

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038539**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.09.13

(51) Int. Cl. **G21D 1/00 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202090490

(22) Дата подачи заявки
2017.12.29

(54) ОДНОКОНТУРНАЯ АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

(31) 2017119435

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НАУКА И ИННОВАЦИИ" (RU)**

(32) 2017.06.02

(33) RU

(72) Изобретатель:

(43) 2020.08.31

**Коровкин Сергей Викторович,
Тутунина Евгения Викторовна (RU)**

(86) PCT/RU2017/001009

(87) WO 2018/222077 2018.12.06

(74) Представитель:

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ИНЖИНИРИНГОВАЯ
КОМПАНИЯ "АСЭ";
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ";**

Снегов К.Г. (RU)

(56) RU-C2-2493482
RU-C1-2568032
US-A1-4293384
US-A1-4418285

(57) В одноконтурной атомной электростанции с теплоносителем под давлением, включающей энергетическую установку и дроссельное устройство с рабочим колесом, соединенные между собой отводящим и подводящим трубопроводами, паровую турбину, соединенную трубопроводами с дроссельным устройством и конденсатором, также соединенным с дроссельным парогенератором; дроссельное устройство выполнено в виде дроссельного парогенератора, вертикально разделенного на зону парового объема, зону высокого давления и зону пониженного давления, разделенные горизонтальными герметичными перегородками, зона парового объема расположена выше зоны высокого давления, которая расположена выше зоны пониженного давления, зона высокого давления соединена с входом подводящего трубопровода и соединена с зоной пониженного давления дроссельными соплами, выполненными в перегородке между этими зонами на ее периферии под наклоном к вертикали, зона пониженного давления связана с паровой зоной вертикальным трубопроводом, проходящим через центры горизонтальных герметичных перегородок и зоны высокого давления, при этом одноконтурная атомная электростанция дополнительно снабжена электродвигателем, выполненным с возможностью вращения рабочего колеса. Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением и дроссельным парогенератором обеспечивает высокую эффективность использования ядерного топлива, а также надежность и безопасность ее работы во всех режимах и может быть применена в ядерной энергетике.

B1

038539

038539

B1

Область техники

Изобретение относится к ядерной технике, в частности к атомным электростанциям (АЭС), и может быть использовано для получения электроэнергии.

Предшествующий уровень техники

Неотъемлемой частью современных АЭС является комплекс механизмов, устройств и систем, предназначенных для получения в ядерном реакторе тепла и преобразования его в энергию пара, отводимого к потребителям либо на турбину, вырабатывающую электроэнергию. Очевидно, что повышение эффективности использования ядерного топлива в АЭС может быть произведено за счёт организации этого комплекса, называемого ядерной паропроизводящей установкой (ЯППУ). В настоящее время известно несколько типов АЭС с различными ЯППУ.

Известна одноконтурная технологическая схема АЭС, включающая ЯППУ, паровую турбину и конденсатор, в которой ЯППУ представляет собой ядерный реактор с размещенной в нем активной зоной, патрубками подачи воды и патрубками отвода пара. В активной зоне реактора происходит нагрев воды до температуры насыщения, кипение воды и генерация пара. Пар из реактора подается на паровую турбину, вырабатывающую электроэнергию. Отработанный в турбине пар конденсируется в конденсаторе, образовавшаяся вода питательными насосами вновь возвращается в реактор. Недостатком такого типа ЯППУ является то, что наличие пара в активной зоне реактора приводит к увеличению габаритов реактора и образованию накипи на тепловыделяющих элементах, усложнению системы управления реактором, неравномерности нейтронного поля и, что приводит к снижению эффективности использования ядерного топлива.

Известна двухконтурная технологическая схема АЭС, включающая ЯППУ, паровую турбину и конденсатор, в которой ЯППУ представляет собой ядерный реактор с дополнительно введенными в него парогенераторами, объединенные системой циркуляционных трубопроводов и циркуляционных насосов в первый контур, по которому циркулирует горячая вода под давлением, не допускающим её кипения. В активной зоне реактора вода нагревается, поступает в парогенератор, где передает тепло через поверхности теплообмена воде второго контура, которая находится под давлением насыщения и кипит. Образовавшийся при этом пар подается на паровую турбину. Отработанный в турбине пар конденсируется в конденсаторе, образовавшаяся вода питательными насосами вновь возвращается в парогенераторы. Вынесение зоны кипения воды в отдельные парогенераторы позволяет уменьшить габариты реактора, улучшить теплогидравлические и нейтронно-физические параметры активной зоны, упростить управление реактором. В то же время недостатком такого решения является то, что это приводит к образованию накипи на теплопередающих поверхностях парогенераторов, усложняет и удорожает ЯППУ, так как парогенераторы являются крупногабаритными и дорогими аппаратами, что приводит к снижению эффективности использования ядерного топлива.

