

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037023**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.01.27

(21) Номер заявки
201992871

(22) Дата подачи заявки
2017.12.29

(51) Int. Cl. **F22B 37/52** (2006.01)
F28G 9/00 (2006.01)
G21C 1/00 (2018.01)

(54) ПАРПРОИЗВОДЯЩАЯ УСТАНОВКА ДВУХКОНТУРНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА С СИСТЕМОЙ ПРОДУВКИ И ДРЕНАЖА

(43) **2020.03.31**

(86) **PCT/RU2017/001010**

(87) **WO 2019/132704 2019.07.04**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ";
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НАУКА И ИННОВАЦИИ" (АО
"НАУКА И ИННОВАЦИИ") (RU)**

(56) NIGMATULIN I.N. et al. Yadernye energeticheskie ustanovki: uchebnik dlya vuzov, M., Energoatomizdat, 1986, p. 120-122
RU-C1-2118854
US-A-5833767

(72) Изобретатель:
**Дорохин Константин Владимирович,
Шестаков Андрей Викторович (RU)**

(74) Представитель:
Черных И.В. (RU)

(57) Предложенная паропроизводящая установка двухконтурного ядерного реактора с системой продувки и дренажа реализована по замкнутому контуру без классических расширителей продувки и рассчитана на максимальное давление рабочей среды в парогенераторах (ПГ). Продувочная вода ПГ объединяется в одну линию, охлаждается в регенеративном теплообменнике, затем в доохладителе продувки и дренажа и выводится за герметичную оболочку. За пределами герметичной оболочки продувочная вода ПГ подается на очистку в систему спецводоочистки продувочной воды ПГ, рассчитанную на максимальное давление рабочей среды в ПГ. После очистки продувочная вода возвращается в герметичную оболочку и через регенеративный теплообменник в питательные трубопроводы каждого ПГ. Достижимым техническим результатом является увеличение расхода продувки ПГ, что приводит к ускоренной нормализации водно-химического режима даже при значительных отклонениях и, как следствие, к увеличению срока службы каждого ПГ и паропроизводящей установки в целом, а также снижению энергетических потерь на возврат очищенной продувочной воды во второй контур при одновременной автономности системы из-за отсутствия связи с оборудованием машинного зала.

B1**037023****037023****B1**

Изобретение относится к области энергетики и может быть использовано в двухконтурных ядерных энергетических установках на атомных электростанциях с водо-водяным энергетическим реактором с водой под давлением и паропроизводящей установкой с горизонтальными парогенераторами.

Для целей понимания описания настоящего изобретения используемые термины обозначают следующее:

"горячий" коллектор - коллектор парогенератора, в который входит теплоноситель от первого контура реактора;

"холодный" коллектор - коллектор, через который теплоноситель первого контура выходит из парогенератора и поступает на линию всасывания главного циркуляционного насоса;

"карманы" коллекторов - застойные зоны, образующиеся между коллекторами первого контура реактора и внутренней поверхностью дна парогенератора и ухудшающие качество продувки;

"горячее" днище - днище парогенератора со стороны "горячего" коллектора;

"холодное" днище - днище парогенератора со стороны "холодного" коллектора;

"солевой" отсек - зона во внутреннем объеме парогенератора с наибольшей концентрацией растворенных солей в котловой воде со стороны "холодного" днища;

спецводоочистка - система фильтров, предназначенных для очистки продувочной воды парогенераторов от продуктов коррозии и примесей в ионной форме.

В атомных электростанциях (АЭС) с двухконтурными реакторами типа ВВЭР (реакторами с водой под давлением - PWR) для успешного функционирования реакторного отделения необходимо большое количество разнообразных технологических систем, одной из которых, как первого, так и второго контуров, является паропроизводящая установка, которая, с одной стороны, за счет тепла, получаемого в реакторе, вырабатывает пар, используемый в качестве рабочего тела паровой турбины для производства электроэнергии, а с другой - предназначена надежно и постоянно обеспечивать охлаждение активной зоны реактора. При работе паропроизводящей установки через ее парогенераторы прокачивают теплоноситель первого контура, что предъявляет к ее конструкции и эксплуатации особые требования. В частности, паропроизводящую установку размещают внутри защитной оболочки (контеймента), при этом для обеспечения герметичности количество проходок через контеймент различных технологических линий должно быть минимизировано.

