

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046615**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.03.29

(51) Int. Cl. **G21C 15/18 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202193303

(22) Дата подачи заявки
2020.04.30

(54) **СИСТЕМА УДЕРЖАНИЯ РАСПЛАВА В КОРПУСЕ РЕАКТОРА**

(31) **2019145006**

(56) RU-C1-2649417
RU-C1-2187852
CN-A-108550406

(32) **2019.12.30**

(33) **RU**

(43) **2023.06.06**

(86) **PCT/RU2020/000208**

(87) **WO 2021/137718 2021.07.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ";
ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ "НАУКА
И ИННОВАЦИИ" (ЧАСТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ "НАУКА И
ИННОВАЦИИ") (RU)**

(72) Изобретатель:

**Безлепки Владимир Викторович,
Митрюхин Андрей Геннадьевич,
Курчевский Алексей Иванович,
Сидоров Валерий Григорьевич (RU)**

(74) Представитель:

Снегов К.Г. (RU)

(57) Изобретение относится к области ядерной энергетики и предназначено для повышения безопасности атомных электростанций за счёт обеспечения возможности удержания расплава в корпусе ядерного реактора при различной тяжести аварии как в пассивном, так и в активном режимах. Система внутрикорпусного удержания расплава, содержащая реактор, расположенный в шахте, насос циркуляции охлаждающей жидкости снаружи корпуса реактора и накопительный бак, отличается тем, что накопительный бак расположен в шахте под днищем корпуса реактора, выше днища корпуса реактора дополнительно расположены баки-приямки с возможностью сбора охлаждающей жидкости в случае аварии с потерей теплоносителя, накопительный бак соединён с верхней частью баков-приямков каналами поступления охлаждающей жидкости. Система удержания расплава в корпусе реактора может быть применена в атомных электростанциях различного типа и позволяет повысить их безопасность за счёт обеспечения удержания расплава в корпусе реактора при различных типах аварий.

046615 B1

046615 B1

Область техники

Изобретение относится к области ядерной энергетики и устройств обеспечения безопасности атомных электростанций (АЭС) при тяжёлых авариях. Изобретение предназначено для использования на АЭС различного типа.

Предшествующий уровень техники

Важнейшей проблемой атомной энергетики является обеспечение безопасности АЭС при тяжёлых авариях с расплавлением активной зоны реактора. Целью современных систем безопасности на АЭС является недопущение проплавления корпуса реактора так называемым кориумом - смеси ядерного топлива с бетоном, металлическими частями и прочими результатами аварии. В случае аварии с потерей теплоносителя, охлаждающего ядерную установку, для этого применяются многочисленные системы безопасности, использующие насосы и ёмкости с заготовленным раствором борной кислоты для её подачи на корпус реактора и специальные баки-приямки, собирающие теплоноситель, стекающий из повреждённых трубопроводов, также для подачи на корпус реактора. В случае же тяжёлой аварии с потерей источников питания в современной практике широко применяются устройства локализации расплава (УЛР) - отдельные устройства, расположенные ниже днища реактора и заполненные специальным образом подготовленными материалами. Такие устройства локализуют и охлаждают кориум, однако являются весьма дорогими в производстве и строительстве, кроме того, ни одно из таких устройств пока ещё не было проверено на практике, поскольку на электростанциях, оснащённых УЛР, тяжёлых аварий пока не происходило. При этом системы, направленные на удержание расплава активной зоны реактора при тяжёлой аварии, могли бы даже в случае проплавления корпуса реактора отсрочить этот момент, частично охладить кориум и тем самым дать больше шансов для УЛР удержать кориум, а в случае надёжного обеспечения удержания расплава в корпусе реактора - дать возможность отказаться от дорогостоящего УЛР. Кроме того, применение такой системы удержания расплава в корпусе реактора в тех проектах, строящихся АЭС, в которых не предусмотрены УЛР, способно значительно повысить безопасность таких АЭС.

Как было сказано выше, в данной области техники применялись различные технические решения.

Известен ядерный реактор (патент РФ на изобретение № 2496163, опубл. 27.11.2011), содержащий бак, в котором расположена активная зона реактора, первичный контур для охлаждения реактора, колодец бака, в котором находится бак, кольцевой канал, окружающий нижнюю часть бака в колодце бака, средства, выполненные с возможностью заполнения колодца бака жидкостью, герметичный корпус реактора, в котором расположены колодец бака и бак, реактор содержит средства сбора пара, генерируемого в верхнем конце колодца бака, расположенные в герметичном корпусе и образующие объем, отделенный от объема герметичного корпуса, обеспечивая появление избыточного давления пара, средства, выполненные с возможностью создания принудительной конвекции жидкости в кольцевом канале, и средства для приведения в действие средств, выполненных с возможностью создания принудительной конвекции, при помощи указанного собранного пара.

