



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G21D 7/04 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017144972, 20.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.12.2017

Дата регистрации:  
21.03.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.12.2017

(45) Опубликовано: 21.03.2019 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Щеклеин Сергей Евгеньевич (RU),  
Попов Александр Ильич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2165656 C1, 20.04.2001. RU  
2622408 C1, 15.06.2017. WO 2017152393 A1,  
14.09.2017. JP 2223391 A, 05.09.1990. KR  
1777179 B1, 11.09.2017.

## (54) СИСТЕМА РЕГУЛИРУЕМОГО АВАРИЙНОГО ОТВОДА ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА АЭС

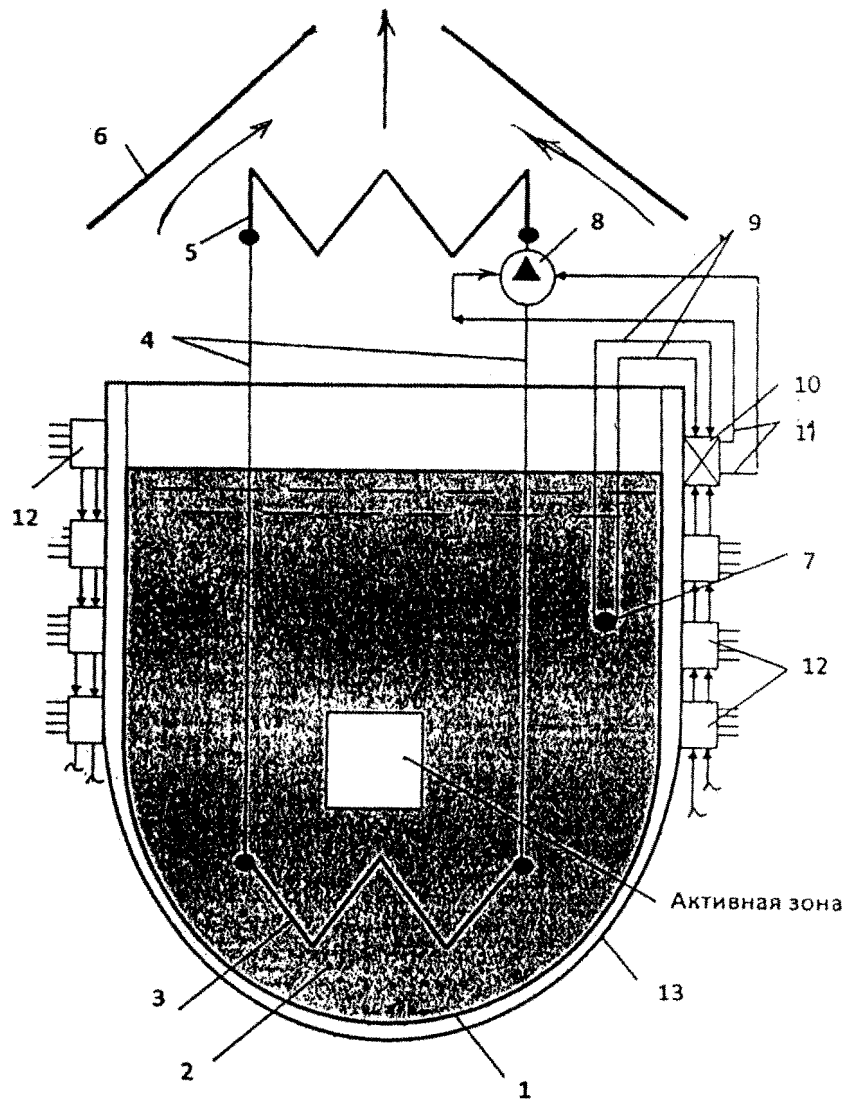
(57) Реферат:

Изобретение относится к атомной энергетике, а именно к системам аварийного отвода энерговыделений активной зоны ядерного реактора с жидкометаллическим теплоносителем. Система регулируемого аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора АЭС содержит автономный контур воздушного охлаждения с собственным электропроводным жидкометаллическим теплоносителем, в который включены соединенные трубопроводами нижний теплообменник, установленный в теплоноситель активной зоны реактора, и внешний теплообменник, размещенный в воздушном вытяжном канале. В трубопровод внешнего

теплообменника включен МГД-насос, а в активную зону реактора введен термопреобразователь. При этом дополнительно введены и установлены на внешней стороне страховочного корпуса реактора батарея термоэлектрических модулей и регулятор мощности МГД-насоса, причем термопреобразователь активной зоны соединен с входом регулятора мощности, а выход последнего включен между насосом и батареей термоэлектрических модулей. Технический результат – повышение надежности аварийного отвода тепла. 1 ил.

