

**ОПИСАНИЕ
ПОЛЕЗНОЙ
МОДЕЛИ К
ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **4203**
(13) **U**
(46) **2008.02.28**
(51) МПК (2006)
F 01D 1/00

(54) **ЦИЛИНДР СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

(21) Номер заявки: u 20070575

(22) 2007.08.02

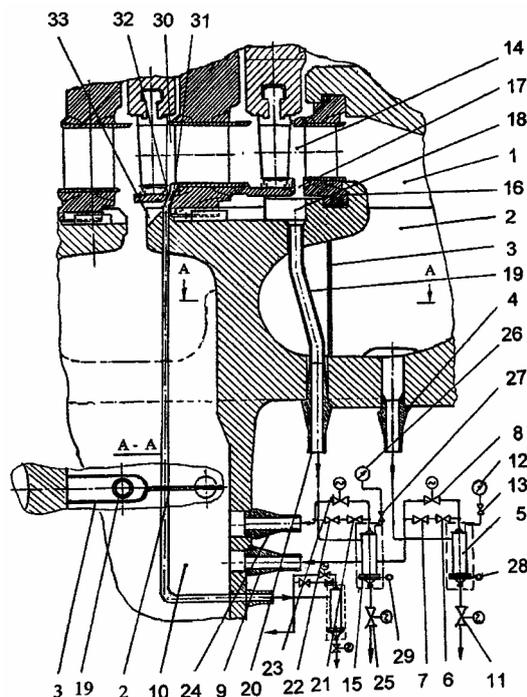
(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Кашеев Владимир Петрович;
Тимошпольский Владимир Исаакович;
Озерец Александр Владимирович;

Хаимов Вячеслав Аркадьевич; Воронов Евгений Олегович; Кашеева Ольга Владимировна; Полетаев Эдуард Иванович; Сорокин Владимир Николаевич (ВУ)
(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

Цилиндр среднего давления паровой турбины, включающий корпус с камерой паровпуска, направляющий аппарат первой ступени, расположенные за ним с зазором рабочие лопатки первой ступени с периферийным бандажом, обечайку статора, размещенную радиально над бандажом рабочих лопаток первой ступени со стороны диафрагмы второй ступени с образованием между обечайкой и корпусом кольцевой полости, а между обечайкой и торцом направляющего аппарата осевого зазора, при этом кольцевая полость соединена через сепаратор с полостью меньшего давления, в нижней половине обечайки между рабочими лопатками первой ступени и направляющими лопатками диафрагмы второй ступени выполнены отверстия, сообщенные с прикрепленным к наружной поверхности обечайки



Фиг. 1

ВУ 4203 U 2008.02.28

коллектором, соединенным через сепаратор с полостью меньшего давления, на торце обечайки установлено кольцо, внутренний диаметр которого соответствует периферийному диаметру лопаток направляющего аппарата первой ступени, а зазор между его торцом и торцом направляющего аппарата больше зазора между кольцом и бандажом рабочих лопаток, на наружной поверхности кольца и обечайки выполнена кольцевая канавка, при этом камера паровпуска имеет корпус, два входных патрубка, оси которых направлены под углом друг к другу, штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц и подсоединенного к полости меньшего давления, **отличающийся** тем, что в камере паровпуска над штатным дренажным штуцером по его диаметру, параллельному оси турбины, установлена непроницаемая перегородка, делящая нижнюю часть камеры паровпуска на две равные части.

(56)

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. 6-е издание. - М.: Энергоатомиздат, 1993. Книга 2. - С. 337, рис. 10-20.
2. Патент США № 6.332.323, МПК F 01D 1/02, 2002.
3. Патент Японии № 3.095.734323, МПК F 01D 25/00, 1/02, 2001.
4. Патент Российской Федерации RU 2.208.682 323, МПК F 01D 1/02, 2001.
5. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбасов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.

Полезная модель относится к области энергетического машиностроения и может быть использована при конструировании и модернизации паровых турбин, работающих с промежуточным перегревом пара.

Известен цилиндр среднего давления паровой турбины (ЦСД) с промежуточным перегревом пара, содержащий корпус с камерой паровпуска, имеющей два входных патрубка, оси которых направлены под углом друг к другу, и штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц [1].

Недостатком известного технического решения является то, что транспортируемые паром в цилиндр среднего давления через камеру паровпуска отслаивающиеся от стенок промежуточного пароперегревателя оксидные пленки в виде окалина концентрируются в первой и второй ступенях цилиндра среднего давления турбины, вызывая повреждение их лопаточного аппарата и разрушение надбандажных уплотнений, что вызывает значительное сокращение ресурса лопаточного аппарата и снижение экономичности ЦСД турбины.