Такой реактор позволяет повысить безопасность его работы в автономном режиме, без подвода внешней энергии. Его недостатком, однако, является недостаточная безопасность его применения в автономном режиме при тяжёлой аварии из-за использования сложных устройств преобразования тепловой энергии в механическую и дальнейшей передачи механической энергии.

Известна также система удержания расплава в корпусе реактора с теплопроводящей стеной шахты реактора для случая аварии (патент КНР на изобретение № 104036833, опубл. 10.09.2014), содержащая ядерный реактор, расположенный в шахте, расположенный выше шахты реактора бак с охлаждающей жидкостью, соединённый напорным трубопроводом с внешней стороной теплопроводящей стеной шахты реактора, при этом кольцеобразный водяной коридор соединён замкнутым трубопроводом с баком поддержания уровня воды. Такая система позволяет повысить безопасность АЭС за счёт охлаждения расплава в корпусе реактора, однако она не обеспечивает работы в пассивном режиме, так как требует открытия клапанов для начала работы системы.

Наиболее близким к заявленному изобретению является система отвода тепла от корпуса ядерного реактора (патент РФ № 2649417 на изобретение, опубл. 03.04.2018), содержащая связанный с источником охлаждающей воды по крайней мере один насос, предназначенный для принудительной прокачки охлаждающей воды снаружи корпуса, термоэлектрические преобразователи прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, установленные на внешней поверхности корпуса реактора, и по крайней мере один электродвигатель для привода насоса, запитанный от термоэлектрических преобразователей.

Такая система позволяет повысить эффективность теплообмена за счет принудительной циркуляции теплоносителя при обеспечении требования пассивности образа работы системы (т.е. без внешнего источника и управляющего воздействия). Его недостатком, однако, является недостаточная безопасность его применения в автономном режиме при тяжёлой аварии из-за использования сложных устройств преобразования тепловой энергии в электрическую и необходимостью использования электродвигателя для привода насоса.

Задачей настоящего изобретения является разработка системы удержания расплава в корпусе реак-

тора, позволяющей обеспечить возможности удержания расплава в корпусе ядерного реактора при различной тяжести аварии как в пассивном, так и в активном режимах.

Технический результат настоящего изобретения заключается в повышении безопасности АЭС за счёт обеспечения возможности удержания расплава в корпусе ядерного реактора при аварии различной тяжести как в пассивном, так и в активном режимах.

Технический результат достигается тем, что в известной системе внутрикорпусного удержания расплава, содержащей реактор, расположенный в шахте, насос циркуляции охлаждающей жидкости снаружи корпуса реактора и накопительный бак, накопительный бак расположен в шахте под днищем корпуса реактора, выше днища корпуса реактора дополнительно расположены баки-приямки с возможностью сбора охлаждающей жидкости в случае аварии с потерей теплоносителя, при этом накопительный бак соединён с верхней частью баков-приямков каналами поступления охлаждающей жидкости.

Предпочтительно снабдить шахту реактора дефлектором для выравнивания тепловых потоков.

Рационально выполнить дефлектор с оребрением. Рекомендуются снабдить накопительный бак фильтром.

Оптимально связать накопительный бак трубопроводами с внешними источниками охлаждающей жидкости.

Предпочтительно связать накопительный бак трубопроводом с системой конденсации пара, расположенной выше корпуса реактора, а шахту реактора - с системой конденсации пара каналами отвода пара.

Рационально ввести специальную накопительную ёмкость в трубопровод, связывающий систему конденсации пара и накопительный бак.

