

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13384

(13) С1

(46) 2010.06.30

(51) МПК (2009)

F 01D 1/00

(54)

ЦИЛИНДР СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

(21) Номер заявки: а 20070991

(22) 2007.08.02

(43) 2009.04.30

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

(72) Авторы: Кашеев Владимир Петрович (ВУ); Тимошпольский Владимир Исаакович (ВУ); Хаимов Вячеслав Аркадьевич (РУ); Воронов Евгений Олегович (ВУ); Кашеева Ольга Владимировна (ВУ); Полетаев Эдуард Иванович (ВУ); Сорокин Владимир Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) RU 2208682 С1, 2003.

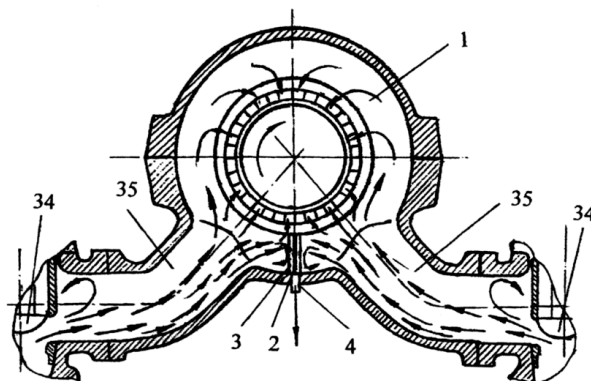
RU 2122639 С1, 1998.

US 5332359 А, 1994.

GB 2001139 А, 1979.

(57)

1. 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 периферийным бандажом рабочих лопаток первой ступени со стороны диафрагмы второй ступени с образованием между обечайкой статора и корпусом кольцевой полости, а между обечайкой статора и торцом направляющего аппарата с образованием осевого зазора, при этом кольцевая полость соединена через сепаратор с полостью меньшего давления, в нижней половине обечайки статора между рабочими лопатками первой ступени и направляющими лопатками диафрагмы второй ступени выполнены отверстия, сообщенные с прикрепленным к наружной поверхности обечайки статора коллектором, соединенным через сепаратор с полостью меньшего давления, на торце обечайки статора установлено кольцо, внутренний диаметр которого соответствует периферийному диаметру



Фиг. 2

рабочих лопаток направляющего аппарата первой ступени, а зазор между торцом кольца и торцом направляющего аппарата первой ступени больше зазора между кольцом и бандажом рабочих лопаток, на наружной поверхности кольца и обечайки статора выполнена кольцевая канавка, при этом камера паровпуска имеет корпус с двумя входными патрубками, оси которых направлены под углом друг к другу, штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц и подсоединенного к кольцевой полости меньшего давления, **отличающийся** тем, что в камере паровпуска над штатным дренажным штуцером по его диаметру, параллельному оси паровой турбины, установлена непроницаемая перегородка, делящая нижнюю часть камеры паровпуска на две части.

2. Цилиндр по п. 1, **отличающийся** тем, что непроницаемая перегородка выполнена шероховатой.

Изобретение относится к области энергетического машиностроения и может быть использовано 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 окарины 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 периферийным бандажом рабочих лопаток первой ступени со стороны диафрагмы второй ступени с образованием между обечайкой статора и корпусом кольцевой полости, а между обечайкой статора и торцом направляющего аппарата с образованием осевого зазора, при этом кольцевая полость соединена через сепаратор с полостью меньшего давления, в нижней половине обечайки статора между рабочими лопатками первой ступени и направляющими лопатками диафрагмы второй ступени выполнены отверстия, сообщенные с прикрепленным к наружной поверхности обечайки статора коллектором, соединенным через сепаратор с полостью меньшего давления, на торце обечайки статора установлено кольцо, внутренний диаметр которого соответствует периферийному диаметру рабочих лопаток направляющего аппарата первой ступени, а зазор между торцом кольца и торцом направляющего аппарата первой ступени больше зазора между кольцом и бандажом рабочих лопаток, на наружной поверхности кольца и обечайки статора выполнена кольцевая канавка, при этом камера паровпуска имеет корпус с двумя входными патрубками, оси которых направлены под углом друг к другу, штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц и подсоединенного к кольцевой полости меньшего.

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: первый - из камеры паровпуска, второй - из цилиндра за направляющим аппаратом 13-й ступени (в ЦСД это первая ступень), третий - из цилиндра за рабочим колесом 13-й 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.

Данные недостатки в значительной степени устраняются:

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

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.

ВУ 13384 С1 2010.06.30

Задача изобретения - 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 периферийным бандажом рабочих лопаток первой ступени со стороны диафрагмы второй ступени с образованием между обечайкой статора и корпусом кольцевой полости, а между обечайкой статора и торцом направляющего аппарата с образованием осевого зазора, при этом кольцевая полость соединена через сепаратор с полостью меньшего давления, в нижней половине обечайки статора между рабочими лопатками первой ступени и направляющими лопатками диафрагмы второй ступени выполнены отверстия, сообщенные с прикрепленным к наружной поверхности обечайки статора коллектором, соединенным через сепаратор с полостью меньшего давления, на торце обечайки статора установлено кольцо, внутренний диаметр которого соответствует периферийному диаметру рабочих лопаток направляющего аппарата первой ступени, а зазор между торцом кольца и торцом направляющего аппарата первой ступени больше зазора между кольцом и бандажом рабочих лопаток, на наружной поверхности кольца и обечайки статора выполнена кольцевая канавка, при этом камера паровпуска имеет корпус с двумя входными патрубками, оси которых направлены под углом друг к другу, штатный дренажный штуцер, соединенный с входным патрубком сепаратора, снабженного накопителем твердых частиц и подсоединенного к кольцевой 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 части, кроме того, непроницаемая перегородка может быть выполнена шероховатой.