Надежность работы АЭС, в частности, зависит от уровня организации водно-химического режима (ВХР) второго контура. Нарушения ВХР могут приводить к преждевременному выходу из строя парогенераторов, являющихся основой паропроизводящей установки реактора, т.е. могут существенно снизить ее эксплуатационную надежность и ресурс. Для обеспечения надежной и безопасной работы парогенератора необходимо своевременно удалять с теплообменной поверхности труб и из объема парогенератора отложения, в которых происходит концентрирование коррозионно-активных примесей котловой воды. При этом высокая концентрация этих примесей в отдельных зонах парогенератора может приводить к развитию коррозионного растрескивания сварных соединений и теплообменных труб парогенератора. Удаление из парогенератора нежелательных примесей проводят путем продувки, которую ведут как непрерывно, так и периодически, а также совмещая непрерывную и периодическую продувку.

Известна паропроизводящая установка с реактором ВВЭР-1000, содержащая четыре идентичных парогенератора, которые представляют собой горизонтальные однокорпусные двухконтурные теплообменные аппараты с погруженной поверхностью теплообмена. Парогенератор состоит из корпуса, выполненного в виде горизонтального барабана, соединенного с горизонтальным паровым коллектором и с коллектором питающей воды, в парогенераторе имеются входной ("горячий") и выходной ("холодный") вертикальные трубные коллекторы теплоносителя первого контура и штуцера продувки. Для поддержания нормального солевого режима в парогенераторе предусмотрены непрерывные и периодические продувки /Нигматулин И.Н., Нигматулин Б.И. Ядерные энергетические установки: учебник для вузов, М., Энергоатомиздат, 1986, с. 120-122/.

Известна паропроизводящая установка двухконтурного ядерного реактора с системой продувки и дренажа, содержащая четыре парогенератора, заключенные в герметичный объем реакторной установки, с горизонтальным корпусом с нижней образующей корпуса, "горячим" и "холодным" коллекторами теплоносителя первого контура с образованными между ними и поверхностью дна парогенератора карманами, солевым отсеком, коллектором пара и системой продувки и дренажа. Теплоноситель из первого контура поступает в "горячий" коллектор. Отдает свое тепло воде парогенератора и, охлаждаясь, выходит через "холодный" коллектор на линию всасывания главного циркуляционного насоса. В парогенератор подают питательную воду. Осушенный пар выходит из коллектора пара, а далее паропроводами подается на турбину. Система продувки парогенераторов состоит из двух индивидуальных для каждого парогенератора продувочных трубопроводов, предназначенных для проведения независимо друг от друга непрерывной и периодической продувок, при этом исключено влияние продувки отдельных парогенераторов друг от друга. Отбор для непрерывной продувки осуществляют из солевого отсека, а периодической - из карманов "горячего" и "холодного" коллекторов и линий продувки с нижней образующей корпуса. Коллекторы непрерывной и периодической продувки каждого парогенератора выполняют и выводят за пределы герметичного объема отдельными до врезки их в соединительный трубопровод расширителей

продувки. Каждый парогенератор снабжен также отдельным патрубком дренажа, соединенным с дренажным трубопроводом, затем дренажные трубопроводы всех парогенераторов объединяют в единый дренажный коллектор, выводят за пределы герметичного объема и направляют на охладитель дренажа /Б.И. Лукаевич, Н.Б. Трунов и др. "Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций", М.: ИКЦ "Академкнига", 2004, с.83-86/.

Недостатками известной паропроизводящей установки являются необходимость наличия расширителя продувки, что обеспечивает снижение давления до параметров деаэратора, и при этом увеличиваются энергетические потери на возврат объема, поступающего на расширители, во второй контур, недостаточный расход продувочной воды, что увеличивает время нормализации ВХР, отдельный вывод за пределы герметичного объема коллекторов непрерывной и периодической продувки и дренажного коллектора, что снижает эксплуатационную надежность из-за дополнительного снижения герметичности, а также необходимость технологических связей с машинным залом и зависимость работы системы от оборудования машинного зала, поскольку сброс выпара из расширителя осуществляют в коллектор пара деаэратора, а возврат очищенной продувочной воды осуществляют в деаэратор или расширитель дренажей машинного зала.

Известна также система продувки и дренажа парогенераторов, предназначенная для поддержания водно-химического режима и для слива из них воды (<http://www.stroitelstvo-new.ru/nasosy/paroturbinnaya-ustanovka.shtml>).