Преимущество настоящего изобретения заключается в повышении безопасности АЭС за счёт обеспечения возможности удержания расплава в корпусе ядерного реактора при аварии различной тяжести как в пассивном, так и в активном режимах. Расположение накопительного бака в шахте под днищем корпуса реактора, соединённого каналами поступления охлаждающей жидкости с верхней частью баков-приямков, расположенных выше днища корпуса реактора с возможностью сбора охлаждающей жидкости в случае аварии с потерей теплоносителя, обеспечивает возможность удержания расплава в корпусе ядерного реактора при аварии различной тяжести как в пассивном, так и в активном режимах за счёт возможности накопления охлаждающей жидкости в баках-приямках в ситуации, когда насосы системы САОЗ не функционируют, с последующей подачей её в накопительный бак для охлаждения реактора. Установка дефлектора в шахту реактора влияет на технический результат за счёт обеспечения выравнивания тепловых потоков при охлаждении реактора. Оребрение дефлектора увеличивает его площадь, что позволяет увеличить тепловой поток при охлаждении корпуса реактора. Введение в накопительный бак фильтра позволяет обеспечить очистку охлаждающей жидкости, что повышает возможности охлаждения корпуса реактора. Обеспечение связи накопительного бака трубопроводами с внешними источниками охлаждающей жидкости позволяет обеспечить более эффективное охлаждение корпуса реактора в активном режиме, т.е. при сохранении работоспособности насосов системы САОЗ. Обеспечение связи накопительного бака трубопроводом с системой конденсации пара, расположенной выше корпуса реактора, а шахты реактора - с системой конденсации пара каналами отвода пара позволяет обеспечить дополнительный контур движения охлаждающей жидкости с отдачей тепла через систему конденсации пара. Введение в трубопровод, связывающий систему конденсации пара и накопительный бак, специальной накопительной ёмкости позволяет обеспечить осаждение в ней борной кислоты, изначально содержащейся в охлаждающей жидкости (воде), что позволяет избежать её осаждения на поверхностях, формирующих канал охлаждения корпуса реактора, что в свою очередь снизило бы тепловой поток, охлаждающий корпус реактора.

Краткое описание фигур чертежей

Изобретение поясняется чертежами, где:

на фиг. 1 представлен общий вид контейнмента АЭС с системой удержания расплава в контуре реактора;

на фиг. 2 представлена схема системы удержания расплава в корпусе реактора в предпочтительном варианте;

на фиг. 3 представлен вид нижней части контейнмента АЭС с системой удержания расплава в корпусе реактора.

Система удержания расплава в корпусе реактора в предпочтительном варианте содержит реактор 1, расположенный в шахте, один или несколько насосов циркуляции охлаждающей жидкости (на фигурах не показаны) снаружи корпуса реактора, сбоку от которого на уровне его средней части расположены баки-приямки 2 системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), снизу от реактора 1 расположен накопительный бак 3, соединённый через фильтр 6 каналом поступления охлаждающей жидкости 7 с верхней частью баков-приямков 2. Накопительный бак 3 через трубопроводы 5 соединён также с внешними источниками воды, показанными в схеме на фиг. 2. Одним из таких источников является конденсирующие теплообменники 9, в трубопроводе 4, соединяющем их с накопительным баком 3, установлена специальная накопительная ёмкость 8. Вокруг корпуса реактора в шахте реактора с небольшим зазором

установлен дефлектор 5. В верхней части реактора выше дефлектора выполнены каналы отвода пара 10, соединённые с общими помещениями контейнента.

Предпочтительный вариант осуществления изобретения

Описание и прилагаемые чертежи представляют собой иллюстрации изобретения, которые не должны рассматриваться как ограничивающие его объем.

Различные конкретные детали описываются для того, чтобы содействовать всестороннему пониманию изобретения. Однако в некоторых случаях хорошо известные или традиционно используемые детали не описываются, чтобы не загромождать описание.

Если не указано иное, все технические и научные термины, используемые в настоящем описании, имеют значения, принятые среди специалистов в области техники, к которой относится настоящее изобретение.

При работе АЭС на мощности охлаждающая жидкость (вода с некоторым содержанием борной кислоты) содержится в специальных баках, таких как гидроёмкости системы САОЗ и гидроёмкости второй ступени, шахты ревизии, а также в баках-приямках 2, при этом уровень воды в баках-приямках находится на уровне ниже забора канала поступления охлаждающей жидкости 7 и поэтому не поступает в накопительный бак 3. Попадание воды на корпус реактора при его максимальной рабочей температуре недопустимо.

При запроектной аварии с потерей теплоносителя, не приводящей к прекращению работы системы САОЗ, жидкость забирается из баков-приямков 2 стандартными средствами этой системы и подаётся во внутренний объём реактора 1, так что она не доходит до уровня заборного отверстия канала поступления охлаждающей жидкости 7, несмотря на поступление теплоносителя через разрывы в трубопроводах с теплоносителем, и не попадает в накопительный бак 3. При этом циркуляционные насосы трубопроводов 4 подачи воды из внешних источников также не работают, так что уровень воды в накопительном баке 3 не может достигать корпуса реактора 1, что снижает количество циклов нагружения корпуса реактора 1, предохраняя его от излишних нагрузок.