В обеих вышеперечисленных технологических схемах АЭС пар генерируется посредством кипения воды на поверхности теплообмена, что приводит к образованию накипи на тепловыделяющих и теплопередающих элементах.

Для устранения этого недостатка была предложена технологическая схема одноконтурной АЭС, раскрытая в [2] со ссылкой на авторское свидетельство СССР № 286612 от 02.01.1989, в которой в технологической схеме одноконтурной АЭС, использующей реактор с водой под давлением и соединённое с реактором подводящим и отводящим трубопроводами дроссельное устройство, выполненное в виде двухфазной гидравлической турбины привода рабочего колеса главного циркуляционного насоса (ГЦН), паровую турбину и конденсатор, связанный трубопроводами с дроссельным устройством, а также компенсатором давления и питательным насосом для подачи питательной воды из конденсатора в дросселирующее устройство. В одноконтурной АЭС по такой схеме генерация пара производится за счёт дросселирования горячей воды до давления ниже точки кипения в гидравлической турбине паропроизводящей установки, а не кипения воды на поверхности нагрева. При дросселировании потока горячей воды ниже температуры насыщения часть горячей воды превращается в пар, причем двухфазный поток, представляющий собой смесь пара и воды, увеличивает свою скорость. При этом также происходит выработка мощности двухфазной гидротурбины за счёт её вращения. Образовавшийся пар под действием центробежных и гравитационных сил отделяется от воды и подается на паровую турбину. Отработанный в турбине пар конденсируется в конденсаторе, образовавшаяся вода питательным насосом вновь возвращается в двухфазную гидравлическую турбину, приводящую рабочее колесо ГЦН, возвращающую питательную воду в реактор через подводящий трубопровод. Такой способ генерации пара исключает из технологической схемы теплопередающие поверхности, на которых происходит генерация пара, что позволяет исключить парообразование в активной зоне ядерного реактора и заменить громоздкие и дорогие парогенераторы на компактные и дешевые дроссельные устройства, что позволяет сократить габариты и стоимость ядерной паропроизводящей установки.

Недостатком АЭС, в которой ЯППУ выполнена с указанным дроссельным устройством генерации пара является сложность запуска АЭС и сложность обеспечения устойчивой работы при изменении мощности ввиду наличия положительной обратной связи между мощностью двухфазной гидротурбины и мощностью ГЦН, рабочее колесо которого приводится двухфазной гидротурбиной. При недостаточном

давлении пара, попадающего на двухфазную гидротурбину через отводящий трубопровод, её мощности становится недостаточно для вращения рабочего колеса ГЦН, что приводит к недостаточной подаче питательной воды в реактор и к дальнейшему падению давления пара в отводящем трубопроводе, что в дальнейшем может привести к неконтролируемому разгону реактора и даже его взрыву. Для частичного устранения этого недостатка в такой одноконтурной АЭС используется компенсатор давления, присоединённый к отводящему трубопроводу между реактором и двухфазной гидротурбиной, содержащий запас питательной воды и греющее устройство и выполненный с возможностью подачи пара в двухфазную гидротурбину в режимах запуска АЭС и при падении давления пара в отводящем трубопроводе. Однако введение компенсатора давления усложняет АЭС, приводит к недостаточной эффективности использования ядерного топлива и, кроме того, не позволяет обеспечить требуемую безопасность работы одноконтурной АЭС.

Раскрытие изобретения

Задача настоящего изобретения состоит в разработке одноконтурной АЭС с повышенной эффективностью использования ядерного топлива и повышенной надёжностью и безопасностью при работе во всех режимах.

Технический результат настоящего изобретения заключается в повышении эффективности использования ядерного топлива в одноконтурной АЭС с теплоносителем под давлением и повышении надёжности и безопасности при её работе во всех режимах.

Технический результат достигается тем, что в известную одноконтурную атомную электростанцию с теплоносителем под давлением, включающую энергетическую установку и дроссельное устройство с рабочим колесом, соединённые между собой отводящим и подводящим трубопроводами, паровую турбину, соединённую трубопроводами с дроссельным устройством и конденсатором, также соединённым с дроссельным парогенератором, введён электродвигатель, соединённый с рабочим колесом и выполненный с возможностью его вращения, а дроссельное устройство выполнено в виде дроссельного парогенератора, вертикально разделённого на зону парового объёма, зону высокого давления и зону пониженного давления, разделённые горизонтальными герметичными перегородками, при этом зона парового объёма расположена выше зоны высокого давления, которая расположена выше зоны пониженного давления, зона высокого давления соединена с входом подводящего трубопровода и соединена с зоной пониженного давления дроссельными соплами, выполненными в перегородке между этими зонами на её периферии под наклоном к вертикали, зона пониженного давления связана с паровой зоной вертикальным трубопроводом, проходящим через центры горизонтальных герметичных перегородок и зоны высокого давления.