Установка непроницаемой перегородки 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. Особенно этот эффект возрастает при установке шероховатой пластины, так как частицы ударяются о пластину и уже не отскакивают от нее, а как бы прилипают к ней, "ползут" вдоль нее, при этом интенсивно истираясь. Прижатие частиц к стенке происходит за счет Кориолисовой силы. Поскольку в этом техническом решении происходит дробление частиц, то есть увеличение их количества, то при их определенном количестве могут образоваться их конгломераты (это следует из открытия СССР № 198 от 15 мая 1979 г.). В соответствии с ним в движущейся двухфазной системе частицы могут находиться в двух устойчивых состояниях: либо при объемной концентрации менее 0,05, либо более чем 0,35. Конгломераты опускаются вдоль стенки вниз и при открытии отверстия в штатном дренажном штуцере частицы с паром выводятся из камеры паровпуска.

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

- сохранения неизменным КПД турбины;
- уменьшения затрат на поддержание в работоспособном состоянии лопаточного аппарата и надбандажных уплотнений из-за снижения их абразивного износа;
- повышения срока службы вала турбины.

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

ВУ 13384 С1 2010.06.30

Изобретение 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 непроницаемую перегородку 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 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. 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.

ЦСД-1 имеет отсечные и регулирующие клапаны 34, пароподводящие патрубки 35.

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 штатный дренажный 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 штатного дренажного штуцера 4, увлекаются паровой продувкой в сепаратор 5, где происходит отделение крупнодисперсных частиц, способных повредить элементы проточной части, и

ВУ 13384 С1 2010.06.30

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 заметной. 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 осаждаясь 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-й 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.

Исследование, проведенное при плановом ремонте турбины № 4, показало, что лопаточный аппарат и надбандажные уплотнения при использовании предлагаемого технического решения имеют незначительный абразивный износ. При работе сохранялся неизменным КПД турбины.

Поэтому такое решение снижения эрозии тепломеханического оборудования было дополнительно реализовано в устройствах, установленных на Минской ТЭЦ-4 на 5 и 6-м энергоблоках с турбинами Т-250/300-240.

Оценка экономического эффекта от использования изобретения.

Вначале оценим экономический эффект от экономии топлива при работе одного устройства, принимая во внимание, что без системы защиты от абразивного износа даже за первый год эксплуатации КПД ЦСД-1 снижается на 2 %, а затем продолжает уменьшаться с какой-то возрастающей скоростью. Межремонтный период для данного энергоблока составляет 4 года. Принимая, что без использования системы защиты от абразивного износа среднее ухудшение КПД ЦСД-1 за этот период составляет только 2 % (а на самом деле эта величина больше), определим уменьшение КПД всей турбоустановки в целом следующим образом.

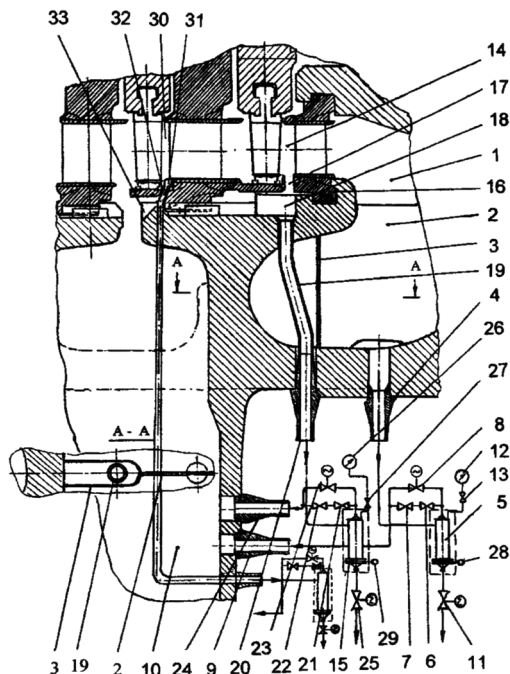
Так как весь сработанный теплоперепад на турбине Т-250/300-240 (при разных режимах) составляет около 1500 кДж/кг, а на ЦСД-1 - примерно 350 кДж/кг, то эффект от использования системы защиты от абразивного износа составит $0,02 \times 350 / 1500 = 0,0047 = 0,47\%$. Если на этом энергоблоке на выработку 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 равен 0,326 кг у.т./кВт-ч), то (при работе энергоблока в среднем за 1 год 5500 часов) экономия топлива составит: $0,0047 \times 0,25 \times 250000 \times 5500 = 1615,6$ ту.т. При цене топлива 200 долларов за 1 ту.т. это составит 323.000 долларов в год.

Кроме того, оценим экономию при работе устройства от уменьшения стоимости ремонтов проточной части ЦСД-1, прежде повреждаемой абразивным износом. Ранее, без устройства, ремонт проводился 1 раз в 4 года. Стоимость ремонта около 35000-45000 долларов. Следовательно, снижение затрат составит еще 10000 долларов в год.

Итого, суммарный экономический эффект на одном энергоблоке составит порядка 334000 долларов в год.

Источники информации:

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. 6-е издание. Книга 2. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 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 РФ 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. - С. 526.



Фиг. 1