

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044913**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.11

(51) Int. Cl. **G21C 9/016** (2006.01)
G21C 13/10 (2006.01)

(21) Номер заявки
202193318

(22) Дата подачи заявки
2020.12.28

(54) **СИСТЕМА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ
ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(31) **2020111692**

(32) **2020.03.20**

(33) **RU**

(43) **2023.06.20**

(86) **PCT/RU2020/000764**

(87) **WO 2021/188006 2021.09.23**

(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)**

(56) **RU-C1-2696612
RU-C2-2514419
RU-U1-100327
RU-C1-2696004
US-A1-4442065**

(72) Изобретатель:
**Сидоров Александр Стальевич,
Дзбановская Татьяна Ярополковна,
Сидорова Надежда Васильевна (RU)**

(74) Представитель:
Снегов К.Г. (RU)

(57) Изобретение относится к области атомной энергетики, в частности к системам, обеспечивающим безопасность атомных электростанций (АЭС), и может быть использовано при тяжёлых авариях, приводящих к разрушению корпуса реактора и его герметичной оболочки. Технический результат заявленного изобретения заключается в повышении надёжности системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, повышении эффективности отвода тепла от расплава активной зоны ядерного реактора. Технический результат достигается за счет применения в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора верхней тепловой защиты, установленной в зоне между корпусом и фермой-консолью, и нижней тепловой защиты, установленной внутри корпуса на верхней кассете наполнителя.

B1

044913

044913

B1

Область техники

Изобретение относится к области атомной энергетики, в частности к системам, обеспечивающим безопасность атомных электростанций (АЭС), и может быть использовано при тяжёлых авариях, приводящих к разрушению корпуса реактора и его герметичной оболочки.

Наибольшую радиационную опасность представляют аварии с расплавлением активной зоны, которые могут происходить при множественном отказе систем охлаждения активной зоны.

При таких авариях расплав активной зоны - кориум, расплавляя внутриреакторные конструкции и корпус реактора, вытекает за его пределы, и вследствие сохраняющегося в нем остаточного тепловыделения, может нарушить целостность герметичной оболочки АЭС - последнего барьера на пути выхода радиоактивных продуктов в окружающую среду.

Для исключения этого необходимо локализовать вытекший из корпуса реактора расплав активной зоны (кориум) и обеспечить его непрерывное охлаждение, вплоть до полной кристаллизации. Эту функцию выполняет Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, которая предотвращает повреждения герметичной оболочки АЭС и тем самым защищает население и окружающую среду от радиационного воздействия при тяжёлых авариях ядерных реакторов.

Предшествующий уровень техники

Известна система [1] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге, площадку обслуживания, установленную внутри корпуса между наполнителем и направляющей плитой.

Данная система, в соответствии со своими конструктивными особенностями, имеет следующие недостатки, а именно:

в момент проплавления (разрушения) корпуса реактора расплавом активной зоны в образовавшееся отверстие под действием остаточного давления, имеющегося в корпусе реактора, начинает истекать перегретый расплав, распространяющийся неосесимметрично внутри объёма многослойного корпуса, что сопровождается динамическими контактами расплава с периферийными конструкциями, приводящими к разрушению периферийных конструкций и оборудования, установленного на фланец многослойного корпуса;

при струйном поступлении перегретого расплава большим расходом внутрь многослойного корпуса на наполнитель в результате отражающего эффекта со стороны наполнителя часть перегретого расплава перемещается в обратном направлении в сторону периферийных конструкций и многослойного корпуса с установленными в нём клапанами подачи воды (КПВ), что приводит к их повреждению и разрушению;

при истечении расплава внутрь многослойного корпуса в наполнитель образуется уровень расплава, падение в который обломков активной зоны и днища корпуса реактора приводит к образованию выплесков (воли) расплава, способных разрушить периферийное оборудование и установленные в многослойном корпусе КПВ;

в процессе истечения расплава из корпуса ядерного реактора и при взаимодействии расплава с наполнителем образуются аэрозоли, перемещающиеся вверх из горячих зон и оседающие в холодных зонах на периферийном оборудовании и на КПВ, что приводит к повреждению и разрушению периферийного оборудования и КПВ, установленных в многослойном корпусе;

после поступления расплава внутрь многослойного корпуса, возможна преждевременная подача воды внутрь многослойного корпуса ввиду преждевременного проплавления КПВ, в результате чего может произойти чрезмерное образование газа высокого давления, что приведет к взрыву и разрушению системы локализации и охлаждения расплава.

Известна система [2] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге, площадку обслуживания, установленную внутри корпуса между наполнителем и направляющей плитой.

