

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 622 408** ⁽¹¹⁾ ⁽¹³⁾ **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G21D 7/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 27.09.2018)

(21)(22) Заявка: [2016119862](#), 23.05.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.05.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.05.2016

(45) Опубликовано: [15.06.2017](#) Бюл. № 17(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 152416 U1, 27.05.2015. RU 111336
U1, 10.12.2011. RU 109898 U1, 27.10.2011. US
20140321596 A1, 30.10.2014.

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
УрФУ, Центр интеллектуальной
собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

**Ошканов Николай Николаевич (RU),
Щеклеин Сергей Евгеньевич (RU),
Попов Александр Ильич (RU)**

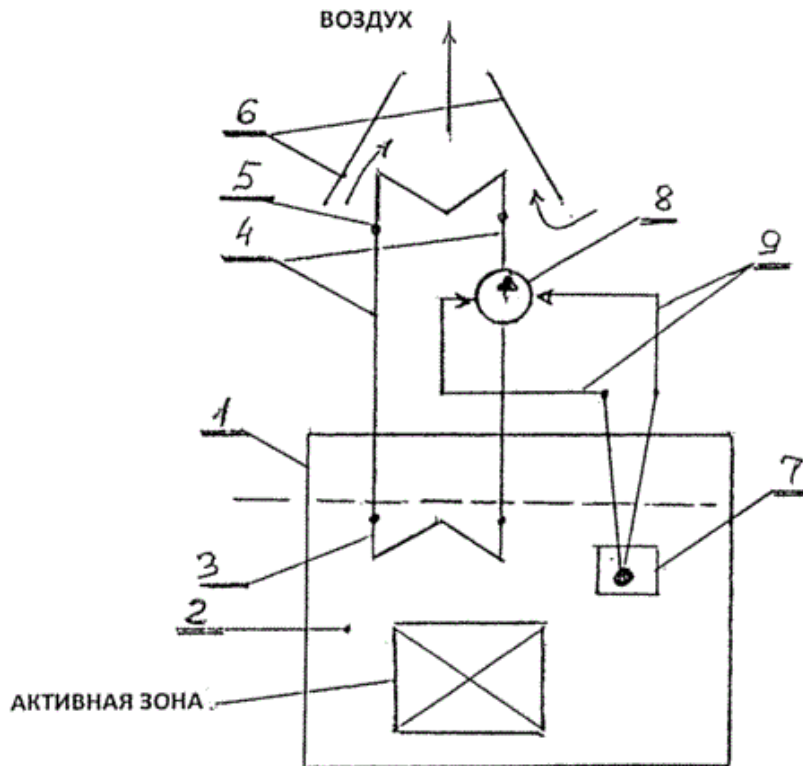
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU)**

(54) СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ОТВОДА ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к системе аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах. Заявленная система содержит контур воздушного теплообменника, внутренний нижний теплообменник которого расположен непосредственно в активной зоне реактора, а наружный внешний теплообменник - в воздушном вытяжном канале за пределами гермооболочки. При этом теплообменники и трубопроводы, их соединяющие, заполнены жидким натрием, а в разрыв одного из трубопроводов внешнего теплообменника включен магнитогидродинамический насос, подсоединенный к дополнительно установленному в активной зоне реактора термопреобразователю. Внешний приемник избыточной тепловой энергии, в котором установлен наружный теплообменник, может быть выполнен из вентилируемого канала, соединенного с вытяжной трубой станции, или в виде дополнительного теплообменника, подключенного к трубопроводу наружного теплообменника. Техническим результатом является повышение надежности за счет обеспечения непрерывного режима работы по отводу энерговыделений из активной зоны реактора независимо от состояния и работы существующей активной системы отвода избыточной тепловой энергии от реактора, а также при полных отключениях основного и резервного источников электроэнергии



Известна «Система пассивного отвода остаточных тепловыделений ядерного реактора» [1], авторы Беркович В.М., Татарников В.П. и др.

Система содержит ядерный реактор, контур циркуляции теплоносителя, воздухоохлаждаемый теплообменник, расположенный в вытяжной трубе, и сепараторы-теплообменники для разных петель контура циркуляции, соединенные через эжектор.