Известен цилиндр среднего давления паровой турбины с промежуточным перегревом пара, содержащий корпус с камерой паровпуска, имеющей входные патрубки, оси которых направлены под углом друг другу [2].

С целью увеличения экономичности и надежности турбины ее лопатки выполнены с износостойкими защитными элементами. Недостатком данного технического решения является повышение стоимости лопаточного аппарата при сохранении износа, хотя и с меньшей интенсивностью.

Известен цилиндр среднего давления паровой турбины с промежуточным перегревом пара, содержащий корпус с камерой паровпуска, имеющей входные патрубки, оси которых направлены под углом друг другу [3].

С целью повышения экономичности и надежности паровой турбины путем снижения износа лопаточного аппарата и уменьшения разрушения надбандажных уплотнений на каждом входном патрубке установлены ловушки для твердых частиц в виде трубчатого кармана глубиной $2,5 d$ (d - диаметр патрубка), размещенного под углом 90° к патрубку.

Установка ловушек снижает количество твердых частиц, поступающих в проточную часть турбины, но, во-первых, снижение количества частиц невысокое, во-вторых, установка ловушек приводит к увеличению гидравлических потерь при проходе пара, в-третьих, к возрастанию размеров входной части паровой турбины.

Ближайшим техническим решением к предлагаемому является изобретение "Цилиндр среднего давления паровой турбины" [4], разработанное применительно к паровой турбине закритических параметров с промежуточным перегревом пара Т-250/300-240. Цилиндр среднего давления паровой турбины состоит из двух частей: ЦСД-1 и ЦСД-2. Ввод пара в камеру паровпуска ЦСД-1 осуществляется через два паропровода. ЦСД-1 включает корпус с камерой паровпуска, направляющий аппарат первой ступени, расположенные за ним с зазором рабочие лопатки первой ступени с периферийным бандажом, обечайку статора, размещенную радиально над бандажом рабочих лопаток первой ступени со стороны диафрагмы второй ступени с образованием между обечайкой и корпусом кольцевой полости, а между обечайкой и торцом направляющего аппарата осевого зазора, при этом кольцевая полость соединена через сепаратор с полостью меньшего давления, в нижней половине обечайки между рабочими лопатками первой ступени и направляющими лопатками диафрагмы второй ступени выполнены отверстия, сообщенные с прикрепленным к наружной поверхности обечайки коллектором, соединенным через сепаратор с полостью меньшего давления, на торце обечайки установлено кольцо, внутренний диаметр которого соответствует периферийному диаметру лопаток направляющего аппарата первой ступени, а зазор между его торцом и торцом направляющего аппарата больше зазора между кольцом и бандажом рабочих лопаток, на наружной поверхности кольца и обечайки выполнена кольцевая канавка, при этом камера паровпуска имеет корпус, два входных патрубка, оси которых направлены под углом друг к другу, штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц и подсоединенного к полости меньшего давления.

С целью повышения надежности и экономичности первых ступеней ЦСД-1 турбины за счет снижения абразивного износа лопаточного аппарата и надбандажных уплотнений организованы 3 отбора пара с твердыми частицами: одно из камеры паровпуска, второе из цилиндра за направляющим аппаратом 13-ой ступени (в ЦСД это первая ступень), третье - из цилиндра за рабочим колесом 13-ой ступени.

Организация трех ступеней отбора пара действительно снижает уровень абразивного износа лопаточного аппарата и надбандажных уплотнений, но, во-первых, не может его полностью устранить, поскольку из камеры паровпуска удаляют только часть твердых частиц на входе пара в цилиндр среднего давления. Во-вторых, столкновение потоков пара при его вводе в камеру паровпуска по двум патрубкам приводит к частичной потере скорости пара, что ухудшает КПД турбины. В-третьих, из-за микроколебаний расхода пара через каждый патрубок на входе в камеру паровпуска зона смешения потоков пара немного перемещается относительно оси турбины с какой-то частотой. Это приводит к микроколебаниям передней части оси турбины, которые могут привести к усталостным трещинам вала турбины и элементов ее проточной части.