Данная система, в соответствии со своими конструктивными особенностями, имеет следующие недостатки, а именно:

в момент проплавления (разрушения) корпуса реактора расплавом активной зоны в образовавшееся отверстие под действием остаточного давления, имеющегося в корпусе реактора, начинает истекать перегретый расплав, распространяющийся неосесимметрично внутри объёма многослойного корпуса, что сопровождается динамическими контактами расплава с периферийными конструкциями, приводящими к разрушению периферийных конструкций и оборудования, установленного на фланец многослойного корпуса;

при струйном поступлении перегретого расплава большим расходом внутрь многослойного корпуса на наполнитель в результате отражающего эффекта со стороны наполнителя часть перегретого расплава

перемещается в обратном направлении в сторону периферийных конструкций и многослойного корпуса с установленными в нём КПВ, что приводит к их повреждению и разрушению;

при истечении расплава внутрь многослойного корпуса в наполнитель образуется уровень расплава, падение в который обломков активной зоны и днища корпуса реактора приводит к образованию выплесков (волн) расплава, способных разрушить периферийное оборудование и установленные в многослойном корпусе КПВ;

в процессе истечения расплава из корпуса ядерного реактора и при взаимодействии расплава с наполнителем образуются аэрозоли, перемещающиеся вверх из горячих зон и оседающие в холодных зонах на периферийном оборудовании и на КПВ, что приводит к повреждению и разрушению периферийного оборудования и КПВ, установленных в многослойном корпусе;

после поступления расплава внутрь многослойного корпуса, возможна преждевременная подача воды внутрь многослойного корпуса ввиду преждевременного проплавления КПВ, в результате чего может произойти чрезмерное образование газа высокого давления, что приведет к взрыву и разрушению системы локализации и охлаждения расплава.

Известна система [3] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге, каждая из которых содержит одно центральное и несколько периферийных отверстий, клапаны подачи воды, установленные в патрубках, расположенных по периметру многослойного корпуса в зоне между верхней кассетой и фланцем, площадку обслуживания, установленную внутри многослойного корпуса между наполнителем и направляющей плитой.

Данная система, в соответствии со своими конструктивными особенностями, имеет следующие недостатки, а именно:

в момент проплавления (разрушения) корпуса реактора расплавом активной зоны в образовавшееся отверстие под действием остаточного давления, имеющегося в корпусе реактора, начинает истекать перегретый расплав, распространяющийся неосесимметрично внутри объема многослойного корпуса, что сопровождается динамическими контактами расплава с периферийными конструкциями, приводящими к разрушению периферийных конструкций и оборудования, установленного на фланец многослойного корпуса;

при струйном поступлении перегретого расплава большим расходом внутрь многослойного корпуса на наполнитель в результате отражающего эффекта со стороны наполнителя часть перегретого расплава перемещается в обратном направлении в сторону периферийных конструкций и многослойного корпуса с установленными в нём КПВ, что приводит к их повреждению и разрушению;

при истечении расплава внутрь многослойного корпуса в наполнитель образуется уровень расплава, падение в который обломков активной зоны и днища корпуса реактора приводит к образованию выплесков (волн) расплава, способных разрушить периферийное оборудование и установленные в многослойном корпусе КПВ;

в процессе истечения расплава из корпуса ядерного реактора и при взаимодействии расплава с наполнителем образуются аэрозоли, перемещающиеся вверх из горячих зон и оседающие в холодных зонах на периферийном оборудовании и на КПВ, что приводит к повреждению и разрушению периферийного оборудования и КПВ, установленных в многослойном корпусе;

после поступления расплава внутрь многослойного корпуса, возможна преждевременная подача воды внутрь многослойного корпуса ввиду преждевременного проплавления КПВ, в результате чего может произойти чрезмерное образование газа высокого давления, что приведет к взрыву и разрушению системы локализации и охлаждения расплава.

Раскрытие изобретения

Технический результат заявленного изобретения заключается в повышении надежности системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, повышении эффективности отвода тепла от расплава активной зоны ядерного реактора.

Задачами, на решение которых направлено заявленное изобретение, являются следующие:

обеспечение защиты периферийных конструкций и оборудования, установленного на фланец многослойного корпуса, от разрушения в процессе неосесимметричного истечения перегретого расплава из корпуса реактора;

обеспечение защиты периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате отражающего эффекта со стороны наполнителя, при котором часть перегретого расплава перемещается в обратном направлении в сторону периферийных конструкций и КПВ;

обеспечение защиты периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате выплесков (волн) расплава при падении в ванну расплава обломков активной зоны и обломков днища корпуса реактора;

обеспечение защиты периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате оседания аэрозолей и последующего их обрушения вместе с частями оборудования в ванну расплава;

обеспечение защиты оборудования от разрушения при преждевременной подаче воды внутрь многослойного корпуса при преждевременном проплавлении КПВ;

обеспечение защиты (теплового экранирования) КПВ, установленных по периметру многослойного корпуса, от теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны.