Система работает в режиме непрерывной продувки и в режиме совмещения непрерывной и периодической продувок, при котором из парогенераторов выводятся шлам и взвеси.

Продувочная вода из парогенераторов поступает в расширитель продувки, а затем через регенеративный теплообменник продувки, доохладитель и систему очистки насосом подается на подогреватели низкого давления турбоустановки. В режиме слива вода из парогенераторов по дренажным трубопроводам стекает в бак слива, затем периодически по мере подъема уровня в баке перекачивается на очистку.

Недостатками известного технического решения являются необходимость снижения давления до параметров деаэратора посредством расширителя продувки и, как следствие, увеличенные энергетические потери на возврат объема продувочной воды во второй контур, технологические связи с машинным залом и зависимость работы системы от оборудования машинного зала, поскольку сброс выпара из расширителя продувки осуществляется в коллектор пара деаэратора, возврат очищенной продувочной воды осуществляется в деаэратор или расширитель дренажей машинного зала, а также недостаточный расход продувочной воды, что увеличивает время нормализации ВХР.

Технической проблемой, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является создание паропроизводящей установки двухконтурного ядерного реактора с высокими эксплуатационной надежностью и ресурсом.

Технический результат заключается в сокращении времени нормализации ВХР второго контура за счет увеличения расхода продувочной воды при одновременном снижении энергетических потерь на возврат очищенной продувочной воды во второй контур и обеспечении автономности паропроизводящей установки.

Техническая проблема решается, а технический результат достигается за счет того, что паропроизводящая установка двухконтурного ядерного реактора с системой продувки и дренажа содержит четыре заключенных в защитный герметичный объем идентичных парогенератора с горизонтальным корпусом с нижней образующей корпуса, горячим и холодным коллекторами первого контура с карманами и солевым отсеком, каждый парогенератор соединен с коллектором пара, трубопроводом подачи питательной воды, трубопроводами продувки из солевого отсека, из нижней образующей корпуса и карманов коллекторов первого контура, при этом все трубопроводы продувки каждого парогенератора объединены в единый коллектор продувки парогенератора с последующим объединением в общий коллектор продувки парогенераторов, который соединен со входом регенеративного теплообменника, отводящий трубопровод которого соединен с доохладителем продувки и охлаждения дренажей с отводящим трубопроводом доохлажденной продувочной воды, выведенным из защитного герметичного объема и соединенным с системой спецводоочистки с отводящим трубопроводом очищенной продувочной воды парогенераторов и установленным на нем по меньшей мере одним насосом очищенной продувочной воды, напорная линия которого введена в защитный герметичный объем и соединена со входом в межтрубное пространство регенеративного теплообменника, выход которого через общий трубопровод подачи очищенной продувочной воды и трубопроводы подачи очищенной продувочной воды каждого парогенератора соединен с трубопроводами подачи питательной воды соответствующего парогенератора, при этом трубопровод доохлажденной продувочной воды после вывода из защитного герметичного объема снабжен отводящим трубопроводом дренирования парогенераторов, соединенным с баком слива воды.

Предпочтительно, что на отводящем трубопроводе очищенной продувочной воды парогенераторов установлены три насоса - рабочий, резервный и ремонтный.

Изобретение поясняется упрощенной схемой паропроизводящей установки двухконтурного ядерного реактора с системой продувки и дренажа.

Паропроизводящая установка двухконтурного ядерного реактора с системой продувки и дренажа