Но самое главное, ничего не сделано для дробления крупных абразивных частиц на мелкие, а именно крупные и вызывают наибольший износ проточной части турбины. Абразивное воздействие наиболее сильно проявляется при первом ударе, а при повторных контактах и после дробления частиц сила удара и их воздействие на лопатку существенно уменьшаются. Природа износа, по мнению большинства исследователей, состоит в режущем и ударно-режущем действии абразивных частиц, соударяющихся с изнашиваемой поверхностью. Согласно [5], при ударе частицы о лопатку всеми реальными силами можно пренебречь, кроме мгновенной силы удара, которая пропорциональна синусу угла падения и скорости соударения в первой степени, размеру частицы - во второй степени и корню квадратному из предела текучести материала лопатки и плотности частицы.

ВУ 4203 U 2008.02.28

Данные недостатки в значительной степени устраняются:

1) при организации ввода пара в камеру паровпуска без взаимодействия потоков пара друг с другом;

2) при организации дробления крупных абразивных частиц на мелкие.

Такой ввод может быть обеспечен путем изменения углов наклона патрубков, подводящих пар в камеру паровпуска, изменением формы подводящих патрубков, комбинацией этих конструктивных решений, а для дробления крупных абразивных частиц на мелкие можно организовать их ударное взаимодействие с какими-то устройствами.

Задача полезной модели - повысить эффективность работы паровой турбины закритических параметров при удешевлении ее эксплуатации.

Поставленная задача достигается тем, что в цилиндре среднего давления паровой турбины, включающем корпус с камерой паровпуска, направляющий аппарат первой ступени, расположенные за ним с зазором рабочие лопатки первой ступени с периферийным бандажом, обечайку статора, размещенную радиально над бандажом рабочих лопаток первой ступени со стороны диафрагмы второй ступени с образованием между обечайкой и корпусом кольцевой полости, а между обечайкой и торцом направляющего аппарата осевого зазора, при этом кольцевая полость соединена через сепаратор с полостью меньшего давления, в нижней половине обечайки между рабочими лопатками первой ступени и направляющими лопатками диафрагмы второй ступени выполнены отверстия, сообщенные с прикрепленным к наружной поверхности обечайки коллектором, соединенным через сепаратор с полостью меньшего давления, на торце обечайки установлено кольцо, внутренний диаметр которого соответствует периферийному диаметру лопаток направляющего аппарата первой ступени, а зазор между его торцом и торцом направляющего аппарата больше зазора между кольцом и бандажом рабочих лопаток, на наружной поверхности кольца и обечайки выполнена кольцевая канавка, при этом камера паровпуска имеет корпус, два входных патрубка, оси которых направлены под углом друг к другу, штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц и подсоединенного к полости меньшего давления, в камере паровпуска над штатным дренажным штуцером по его диаметру, параллельному оси турбины, установлена непроницаемая перегородка, делящая нижнюю часть камеры паровпуска на две равные части.

Установка непроницаемой перегородки-пластины в камере паровпуска, кроме увеличения КПД за счет исключения потери кинетической энергии при столкновении потоков пара и устранения микроколебаний передней части вала из-за плавного ввода пара в проточную часть ЦСД, приводит к столкновению абразивных твердых частиц с ней, чем частично разбивает их на более мелкие фрагменты, что уменьшает производимый ими эрозионный износ проточной части турбины. Таким образом, самый опасный первый удар у частиц происходит преимущественно с непроницаемой перегородкой, так как твердые частицы, имеющие немного другую траекторию пути в поле центробежных сил, чем пар, попадают прямо на нее. Частицы ударяются о пластину и "ползут" вдоль нее, при этом интенсивно истираясь. Прижатие частиц к стенке происходит за счет Кориолисовой силы.

Данное заявляемое решение позволяет повысить работоспособность и экономичность паровой турбины за счет:

1) уменьшения затрат на поддержание в работоспособном состоянии лопаточного аппарата и надбандажных уплотнений из-за снижения их абразивного износа;

2) повышения КПД турбины;

3) повышения срока службы вала турбины.

Таким образом, поставленная задача полезной модели - повышение эффективности работы паровой турбины закритических параметров при удешевлении ее эксплуатации - выполнена.

ВУ 4203 U 2008.02.28

Полезная модель иллюстрируется чертежами:

на фиг. 1 - устройство первых ступеней цилиндра среднего давления и камеры паровпуска;

на фиг. 2 - схема движения пара и твердых частиц в камере паровпуска.