Данная система предназначена для использования на атомных электростанциях с водородными реакторами, а также в устройствах аварийного расхолаживания ядерных реакторов бассейнового типа. Теплоносителем в системе является вода. Все вышеперечисленное оборудование системы, кроме теплообменника в вытяжной трубе находится внутри защитной оболочки (гермооболочки). Данная система непригодна для ядерных реакторов на быстрых нейтронах, в которых жидкометаллическим рабочим телом является натрий, активно взаимодействующий с водой и с образованием при этом газообразного водорода. Заменить натрий водой в системе пассивного отвода теплоты по этой схеме не представляется возможным.

Известна также «Система ограничения последствий аварии на атомной электростанции» [2], автор Муравьев В.П.

Система содержит внутри реакторного помещения спринклерную установку, соединенную напорным трубопроводом с размещенными вне реакторного помещения насосом спринклерной воды, соединенным всасывающим трубопроводом с приемком сбора воды реактора через теплообменник, включенный во вне реакторный замкнутый контур охлаждения, содержащий насос. Кроме того, система снабжена замкнутым контуром низкокипящей жидкости, содержащим турбину, конденсатор-насос, обратный клапан и теплообменник испаритель в приемке реактора.

Данная система весьма сложна в реализации из-за наличия дополнительного контура низкокипящей жидкости. Кроме того, она неработоспособна при одновременном отключении основного и резервного источников энергии в чрезвычайных обстоятельствах, так как будет обесточен насос контура охлаждения.

Известно также «Устройство для отвода избыточной тепловой энергии из внутреннего объема защитной оболочки атомной электростанции», авторы Мустафин М.Р., Бумагин В.Д. и др. [3].

Данное изобретение может быть использовано при аварийной ситуации при полном отключении активных источников электроэнергии и позволяет пассивно отводить избыточную тепловую энергию в атмосферу из внутреннего объема защитной оболочки (гермооболочки).

Устройство содержит соединенные трубопроводами теплообменники с легкокипящим теплоносителем, причем нижний теплообменник расположен в

емкости для воды внутри защитной оболочки, а верхний - на наружной поверхности стенки купола защитной оболочки.

Включение в работу пассивной системы легкокипящего теплоносителя обеспечивается сильфонным сервоприводом.

Недостаток данной системы в том, что она не может быть использована на АЭС в реакторах на быстрых нейтронах, использующих в качестве рабочего тела жидкие металлы, например натрий, вступающий во взрывную реакцию с водой и хладоном типа С, использующихся в данном патенте.

Недостатком является также ждущий режим работы данной пассивной части системы и начало ее работы только в случае прекращения работы активной части из-за отключения основного и резервного электропитания насосов. Надежность включения ждущего режима системы должна обеспечиваться сильфонами, имеющими высокую интенсивность отказов.

Задачей настоящего изобретения является создание высоконадежной автономной системы аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах АЭС с жидкометаллическим рабочим телом, например натрием в реакторе.

Наиболее близким аналогом (прототипом) предлагаемого изобретения является «Схема аварийного теплоотвода быстрых реакторов (БР)», рис. 36, с. 88 из книги Н.Н. Ошканова [4] (см. приложение к данной заявке).

Данное устройство содержит воздушный теплообменник (ВТО) с натриевым теплоносителем, состоящий из автономного нижнего контура ВТО, расположенного в теплоносителе активной зоны реактора, и внешнего теплообменника, установленного в воздушном вытяжном канале (вытяжной трубе). Перемещение расплава жидкого натрия между внутренним и внешним теплообменниками осуществляется конвекцией по трубопроводам за счет естественной циркуляции.

Нагретый натрий во внутреннем нижнем теплообменнике контура ВТО за счет естественной циркуляции поднимается вверх и отдает теплоту в наружном теплообменнике воздуху в вытяжной трубе, а охлажденный натрий возвращается в нижний теплообменник.