RU 2 682 722 C1

RU 2 682 722 C1





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G21D 7/04* (2006.01)

(21)(22) Application: **2017144972, 20.12.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**20.12.2017**

Registration date:  
**21.03.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **20.12.2017**

(45) Date of publication: **21.03.2019** Bull. № 9

Mail address:

**620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, Tsentr  
intellektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.**

(72) Inventor(s):

**Shcheklein Sergej Evgenevich (RU),  
Popov Aleksandr Ilich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Uralskij federalnyj universitet  
imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina"  
(RU)**

(54) **NPP REACTOR CORE ENERGY RELEASES CONTROLLED EMERGENCY REMOVAL SYSTEM**

(57) Abstract:

FIELD: nuclear power engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the nuclear energy, in particular, to the nuclear reactor with a liquid metal coolant core energy releases emergency removal systems. NPP reactor core energy releases controlled emergency removal system contains the autonomous air cooling circuit with its own electrically conductive liquid metal coolant, which includes connected by the pipelines installed into the reactor core coolant lower heat exchanger, and placed in the air exhaust channel the external heat exchanger. In the external heat exchanger pipeline a MHD pump is included, and into

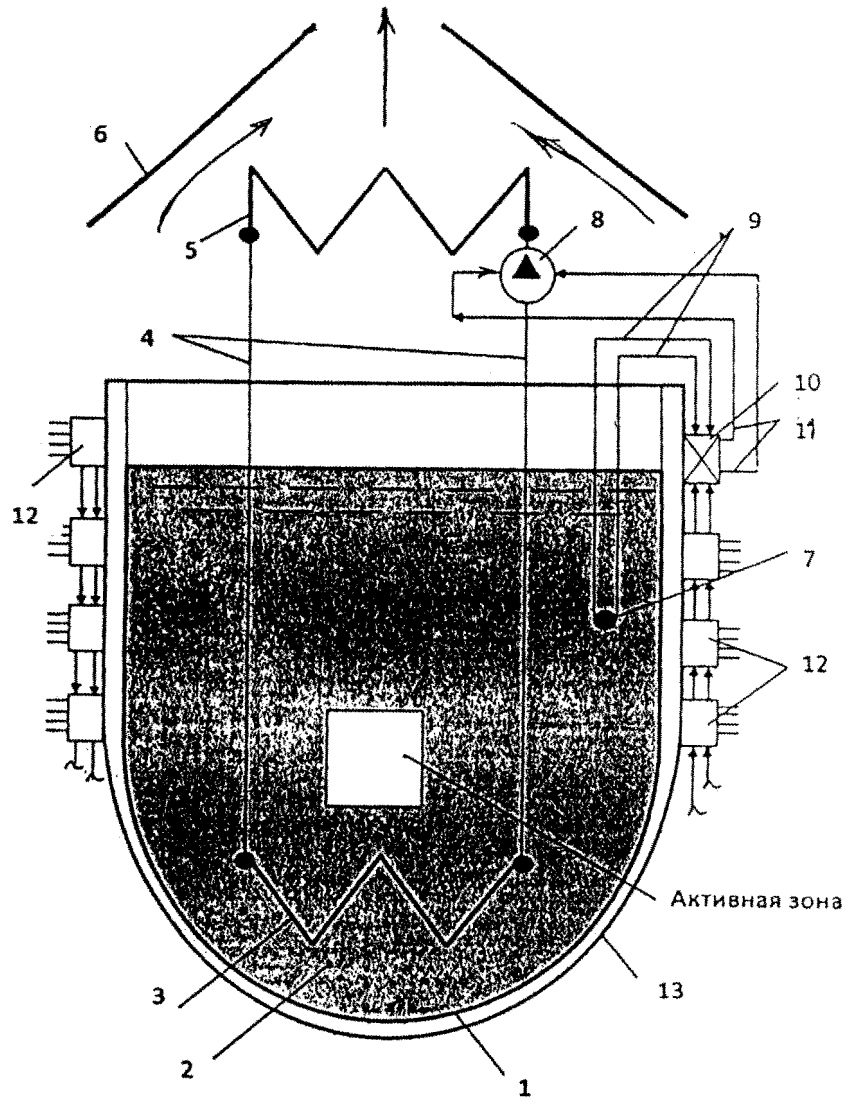
the reactor core a thermal converter is introduced. At that, the thermoelectric modules battery and the MHD pump power regulator are additionally introduced and installed on the reactor safety containment building outer side, wherein the core thermal converter is connected to the power regulator input, and the latter output is connected between the pump and the thermoelectric modules battery.