Цилиндр среднего давления ЦСД-1 паровой турбины Т-250/300-240 включает расположенные в камере 1 паровпуска перегородку-экран 2 и обтекатель 3, сваренные между собой и приваренные к стенкам камеры 1 паровпуска. Перегородка 2 и обтекатель 3 делят нижнюю часть камеры 1 паровпуска на две равные полости, между которыми находится штатный дренажный штуцер 4. Штуцер 4 соединен с входным патрубком сепаратора 5; выходной патрубок сепаратора 5 подключен через регулирующие клапаны 6, 7 и параллельно соединенный с ними запорный вентиль 8 и штуцер 9 с патрубком 10 третьего регенеративного отбора пара (пар идет на ПВД-3). Накопитель сепаратора 5, расположенный в его нижней части, подключен через запорный клапан 11 к расширителю дренажей среднего давления (РДСД) либо к другой полости пониженного давления. Для контроля давления пара в сепараторе 5 предусмотрен манометр 12 с отсечным клапаном 13. Этот сепаратор 5 с арматурой и трубопроводами образует первый и основной контур отвода твердых частиц из проточной части ЦСД-1.

Второй контур предназначен для отвода абразивных продуктов из межвенечного (между сопловым аппаратом и рабочим колесом) зазора 14 1-й ступени ЦСД-1 в сепаратор 15 и возврата очищенного пара в третий отбор. Он включает межвенечный зазор 14, направляющий аппарат 16, открытый осевой зазор 17, промежуточную камеру 18, закрытый обтекателем 3 дренажный канал 19, соединенный через штуцер 20 с сепаратором 15. Выходной патрубок сепаратора 15 через регулирующие клапаны 21, 22 и параллельно с ними запорным клапаном 23 соединен со штуцером 24 патрубка 10 третьего отбора. Накопитель сепаратора 15, расположенный в его нижней зоне, соединен через запорный клапан 25 с расширителем дренажей среднего давления либо с другой полостью пониженного давления. Для контроля давления пара в сепараторе 15 предназначен манометр 26, подсоединенный к сепаратору 15 через отсечный клапан 27.

В средней части корпусов сепараторов 5 и 15 расположены термоэлектрические преобразователи 28 и 29 типа ТХК 9419.

Третий контур предназначен для эвакуации твердых частиц из межвенечного зазора 30 2-й ступени ЦСД-1. Он образован входной камерой 31, отверстием 32, находящимся в ободу диафрагмы 2-й ступени, и каналом 33, ведущим к сепарационной установке, аналогичной двум вышеприведенным.

Работа устройства происходит следующим образом. При пуске турбины открытие отсечных и регулирующих клапанов 34 сопровождается поступлением перегретого пара, содержащего абразивные продукты. Паровые потоки из подводящих патрубков 35, встречаясь с перегородкой 2, замедляют скорость и изменяют направление. Твердые частицы, имеющие немного другую траекторию пути в поле центробежных сил, чем пар, движутся, в основном, вдоль нижней стенки пароподводящих патрубков и попадают прямо на перегородку 2, из-за чего частично разбиваются на более мелкие фрагменты, что уменьшает производимый ими эрозионный износ проточной части турбины. Из-за потери энергии они теряют скорость и концентрируются в нижней области камеры 1 паровпуска, где находится штуцер 4. Перегородка 2 и обтекатель 3, помимо увеличения концентрации частиц в нижней области камеры 1 паровпуска, одновременно улучшают газодинамические характеристики камеры 1 паровпуска, поскольку уменьшают потери от непосредственной встречи паровых потоков после правого и левого регулирующих клапанов.

Твердые частицы, сконцентрированные в окрестности входного отверстия штуцера 4, увлекаются паровой продувкой в сепаратор 5, где происходит отделение крупнодисперсных частиц, способных повредить элементы проточной части, и возврат паровой фазы в патрубок третьего отбора 10. Оптимальный расход пара в продувке, определяемый как

компромиссная величина между снижением мощности ввиду байпасирования 1-й и 2-й ступеней ЦСД-1 и эффективностью эвакуации абразивных продуктов, устанавливается регулирующими клапанами 6 и 7. По мере увеличения массы твердых частиц в накопителе сепаратора 5 осуществляют сброс собранных частиц открытием запорного клапана 11 в расширитель дренажей среднего давления. Для включения режима форсированной продувки первого контура кратковременно открывают запорный клапан 8; при этом отвод из проточной части твердых частиц существенно возрастает, однако снижение экономичности ЦСД-1 может оказаться заметным. Поэтому целесообразная длительность режима форсированной продувки должна быть установлена наладочными испытаниями системы защиты. Твердые частицы, не попавшие в первый продувочный контур, транспортируются паровым потоком в межлопаточные каналы направляющего аппарата 16 1-й ступени, частично или полностью осаждаются на выпуклых поверхностях направляющих лопаток. Поскольку контакт частиц с направляющими лопатками происходит при малых скоростях и преимущественно под малыми углами, процесс повреждения металла лопаток незначителен.