Однако недостатком данного устройства является относительно невысокое количество тепловой энергии, которое передается конвекцией из активной зоны реактора во внешний теплообменник и далее в вытяжную трубу за счет естественной циркуляции теплоносителя.

Технический результат предлагаемого изобретения заключается в повышении надежности аварийного отвода тепла за счет включения в трубопровод верхнего воздушного теплообменника магнитогидродинамического (МГД) насоса, размещения в активной зоне реактора термопреобразователя и подключения его к МГД-насосу, что обеспечивает непрерывный автономный режим работы как системы пассивной безопасности АЭС, так и аварийный отвод энерговыделений реактора независимо от состояния и работы существующей активной системы отвода избыточной тепловой энергии за пределы гермооболочки.

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет максимально повысить безопасность эксплуатации АЭС на жидкометаллическом рабочем теле.

В результате информационного поиска по источникам патентной и научно-технической информации совокупность признаков, характеризующая описываемую «Систему аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах», нами не обнаружена.

Предложенное техническое решение может найти применение в качестве дополнительной системы автономной пассивной безопасности на существующих и вновь проектируемых АЭС с жидкометаллическим рабочим телом в реакторе.

Существующие активные системы безопасности АЭС в данном описании не рассматриваются.

На чертеже условно изображены элементы предлагаемой системы безопасности АЭС: корпус 1 реактора, в котором находится теплоноситель 2 - расплав жидкометаллического рабочего тела активной зоны реактора, например натрия, и комплект тепловыделяющих сборок, нижний теплообменник 3 контура воздушного охлаждения реактора, связанный трубопроводами 4 с внешним теплообменником 5 этого же контура, размещенного в воздушном вытяжном канале 6 вытяжной трубы. Радиаторы теплообменника и трубопроводы, их соединяющие, заполнены расплавом натрия.

В активной зоне реактора размещен термопреобразователь 7, а в разрыв трубопровода внешнего теплообменника включен магнитогидродинамический насос 8 (МГД-насос), провода 9 от которого подключены к термопреобразователю 7. В данной системе целесообразно также использовать дополнительный теплообменник, подключенный к трубопроводу внешнего теплообменника, расположенного за

гермооболочкой и вне зоны трубы (не показано на чертеже). Это повысит надежность системы при обрушении трубы в случае чрезвычайных обстоятельств.

Система аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах работает следующим образом.

Для охлаждения реактора на подобных станциях невозможно использовать водяные теплообменники термосифонного и других типов, поскольку при наличии дефекта в теплообменнике и протечек воды может произойти взрывная реакция расплава натрия с водой.

Наибольшее распространение получили АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, в которых в качестве жидкометаллического рабочего тела и в реакторах, и в теплообменниках используется расплав натрия.

Пассивное охлаждение в таких реакторах осуществляется воздушными теплообменниками, внутренние нижние теплообменники 3 которых расположены непосредственно в активной зоне реактора 1, а их соединенные трубопроводами 4 наружные внешние теплообменники 5 размещены в воздушном вытяжном канале 6 вытяжной трубы.

В рабочем режиме станции за счет наличия высокой вытяжной трубы, в ней присутствует значительная тяга воздуха, создающая его интенсивное движение и активно охлаждающая внешний теплообменник 5. За счет естественной конвекции горячее рабочее тело - жидкий натрий - из нижнего теплообменника 3 перемещается по трубопроводам 4 вверх, а охлажденный натрий из внешнего теплообменника 5 - вниз, циркулируя по замкнутому контуру.

В таком рабочем режиме пассивное охлаждение реактора за счет конвекции натрия работает дополнительно к активной системе безопасности АЭС, функционирующей от различных внешних источников энергоснабжения.

Однако в случае чрезвычайных обстоятельств (землетрясение, военные действия, террористический акт и др.) может произойти отключение всех внешних источников электрической энергии, обеспечивающих работу активной системы безопасности, и мощности для охлаждения реактора только за счет пассивного охлаждения воздушным теплообменником с естественной конвекцией оказывается недостаточно.