EFFECT: technical result is increase in the emergency heat removal reliability.

1 cl, 1 dwg

RU 2 682 722 C1

RU 2 682 722 C1



Известна «Система ограничения последствий аварии на атомной электростанции» [1] автора Муравьева 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» авторов Мустафина М.Р., Бумагина В.Д. и др.[2].

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. Известна «Схема аварийного теплоотвода быстрых реакторов (БР)», рис. 36, с. 88 из книги Н.Н. Ошканова [3].

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.

Наиболее близким аналогом (прототипом) предполагаемого изобретения является «Система аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах» [4].

Данная система содержит автономный контур воздушного охлаждения с собственным жидкометаллическим теплоносителем, состоящий из нижнего теплообменника, установленного в активной зоне реактора и внешнего теплообменника, размещенного в воздушном вытяжном канале, причем теплообменники соединены трубопроводами, а в трубопровод внешнего теплообменника включен насос магнетогидродинамического типа, подключенный к термопреобразователю, размещенному в активной зоне реактора.

Достоинством данного технического решения является быстрое отслеживание резкого повышения температуры в случае запредельной реакции, возникшей в основном (внутреннем) корпусе реактора, и выработка термопреобразователем электрической энергии, поступающей на насос магнетогидродинамического типа (МГД-насос).

Однако недостатком данной системы, ее «узким» местом, является сложность получения большой мощности для работы насоса. Отечественная промышленность не выпускает подобные термопреобразователи.

Кроме того, возникают технические проблемы, связанные с герметизацией корпусов термопреобразователей, размещенных в кипящем натрии активной зоны с высокой радиоактивностью, а также проблемы с электрической коммутацией большого числа подобных преобразователей.

Задачей настоящего изобретения является создание высоконадежной автономной системы регулируемого аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактор АЭС с электропроводным рабочим телом в теплообменниках.

Технический результат предлагаемого изобретения заключается в повышении надежности аварийного отвода тепла за счет установки на внешней стороне страховочного корпуса реактора батареи термоэлектрических модулей и регулятора мощности МГД-насоса, причем термопреобразователь, расположенный в активной зоне, соединен со входом регулятора мощности, а выход последнего включен между насосом и батареей термоэлектрических модулей. Это позволяет разместить батарею модулей на внешней стороне страховочного корпуса при его постоянной температуре около несколько сот градусов Цельсия и существующим обдувом воздухом от вытяжного канала охлаждающих поверхностей термоэлектрических модулей. На поверхности страховочного корпуса возможно разместить, практически, неограниченное число термоэлектрических модулей, объединенных в батарею необходимой мощности, а сигнал от маломощного термопреобразователя использовать только в качестве сигнального для управления регулятором мощности. Это позволяет увеличить безопасность АЭС, так как аварийный отвод энерговыделений реактора будет производиться с регулированием 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.

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

Предложенное техническое решение может найти применение в качестве

дополнительной системы автономной пассивной безопасности на существующих и вновь проектируемых АЭС с электропроводным, например, жидкометаллическим рабочим телом в теплообменниках реактора.

5 Существующие активные системы безопасности АЭС в данном описании не рассматривается.

На чертеже условно изображены элементы предлагаемой системы безопасности АЭС: основной (внутренний) корпус 1 реактора, в котором находится теплоноситель 2 - расплав электропроводного рабочего тела в теплообменниках и в активной зоне реактора, например, натрия и комплект тепловыделяющих сборок (не показаны на 10 чертеже), 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, например, расплавом натрия.

15 В активной зоне реактора размещен термопреобразователь 7 (например, термопары), а в разрыв трубопровода внешнего теплообменника включен магнетогидродинамический насос 8 (МГД-насос), провода 9 от термопреобразователя подключены к входу регулятора 10 мощности МГД-насоса, а выход регулятора включен с помощью проводов 11 между насосом и батареей 12 термоэлектрических модулей, 20 размещенных на внешней стороне страховочного корпуса 13, который отделен от основного (внутреннего) корпуса 1 газовым промежутком. Батареи термоэлектрических модулей могут так же размещаться на трубопроводе 4 внешнего теплообменника 5, однако они имеют меньшую располагаемую поверхность для размещения модулей по сравнению с внешней стороной страховочного корпуса 13 реактора.