Предпочтительно выполнить электродвигатель соединённым с паровой турбиной.

Целесообразно снабдить атомную электростанцию с теплоносителем под давлением резервным дизельным генератором, соединённым с электродвигателем и выполненным с возможностью подачи электропитания к электродвигателю.

Рекомендуется снабдить трубопровод, соединяющий дроссельный парогенератор и паровую турбину, паровым регулирующим клапаном с возможностью регулировки и перекрытия потока пара.

Предпочтительно снабдить трубопровод, соединяющий конденсатор и дроссельный парогенератор питательным насосом.

Преимуществами настоящего изобретения являются повышение эффективности использования ядерного топлива в АЭС с теплоносителем под давлением и повышение надёжности и безопасности её работы во всех режимах. Выполнение дроссельного устройства в виде дроссельного парогенератора, вертикально разделённого на зону парового объёма, зону высокого давления и зону пониженного давления, разделённые горизонтальными герметичными перегородками, при этом зона парового объёма расположена выше зоны высокого давления, которая расположена выше зоны пониженного давления, зона высокого давления соединена с входом подводящего трубопровода и соединена с зоной пониженного давления дроссельными соплами, выполненными в перегородке между этими зонами на её периферии под наклоном к вертикали, зона пониженного давления связана с паровой зоной вертикальным трубопроводом, проходящим через центры горизонтальных герметичных перегородок, и зона высокого давления позволяет провести разделение парогазовой смеси под давлением на пар и воду без образования накипи и с выработкой энергии воды в дроссельных отверстиях, что позволяет повысить эффективность использования ядерного топлива в АЭС с теплоносителем под давлением за счёт использования энергии движения воды, истекающей из дроссельных сопел, и использования центробежных сил, дополнительно разделяющих парогазовую смесь на пар и газ, что также позволяет повысить надёжность и безопасность работы одноконтурной АЭС с теплоносителем под давлением во всех режимах. Снабжение одноконтурной АЭС с теплоносителем под давлением электродвигателем, выполненным с возможностью вращения рабочего колеса позволяет повысить эффективность использования ядерного топлива в АЭС с теплоносителем под давлением за счёт сложения энергии потоков воды, истекающей из дроссельных сопел и энергии вращения рабочего колеса, а также позволяет надёжность и безопасность её работы во всех режимах за счёт обеспечения независимости работы рабочего колеса от давления в отводящем трубопроводе, что позволяет осуществить запуск реактора за счёт мощности электродвигателя, а также исключает

разгон мощности реактора, вызванный недостатком теплоносителя.

Краткое описание чертежа

На чертеже представлено схематическое изображение конструкции одноконтурной атомной электростанции в предпочтительном варианте выполнения, содержащей энергетическую установку, выполненную в виде ядерного реактора 1 с активной зоной 2, соединённого посредством отводящего трубопровода 3 и подводящего трубопровода 15 с дроссельным устройством, выполненным в виде дроссельного парогенератора 4 с рабочим колесом 13, разделённого на зону высокого давления 5, зону пониженного давления 6 и зону парового объёма 7, разделённые горизонтальными герметичными перегородками, на периферии горизонтальной герметичной перегородки, разделяющей зону высокого давления 5 и зону пониженного давления 6, в ней выполнены под наклоном к вертикали дроссельные сопла 8, зона высокого давления 8 соединена с входом отводящего трубопровода 3, зона пониженного давления 6 соединена с зоной парового объёма 7 вертикальным трубопроводом, проходящим через центры горизонтальных герметичных перегородок и зоны высокого давления. Одноконтурная атомная электростанция снабжена электродвигателем главного циркуляционного насоса 14, выполненным с возможностью вращения рабочего колеса 13, паровым регулирующим клапаном 9, расположенным на трубопроводе, соединяющем дроссельный парогенератор 4 и паровую турбину 10, соединённую трубопроводом с конденсатором 11, соединённым, в свою очередь, трубопроводом, на котором установлен питательный насос 12, с дроссельным парогенератором 4.

Осуществление изобретения

Одноконтурная атомная электростанция по настоящему изобретению в предпочтительном варианте работает следующим образом.