содержит четыре заключенных в защитный герметичный объем идентичных парогенератора 1 (остальные три парогенератора на схеме не показаны) с горизонтальным корпусом с нижней образующей корпуса, холодным 2 и горячим 3 коллекторами первого контура с образованными между ними и поверхностью дна парогенератора карманами (на схеме не показаны) и солевым отсеком 4, каждый парогенератор соединен с коллектором пара 5, трубопроводом подачи питательной воды 6, 7, 8 и 9 соответственно первого, второго, третьего и четвертого парогенераторов, трубопроводами продувки из солевого отсека 10, из нижней образующей корпуса 11 и карманов коллекторов 2 и 3 первого контура 12. Все трубопроводы продувки каждого парогенератора объединены в единый коллектор продувки парогенератора 13, 14, 15 и 16 соответственно с последующим объединением их в общий коллектор продувки 17 парогенераторов 1. Общий коллектор продувки парогенераторов 17 соединен со входом регенеративного теплообменника 18, отводящий трубопровод которого 19 соединен с доохладителем продувки и охлаждения дренажей 20. Отводящий трубопровод доохлажденной продувочной воды 21 доохладителя продувки и охлаждения дренажей 20 выведен за границу защитного герметичного объема 22 и соединен с системой спецводоочистки 23. На отводящем трубопроводе очищенной продувочной воды парогенераторов 24 системы спецводоочистки 23 установлены насосы очищенной продувочной воды 25 - рабочий, резервный и ремонтный, напорная линия которых 26 введена за границу защитного герметичного объема 22 и соединена со входом в межтрубное пространство регенеративного теплообменника 18, выход которого через общий трубопровод подачи очищенной продувочной воды 27 и трубопроводы подачи очищенной продувочной воды 28, 29, 30 и 31 каждого парогенератора соответственно соединен с трубопроводами подачи питательной воды 6, 7, 8, и 9 соответствующего парогенератора. Трубопровод доохлажденной продувочной воды 21 после вывода за границу защитного герметичного объема 22 снабжен отводящим трубопроводом дренирования всех четырех парогенераторов 32, который соединен с баком слива воды 33, снабженным насосом 34 для сброса в трубопровод сброса воды парогенераторов 35.

Паропроизводящая установка работает следующим образом. Теплоноситель из первого контура поступает в "горячий" коллектор 3 каждого парогенератора 1, отдает свое тепло воде парогенератора 1 и, охлаждаясь, выходит через "холодный" коллектор 2 на всас главного циркуляционного насоса (на схеме не показан). В каждый парогенератор 1 по трубопроводам подачи питательной воды 6, 7, 8 и 9 в первый, второй, третий и четвертый парогенераторы 1 соответственно подают питательную воду. Осушенный пар выводят из коллектора пара 5 каждого парогенератора 1, а далее паропроводами подают на турбину (на схеме не показаны).

Продувка заключается в непрерывном и периодическом отборе части котловой воды из мест наиболее вероятного скопления продуктов коррозии, солей и шлама. Через трубопроводы продувки 10 из солевых отсеков 4 каждого из парогенераторов 1, трубопроводы продувки 11 из нижней образующей корпуса и трубопроводы 12 из карманов коллекторов 2 и 3 отводят потоки непрерывной и периодической продувок, после чего потоки как непрерывной, так и периодической продувок объединяют в единых коллекторах продувки 13, 14, 15 и 16 парогенераторов 1, а затем в общем коллекторе 17 парогенераторов 1. Основной расход непрерывной продувки организован через трубопроводы продувки 10 из солевого отсека 4, размещенного на "холодном" днище корпуса. Периодическую продувку парогенераторов ведут как из солевого отсека 4, так и по трубопроводам продувки 11 из нижней образующей корпуса и трубопроводам 12 из карманов коллекторов 2 и 3. В режиме нормальной эксплуатации периодическую продувку парогенераторов проводят циклически путем увеличения расходов на одном из четырех парогенераторов в любой момент времени. По общему коллектору 17 потоки продувок поступают в трубы регенеративного теплообменника 18, где охлаждаются и откуда по отводящему трубопроводу 19 регенеративного теплообменника 18 подаются на доохладение в доохладитель продувки и дренажей 20, откуда по отводящему трубопроводу доохлажденной продувочной воды 21 поступают в систему спецводоочистки 23 - очистки продувочной воды парогенераторов от продуктов коррозии и примесей в ионной форме, при этом обеспечивается поддержание водно-химического режима 2-го контура по продуктам коррозии и растворенным примесям. Насос очищенной продувочной воды 25, установленный на отводящем трубопроводе очищенной продувочной воды 24 парогенераторов 1, по напорной линии 26 подает охлажденную и очищенную от нежелательных примесей продувочную воду в межтрубное пространство регенеративного теплообменника 18, где она нагревается за счет охлаждения продувочной воды, поступающей в трубы регенеративного теплообменника 18 по общему коллектору 17 продувок парогенераторов 1. Очищенную воду, выход которой через общий трубопровод подачи очищенной продувочной воды 27 и трубопроводы подачи очищенной продувочной воды 28, 29, 30 и 31 каждого парогенератора 1 соответственно в качестве добавочной воды подают в трубопроводы подачи питательной воды 6, 7, 8, и 9 соответствующего парогенератора, а затем по трубопроводам подачи питательной воды 6, 7, 8 и 9 в первый, второй, третий и четвертый парогенераторы 1 соответственно подают питательную воду.