Для усиления конвекции и активной циркуляции расплава натрия в воздушном теплообменнике предлагается в разрыв одного из трубопроводов 4 включить МГД-насос 8, запитанный по проводам 9 от вновь введенного термопреобразователя 7, размещенного в активной зоне реактора 1.

Электрическая энергия, вырабатываемая термопреобразователем 7, обеспечивает работу МГД-насоса 8, гарантирующего усиленную циркуляцию жидкого натрия между нижним и верхним радиаторами воздушного теплообменника.

Кроме того, при повышении температуры внутри активной зоны реактора, увеличивается также ЭДС термопреобразователя и соответственно увеличивается производительность МГД-насоса, интенсифицирующего процесс охлаждения расплава натрия.

Таким образом, в определенном диапазоне обеспечивается стабилизация температуры реактора в автоматическом режиме и при этом не используются внешние энергоисточники.

На вновь проектируемых объектах внешний теплообменник 5 системы аварийного охлаждения реактора целесообразно размещать не только в вытяжном канале трубы, но и в виде дополнительного теплообменника за гермооболочкой вне трубы АЭС. Это позволит исключить аварию вытяжного канала, связанную с обрушением трубы, вызванными чрезвычайными обстоятельствами.

Предлагаемая автономная система, улучшающая и дополняющая пассивную безопасность атомной станции на быстрых нейтронах, позволяет обеспечить непрерывный отвод энерговыделений от активной зоны реактора независимо от условий работы существующей системы активной безопасности АЭС, что значительно повышает безопасность эксплуатации подобных станций.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Беркович В.М., Татарников В.П. и др. Система пассивного отвода остаточных тепловыделений ядерного реактора. Патент РФ №2002321. МПК G21C 15/18 (аналог).

2. Муравьев В.П. Система ограничения последствий аварии на атомной электростанции. Патент РФ №2030801. МПК G21C 13/10 (аналог).

3. Мустафин М.Р., Бумагин В.Д. и др. Устройство для отвода избыточной тепловой энергии из внутреннего объема защитной оболочки атомной электростанции. Патент РФ №2504031. МПК G21C 15/00 (аналог).

4. Ошканов Н.Н. Физические и технологические особенности ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Екатеринбург, УрФУ, 2011 г., рис. 36, с. 88 (прототип).

5. Патент США 6069930 А1, 30.05.2000 (аналог).

6. Европейский патент 2096644 В1. 12.09.2012 (аналог).
7. Колыхан Л.И., Наганов А.В. Система пассивной безопасности атомной станции. Авторское свидетельство СССР №1829697. МПК G21C 9/00 (аналог).
8. Беркович В.М., Молчанов И.В. и др. Энергетическая установка. Авторское свидетельство СССР №1681032. МПК F01K 13/12 (аналог).
9. Патент ФРГ №3129289, МПК G21C 15/18, 1982 (аналог).
10. Патент Франции №2550371 А2, 08.02.1985 (аналог).
11. Андреев В.И., Зверев С.А., Упырев В.Н. Система аварийного расхолаживания исследовательского ядерного реактора. Авторское свидетельство СССР №1503047. МПК G21C 15/18 (аналог).
12. Заявка Японии №2001188094 А. 10.07.2001 (аналог).
13. Бумагин В.Д., Широков-Брюхов Е.Ф. и др. Устройство для воздушного охлаждения системы пассивного отвода тепла из защитной оболочки атомной электростанции. Патент РФ №2450375. МПК G21C 9/00 (аналог).

Формула изобретения

1. Система аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах, состоящая из автономного контура воздушного охлаждения с собственным жидкометаллическим теплоносителем, в который включены соединенные трубопроводами нижний теплообменник, установленный в теплоноситель активной зоны реактора, и внешний теплообменник, размещенный в воздушном вытяжном канале, отличающаяся тем, что в трубопровод внешнего теплообменника включен МГД-насос, а в активную зону реактора введен термопреобразователь, причем последний соединен с МГД-насосом.
2. Система аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах по п. 1, отличающаяся тем, что введен вне зоны гермооболочки реактора дополнительный теплообменник, подключенный к трубопроводу внешнего теплообменника системы.

СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ОТВОДА ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