25 «Система регулируемого аварийного отвода энергоснаблений активной зоны реактора АЭС» 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 рабочего 30 тела с водой.

В АЭС с реакторами на быстрых нейтронах в качестве жидкометаллического рабочего тела в реакторах и в теплообменниках используется расплав натрия, а на других АЭС могут быть использованы в теплообменниках электропроводные теплоносители других типов.

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

40 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, например, жидкий натрий из нижнего теплообменника 3 перемещается по трубопроводам 4 вверх, а охлажденный натрий из внешнего теплообменника 5 вниз, 45 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 по патенту №2622408 ближайшего аналога (прототипа) предлагалось [4] в разрыв одного из трубопроводов 4 включить МГД-насос 8, запитанный по проводам от вновь введенного термопреобразователя 7, размещенного в активной зоне основного корпуса 1 реактора.

Электрическая энергия, вырабатываемая термопреобразователем 7, должна поступать в МГД-насос 8, для усиления циркуляции жидкого натрия между нижним и верхним радиаторами воздушного теплообменника.

Однако, подобные термопреобразователи, работающие в среде кипящего натрия и в зоне высокой радиации, отечественная промышленность не выпускает. В этой связи предложено разместить на наружной стороне внешнего страховочного корпуса 13 реактора, имеющего развитую поверхность, необходимое число термоэлектрических модулей, например, типа, Марс-65, с рабочими условиями: температура горячей стороны до 580 градусов Цельсия, температура холодной стороны 70 градусов Цельсия [14]. На поверхности корпуса 13 размещается также регулятор 10 мощности, который может быть выполнен в полупроводниковом варианте усилителя с линейной характеристикой, либо на электромагнитных реле (герконах), последовательное переключение которых от сигналов по проводам 9 с термопреобразователя 7, увеличивает электрическую мощность, подаваемую по проводам 11 на МГД-насос 8. Таким образом, насос, не имеющий ограничений по мощности, будет отводить избыточную тепловую энергию из корпуса 1 реактора, в том числе и в запроектом режиме, по заранее рассчитанному регулируемому режиму и, при этом, не использовать внешние источники энергии.

Учитывая, что в данном варианте при наличии резерва электрической мощности от батареи 12 термоэлектрических модулей может быть установлен более мощный МГД-насос 8, поэтому на вновь проектируемых подобных объектах внешний теплообменник 5 системы аварийного охлаждения реактора целесообразно размещать не только в вытяжном канале трубы, но и в виде дополнительных теплообменников 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, позволяет обеспечить непрерывный регулируемый 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. Муравьев В.П. Система ограничения последствий аварии на атомной электростанции. Патент РФ №2030801. МПК G21C 13/10 (аналог).
2. 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).
3. Ошканов Н.Н. Физические и технологические особенности ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Екатеринбург, УрФУ, 2011 г., рис. 36, с. 88(аналог).
4. Ошканов Н.Н., Щеклеин С.Е., Попов А.И. Система аварийного отвода



энерговыделений активной зоны реактора на быстрых нейтронах. Патент №2622408, МПК G21D 7/00 (прототип).

5. Патент США 6069930 A1,30.05.2000 (аналог).

6. Европейский патент 2096644 B1. 12.09.2012 (аналог).

5 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 10. Патент Франции №2550371 A2,08.02.1985 (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 A. 10.07.2001 (аналог).

15 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).

14. Термоэлектрические генераторы и системы охлаждения [электронный ресурс]. <http://ecogentech.ru>; [info@ecogentech.ru](mailto:info@ecogentech.ru).

20

#### (57) Формула изобретения

Система регулируемого аварийного отвода энерговыделений активной зоны реактора АЭС, состоящая из автономного контура воздушного охлаждения с собственным электропроводным, например жидкометаллическим, теплоносителем, в который  
25 включены соединенные трубопроводами нижний теплообменник, установленный в теплоноситель активной зоны реактора, и внешний теплообменник, размещенный в воздушном вытяжном канале, в трубопровод внешнего теплообменника включен МГД-насос, а в активную зону реактора введен термопреобразователь, отличающаяся тем, что дополнительно введены и установлены на внешней стороне страховочного корпуса  
30 реактора батарея термоэлектрических модулей и регулятор мощности МГД-насоса, причем термопреобразователь активной зоны соединен с входом регулятора мощности, а выход последнего включен между насосом и батареей термоэлектрических модулей.

35

40

45

СИСТЕМА РЕГУЛИРУЕМОГО ОТВОДА ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЙ  
 АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА АЭС

