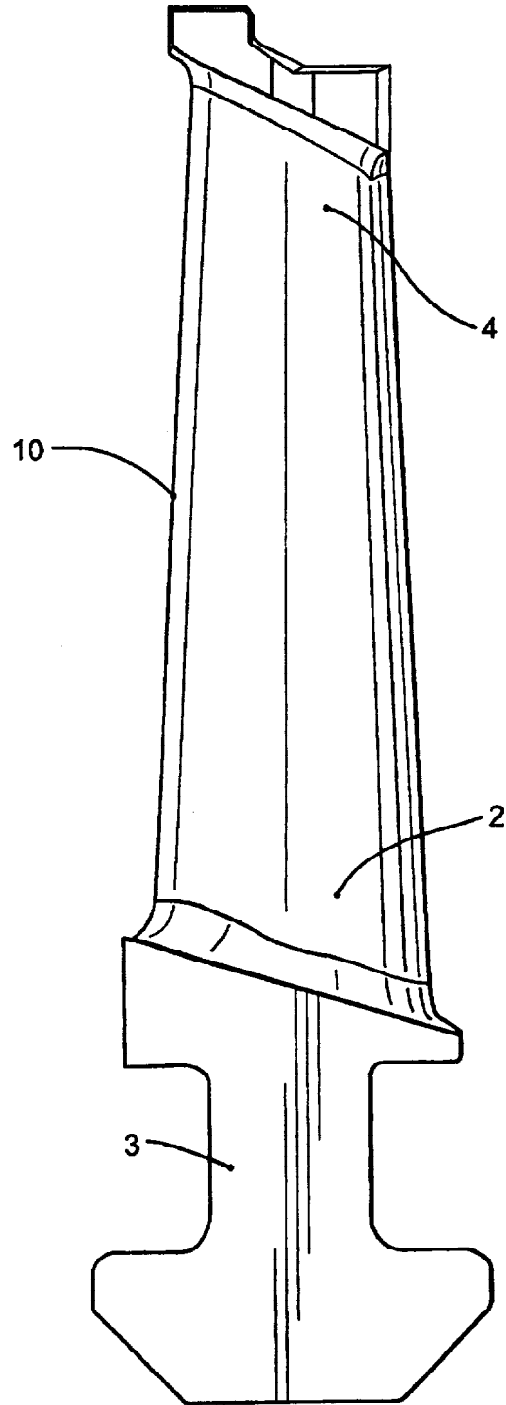
участок аэродинамического профиля, смежный с корневым участком и имеющий такую форму, чтобы оптимизировать аэродинамическую характеристику с обеспечением при этом оптимального распределения потока и минимальных центробежных и изгибающих напряжений;

верхушечный участок, смежный с участком аэродинамического профиля и имеющий ширину вертушки; и

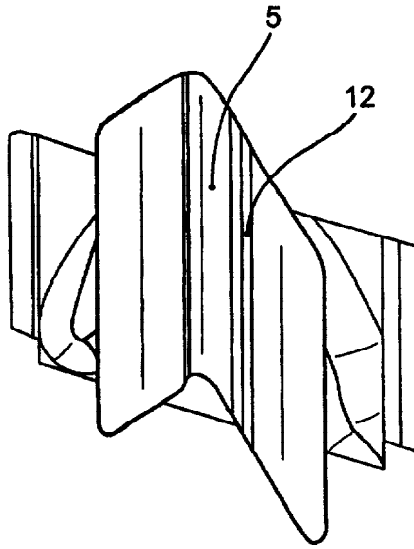
крышку, выполненную в виде части верхушечного участка и образующую радиальное уплотнение, которое доводит до минимума верхушечные потери, причем ширина крышки превышает ширину вертушки, так что на скорости крышка взаимодействует со смежной крышкой смежной лопатки;

при этом выходная кольцевая площадь лопатки составляет  $0,143 \text{ м}^2$ , диапазон рабочих скоростей лопатки составляет от 5625 до 11250 об/мин, а максимальный массовый расход для лопатки составляет 30,9 кг/с.

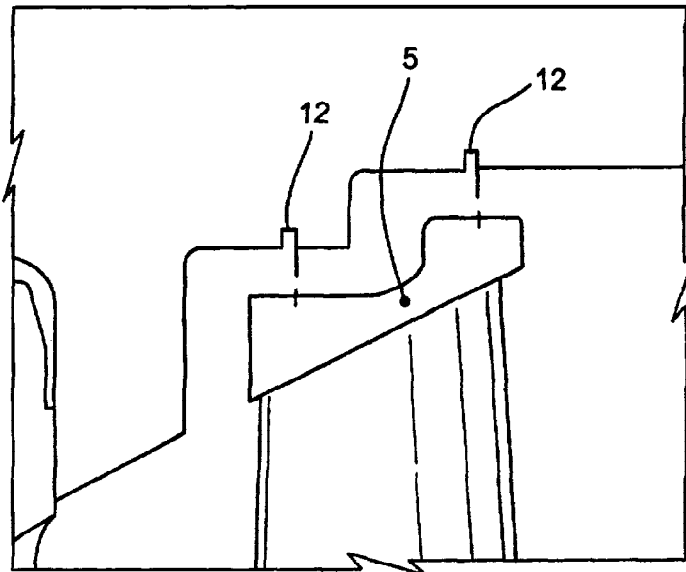




ФИГ.1



ФИГ.3



ФИГ.4