Так как скорость абразивных продуктов меньше скорости парового потока, твердые частицы встречаются с рабочими лопатками 1-й ступени под большими отрицательными углами. При этом часть продукта, содержащая, главным образом, фрагменты меньших размеров, поступает в каналы рабочего колеса и далее движется в них, смещаясь в периферийном направлении. Другая часть частиц после удара о входные кромки рабочих лопаток отражается от них с высокой скоростью и движется, пересекая паровой поток, в сторону направляющих лопаток 2-ой ступени, причиняя повреждения их выходным кромкам со стороны выпуклой поверхности.

В результате такого характера движения на периферии межвенечного зазора 14 концентрируется, прежде всего, среднedisперсная часть спектра частиц, которая через открытый зазор 17 поступает в промежуточную камеру 18, а оттуда - через канал 19 и штуцер 20 - в сепаратор 15, работающий аналогично сепаратору 5 первого контура.

Твердые частицы, преодолевшие рабочие лопатки 1-й ступени, поступают в направляющий аппарат 2-й ступени и концентрируются в периферийной области межвенечного зазора 30, откуда удаляются через входную камеру 31, отверстие 32 и канал 33 в сепарационное устройство, аналогичное двум рассмотренным. Таким образом, снижается интенсивность повреждения периферийного зазора 2-й ступени и уменьшается потеря ее экономичности, защищается от эрозии следующая по ходу пара проточная часть турбины.

Предлагаемая полезная модель реализована в устройстве, установленном на Минской ТЭЦ-4 на 5-ом энергоблоке с турбиной Т-250/300-240.

Оценка экономического эффекта от использования полезной модели.

1. Вначале учтем экономический эффект от экономии топлива, принимая во внимание то, что без системы защиты от абразивного износа КПД ЦСД-1 даже за первый год эксплуатации снижается на 2 %, а затем продолжает уменьшаться с какой-то возрастающей скоростью. Межремонтный период для данного энергоблока составляет 4 года. Поэтому, даже принимая, что среднее ухудшение КПД ЦСД-1 за этот период составляет всего 2 %, получим уменьшение КПД всей турбоустановки в целом следующим образом.

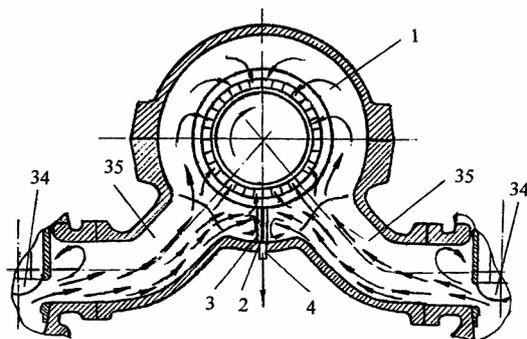
Весь сработанный теплоперепад на турбине Т-250/300-240 (при разных режимах) составляет около 1500 кДж/кг, а на ЦСД-1 - примерно 350 кДж/кг, поэтому экономия от изобретения составит $0,02 \cdot 350 / 1500 = 0,0047 = 0,47$ %. Если на этом энергоблоке на выработку одного кВт-ч электрической энергии идет 0,25 кг у.т. (такие хорошие показатели достигаются за счет теплофикации, а в среднем по Беларуси этот показатель составляет 0,326 кг у.т./кВт-ч), то при работе энергоблока в среднем за 1 год 5500 часов экономия топлива составит: $0,0047 \cdot 0,25 \cdot 250,000 \cdot 7000 = 2056,6$ ту.т. То есть около 2000 тонн условного топлива при числе часов работы в году 5500 часов. При цене топлива 100 долларов за 1 ту.т. это составит 200.000 долларов в год.

ВУ 4203 U 2008.02.28

2. Экономия от уменьшения стоимости ремонтов проточной части ЦСД-1, повреждаемой абразивным износом.

Ранее ремонт проводился 1 раз в 4-е года. Стоимость ремонта около 35,000-45,000 долларов. Следовательно, экономия в среднем за 1 год составит порядка 10,000 долларов.

Итого, суммарный экономический эффект составит порядка 210,000 долларов в год.



Фиг. 2