При тяжёлой аварии, характеризуемой потерей источников энергии для насосов системы САОЗ, вода из баков-приямков перестаёт поступать внутрь реактора 1, из-за чего уровень воды в баках-приямках 2 с какого-то момента превышает уровень заборного отверстия канала поступления охлаждающей жидкости 7, вследствие чего она поступает в накопительный бак 3 и постепенно достигает уровня корпуса реактора 1, охлаждая его через дефлектор 5, что позволяет предотвратить проплавление корпуса реактора 1 за счёт удержания расплава активной зоны и внутрикорпусных устройств внутри корпуса реактора.

Кроме вышеописанного способа охлаждения реактора 1, основанного на пассивных принципах, возможно также введение системы в действие по команде оператора на основании анализа фактического состояния активной зоны. Это возможно в том случае, если соответствующие насосы сохраняют свою работоспособность.

В этом случае обеспечивается поступление воды для залива шахты реактора из максимального количества различных источников, имеющихся в наличии (в зависимости от сценария аварии) - из главного циркуляционного контура, из гидроёмкостей системы САОЗ и гидроёмкостей второй ступени, из шахт ревизии, от источников за пределами контейнента.

В обоих случаях образующаяся пароводяная смесь отводится через каналы отвода пара 10 в оборудовании шахты реактора в боксы парогенератора (ПГ) и далее в пространство под куполом контейнента, где пар конденсируется за счёт работы системы пассивного отвода тепла из защитной оболочки (СПОТ 30) и далее вода самотеком поступает в шахту реактора 1. При этом обеспечивается отвод тепла от гермооболочки контейнента к атмосферному воздуху в течение неограниченного времени.

В предпочтительном варианте трубопровод 4, соединяющий СПОТ 30 и накопительный бак 3 введена специальная накопительная ёмкость 8, предназначенная для сбора конденсата от теплообменников СПОТ 30 и дальнейшей подачи его в накопительный бак 3. Это позволяет снизить загрязнённость теплоносителя, поступающего в накопительный бак 3, и способствует решению проблемы накопления бора за счёт подачи конденсата с низким содержанием примесей. Это, в свою очередь, позволяет решить важную задачу ограничения осаждения борной кислоты, содержащейся в воде, на поверхностях, формирующих канал охлаждения корпуса реактора 1 и на поверхности корпуса реактора 1, поскольку налёт борной кислоты уменьшает тепловой поток, охлаждающий корпус реактора 1.

Элементы системы удержания расплава в корпусе реактора, а также связанные с ними системы могут быть оснащены контрольно-измерительными приборами, необходимыми для контроля и управления тяжелой запроектной аварией.

Возможно также применение в системе удержания расплава в корпусе реактора таких средств интенсификации теплообмена между корпусом реактора и охлаждающей водой, как оребрение дефлектора 5.

Применение системы удержания расплава в корпусе реактора в проектах энергоблока и реакторной установки не приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик (коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), коэффициент готовности, затраты времени и дозозатраты при техни-

ческом обслуживании и ремонте) и увеличению тепловых потерь от оборудования.

Система удержания расплава в корпусе реактора не препятствует работе вентиляционных каналов в бетоне шахты и проходу охлаждающего воздуха между теплоизоляцией корпуса и металлоконструкцией сухой защиты в режимах нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации, в аварийных режимах (проектная авария и запроектная авария без плавления активной зоны).

Как было показано выше, конструкция элементов системы удержания расплава в корпусе реактора исключает попадание воды на корпус реактора при всех режимах, кроме тяжёлой аварии, для снижения количества циклов нагружения корпуса.

Нижняя часть дефлектора 5 также выполняет функцию теплоизоляции корпуса реактора. Для обеспечения доступа персонала к днищу реактора 1 нижняя часть дефлектора 5 (с теплоизоляцией) может быть выполнена с возможностью спуска вниз.

Фильтр 6, обеспечивающий очистку теплоносителя от загрязнений, размещен в нижней части шахты реактора вокруг накопительного бака 3.

Возможно также использование стандартных фильтров САОЗ для обеспечения чистоты воды, подаваемой в систему удержания расплава в корпусе реактора.