Дренаж осуществляют следующим образом: на остановленном парогенераторе 1 рабочую среду парогенератора 1 отводят по трубопроводам продувки 11 из нижней образующей корпуса и трубопроводам 12 из карманов коллекторов 2 и 3, по единому коллектору продувки 13 и общему коллектору 17 продувок парогенераторов, проводят транзитом через регенеративный теплообменник 18 и по отводящему трубопроводу 19 регенеративного теплообменника 18 подают в доохладитель продувки и дренажей 20,

где она охлаждается и через отводящий трубопровод доохлажденной продувочной воды 21 поступает в отводящий трубопровод дренирования 32 всех четырех парогенераторов, затем в бак слива воды из парогенераторов 33, откуда автоматическим насосом 34 по трубопроводу сброса воды парогенераторов 35 откачивается и направляется на переработку или последующую утилизацию.

Насос продувочной воды парогенераторов 25 предназначен для возврата очищенной продувочной воды после спецводоочистки 23 в парогенераторы 1 через систему трубопроводов подачи питательной воды 6, 7, 8, и 9, при этом может быть предусмотрено наличие резервного и ремонтного насосов.

Регенеративный теплообменник продувки 18 предназначен для первоначального охлаждения продувочной воды, поступающей на спецводоочистку 23, и последующего нагрева очищенной продувочной воды после спецводоочистки 23 в различных режимах эксплуатации энергоблока - при пуске, при работе на мощности и при расхолаживании.

Доохладитель продувки и дренажей 20 предназначен для доохлаждения продувочной воды парогенераторов, поступающей на спецводоочистку 23 при работе энергоблока на мощности, при расхолаживании и пуске. На остановленном энергоблоке доохладитель продувки и дренажей 20 предназначен для охлаждения дренируемых из парогенераторов доуд.

В предложенном техническом решении система продувки и дренажа паропроизводящей установки реализована по замкнутому контуру, позволяет использовать продувочную воду в качестве добавочной к питательной воде парогенераторов, сохраняя высокое давление продувочной воды во всем цикле очистки продувочной воды, снижая тем самым энергетические потери на возврат продувочной воды во второй контур. За счет увеличения расхода продувки парогенераторов до 140 т/час время нормализации ВХР второго контура снижается, а улучшенный ВХР второго контура позволяет увеличить срок службы парогенераторов, а соответственно и всей паропроизводящей установки в целом, а сокращение количества проходок через контеймент различных технологических линий повышает степень ее герметизации, при этом отсутствие технологических связей с машинным залом делает паропроизводящую установку автономной.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Паропроизводящая установка двухконтурного ядерного реактора с системой продувки и дренажа, характеризующаяся тем, что содержит четыре заключенных в защитный герметичный объем идентичных парогенератора с горизонтальным корпусом с нижней образующей корпуса, горячим и холодным коллекторами первого контура с карманами и солевым отсеком, каждый парогенератор соединен с коллектором пара, трубопроводом подачи питательной воды, трубопроводами продувки из солевого отсека, из нижней образующей корпуса и карманов коллекторов первого контура, при этом все трубопроводы продувки каждого парогенератора объединены в единый коллектор продувки парогенератора с последующим объединением в общий коллектор продувки парогенераторов, который соединен со входом регенеративного теплообменника, отводящий трубопровод которого соединен с доохладителем продувки и охлаждения дренажей с отводящим трубопроводом доохлажденной продувочной воды, выведенным из защитного герметичного объема и соединенным с системой спецводоочистки с отводящим трубопроводом очищенной продувочной воды парогенераторов и установленным на нем по меньшей мере одним насосом очищенной продувочной воды, напорная линия которого введена в защитный герметичный объем и соединена со входом в межтрубное пространство регенеративного теплообменника, выход которого через общий трубопровод подачи очищенной продувочной воды и трубопроводы подачи очищенной продувочной воды каждого парогенератора соединен с трубопроводами подачи питательной воды соответствующего парогенератора.

2. Установка по п.1, отличающаяся тем, что трубопровод доохлажденной продувочной воды после вывода из защитного герметичного объема снабжен отводящим трубопроводом дренирования парогенераторов, соединенным с баком слива воды.

3. Установка по п.1, отличающаяся тем, что на отводящем трубопроводе очищенной продувочной воды парогенераторов установлены три насоса - рабочий, резервный и ремонтный.