Через находящуюся в корпусе ядерного реактора 1 активную зону 2 прокачивается находящаяся под давлением вода, которая нагревается и по отводящему трубопроводу 3 реактора 1 поступает в дроссельный парогенератор 4, состоящий из зоны высокого давления 5, зоны пониженного давления 6 и зоны парового объёма 7. Зона высокого давления 5 и зона пониженного давления 6 разделены горизонтальной герметичной перегородкой с установленными в ней дроссельными соплами 8, выполненными с возможностью снижения давления и разгона потока горячей воды. В дроссельных соплах 8 давление горячей воды падает ниже давления насыщения, благодаря этому горячая вода вскипает и образовавшийся двухфазный поток разгоняется. Дроссельные сопла 8 установлены с наклоном к вертикали таким образом, что двухфазный поток закручивается вокруг оси дроссельного парогенератора 4. За счёт центробежной силы вода в зоне пониженного давления 6 отбрасывается к стенкам дроссельного парогенератора 4, а пар через вертикальный трубопровод уходит в зону парового объёма 7, откуда через паровой регулирующий клапан 9 поступает на паровую турбину 10, ротор которой соединён с ротором электрогенератора. Отработавший на паровой турбине 10 пар конденсируется в конденсаторе 11 и сконденсировавшаяся вода насосом питательной воды 12 подается в дроссельный парогенератор 4 к рабочему колесу циркуляционного насоса 13, которое приводится во вращение электродвигателем 14, получающим электроэнергию от паровой турбины 10. Далее поток воды, состоящий из отсепарированной вращающейся воды зоны пониженного давления и питательной воды, рабочим колесом 13 через подводящий трубопровод 15 вновь подается в корпус реактора 1, при этом за счет кинетической энергии вращающейся воды и вращения рабочего колеса давление воды повышается до давления в реакторе 1. Преобразование кинетической энергии вращающейся воды в потенциальную энергию давления позволяет значительно уменьшить потребление электроэнергии циркуляционным насосом на повышения давления водяного потока.

Электродвигатель 14 работает следующим образом: в нормальном режиме работы он получает электроэнергию от ротора электрогенератора, соединённого с ротором паровой турбины, в аварийном режиме возможно питание электродвигателя 14 от резервных дизельных генераторов АЭС, при запуске АЭС электродвигатель 14 может получать электроэнергию из промышленной сети, дизельных генераторов или любого иного внешнего источника. Эти возможности, отличающие настоящее изобретение от [2], обеспечивают повышение надёжности и безопасности работы одноконтурной АЭС с теплоносителем под давлением во всех режимах.

В режиме запуска АЭС может быть использован паровой регулирующий клапан 9. Для этого при запуске паровой регулирующей клапан 9 перекрывают для создания достаточного давления пара, после чего открытие парового регулирующего клапана 9 обеспечивает запуск паровой турбины 10.

Расчеты показывают, что при параметрах воды на выходе из реактора и параметрах пара на входе в турбину, аналогичных параметрам АЭС с реактором ВВЭР-1000, расход электроэнергии на привод рабочего колеса 13 составит не более 3% от вырабатываемой паровой турбиной 10, что аналогично потребляемой мощности главных циркуляционных насосов на двухконтурной АЭС с реактором ВВЭР-1000.

Сущность заявленного изобретения не сводится только к вышеописанным вариантам. Специалисты в области техники могут дополнить её дополнительными вариантами.

Промышленная применимость

Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением обеспечивает высокую эффективность использования ядерного топлива, а также надёжность и безопасность её работы во всех режимах и может быть применена в ядерной энергетике.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением, включающая энергетическую установку и дроссельное устройство с рабочим колесом, соединённые между собой отводящим и подводящим трубопроводами, паровую турбину, соединённую трубопроводами с дроссельным устройством и конденсатором, также соединённым с дроссельным устройством, отличающаяся тем, что в неё введён электродвигатель, соединённый с рабочим колесом и выполненный с возможностью его вращения, а дроссельное устройство выполнено в виде дроссельного парогенератора, вертикально разделённого на зону парового объёма, зону высокого давления и зону пониженного давления, разделённые горизонтальными герметичными перегородками, зона парового объёма расположена выше зоны высокого давления, которая расположена выше зоны пониженного давления, зона высокого давления соединена с входом подводящего трубопровода и соединена с зоной пониженного давления дроссельными соплами, выполненными в перегородке между этими зонами на её периферии под наклоном к вертикали, зона пониженного давления связана с паровой зоной вертикальным трубопроводом, проходящим через центры горизонтальных герметичных перегородок и зоны высокого давления.

2. Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением по п.1, отличающаяся тем, что электродвигатель соединён с паровой турбиной.

3. Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением по п.1, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена резервным дизельным генератором, соединённым с электродвигателем и выполненным с возможностью подачи электропитания к электродвигателю.

4. Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением по п.1, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена паровым регулирующим клапаном, установленным в трубопроводе, соединяющем дроссельный парогенератор и паровую турбину, с возможностью регулировки и перекрытия потока пара.

5. Одноконтурная атомная электростанция с теплоносителем под давлением по п.1, отличающаяся тем, что дополнительно содержит питательный насос, расположенный в трубопроводе, соединяющем конденсатор и дроссельный парогенератор.