Как показано на фиг. 2, трубопроводы 4 подачи воды из внешних источников в предпочтительном варианте включают:

трубопроводы подачи воды из баков-приямков 2 САОЗ. Канал подачи находится выше номинального уровня воды в баков-приямков 2. При этом подача воды в шахту реактора осуществляется только после аварий с потерей теплоносителя;

трубопроводы подачи воды из шахт ревизии внутрикорпусных устройств;

трубопроводы подачи воды из внешних источников.

Промышленная применимость

Система удержания расплава в корпусе реактора может быть применена в атомных электростанциях различного типа и позволяет повысить их безопасность за счёт обеспечения удержания расплава в корпусе реактора при различных типах аварий.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система внутрикорпусного удержания расплава, содержащая реактор, расположенный в шахте, насос циркуляции охлаждающей жидкости снаружи корпуса реактора и накопительный бак, отличающаяся тем, что накопительный бак расположен в шахте под днищем корпуса реактора, выше днища корпуса реактора дополнительно расположены баки-приямки с возможностью сбора охлаждающей жидкости в случае аварии с потерей теплоносителя, накопительный бак соединён с верхней частью баков-приямков каналом поступления охлаждающей жидкости.

2. Система по п.1, отличающаяся тем, что шахта реактора дополнительно содержит дефлектор для выравнивания тепловых потоков.

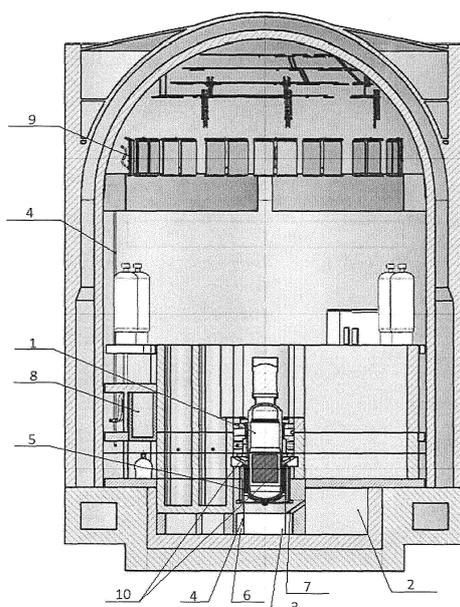
3. Система по п.2, отличающаяся тем, что дефлектор выполнен с ребрением.

4. Система по п.1, отличающаяся тем, что накопительный бак снабжён фильтром.

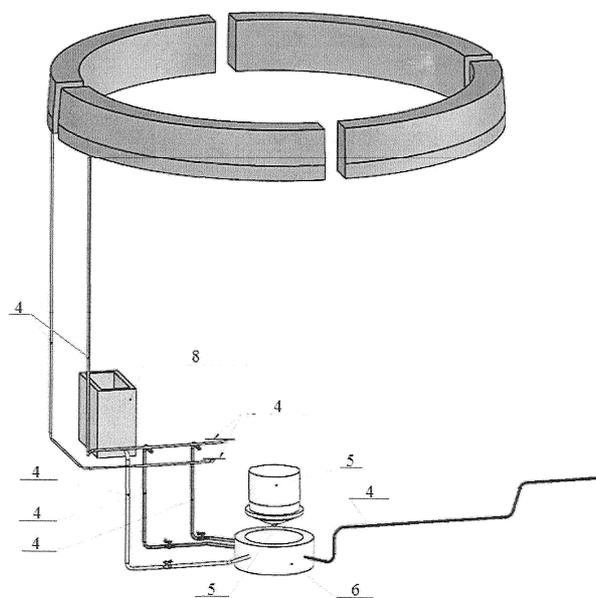
5. Система по п.1, отличающаяся тем, накопительный бак связан трубопроводами с внешними источниками охлаждающей жидкости.

6. Система по п.1, отличающаяся тем, что накопительный бак связан трубопроводом с системой конденсации пара, расположенной выше корпуса реактора, а шахта реактора - с системой конденсации пара каналами отвода пара.

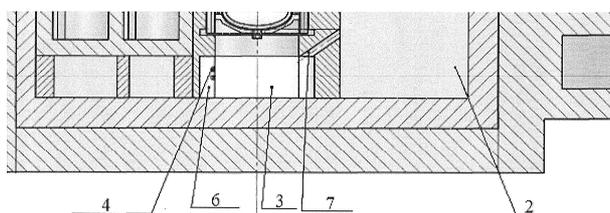
7. Система по п.6, отличающаяся тем, что в трубопровод, связывающий систему конденсации пара и накопительный бак, введена специальная накопительная ёмкость.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3