Поставленные задачи решаются за счет того, что в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащей направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора и опирающуюся на ферму-консоль (3), установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус (4), предназначенный для приема и распределения расплава, фланец (5) которого снабжен тепловой защитой (6), наполнитель (7), состоящий из нескольких установленных друг на друга кассет (8), каждая из которых содержит одно центральное и несколько периферийных отверстий (9), клапаны (10) подачи воды, установленные в патрубках (11), расположенных по периметру многослойного корпуса (4) в зоне между верхней кассетой (8) и фланцем (5), согласно изобретению внутри многослойного корпуса (4) дополнительно установлена верхняя тепловая защита (15), состоящая из внешней (21), внутренней (24) обечайки и днища (22), подвешенная к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термопрочных крепежных изделий (19), установленных в теплоизолирующий фланец (18) с контактным межфланцевым зазором (29) между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли и перекрывающая верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), при этом пространство между внешней обечайкой (21), внутренней обечайкой (24) и днищем (22) заполнено плавящимся бетоном (26), разделенным на сектора вертикальными ребрами (20) и удерживаемого вертикальными (23), длинными радиальными (25) и короткими радиальными (27) арматурными стержнями, при этом прочность внешней обечайки (21) выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22), а на внутренней обечайке (24) выполнены дистанцирующие элементы (30), на верхней кассете (8) установлена нижняя тепловая защита (12), состоящая из внешней (14), внутренней (31) обечайки и днища (13), контактирующая с дистанционирующими элементами (30) нижней части верхней тепловой защиты (15), при этом в нижней части нижней тепловой защиты (12) выполнены арочные элементы (17), перекрывающие тепловую защиту (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), кроме того, пространство между внешней обечайкой (14), внутренней обечайкой (31) и днищем (13) заполнено шлакообразующим бетоном (33), разделённым на сектора вертикальными ребрами (32) и удерживаемого вертикальными (34), длинными радиальными (35) и короткими радиальными (16) арматурными стержнями, при этом прочность внешней силовой обечайки (14) выше прочности внутренней обечайки (31), днища (13) и арочных элементов (17).

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора верхней тепловой защиты, подвешенной к ферме-консоли и перекрывающей верхнюю часть тепловой защиты фланца многослойного корпуса с образованием щелевого зазора, препятствующего прямому ударному воздействию со стороны расплава активной зоны из корпуса реактора в зону герметичного соединения многослойного корпуса с фермой-консолью. Верхняя тепловая защита обеспечивает защиту периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате отражающего эффекта со стороны наполнителя, при котором часть вытекающего из корпуса ядерного реактора перегретого расплава перемещается в обратном направлении в сторону периферийных конструкций и КПВ, обеспечивает защиту периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате выплесков (волн) расплава при падении в ванну расплава обломков активной зоны и обломков днища корпуса реактора, обеспечивает защиту периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате оседания аэрозолей и последующего их обрушения вместе с частями оборудования в ванну расплава.

Ещё одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора нижней тепловой защиты, установленной на верхней кассете. Нижняя тепловая защита состоит из внешней, внутренней обечайки и днища. Нижняя тепловая защита контактирует с дистанционирующими элементами нижней части верхней тепловой защиты, в нижней части которой выполнены арочные элементы, перекрывающие тепловую защиту фланца многослойного корпуса. Внешняя обечайка покрыта слоем шлакообразующего бетона, разделённого на сектора вертикальными ребрами и удерживаемого вертикальными, длинными радиальными и короткими радиальными арматурными стержнями, и выполнена таким образом, что её прочность выше прочности внутренней обечайки, днища и арочных элементов. Нижняя тепловая защита обеспечивает тепловое экранирование клапанов подачи воды, установленных по периметру многослойного корпуса от теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны, обеспечивает защиту периферийных конструкций и оборудования, установленного на фланец многослойного корпуса, от разрушения в процессе несимметричного истечения перегретого расплава из корпуса реактора, обеспечивает защиту периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате отражающего эффекта со стороны наполнителя, при котором вытекающего из корпуса ядерного реактора перегретого расплава перемещается в обратном направлении в сторону периферийных конструкций и КПВ, обеспечивает защиту периферийных конструкций и КПВ от разрушения в результате выплесков (волн) расплава при падении в ванну расплава обломков активной зоны и обломков днища корпуса реактора, обеспечивает защиту перифе-

рийных конструкций и КПВ от разрушения в результате оседания аэрозолей и последующего их обрушения вместе с частями оборудования в ванну расплава, обеспечивает защиту оборудования от разрушения при преждевременной подаче воды внутрь многослойного корпуса при преждевременном проплавлении КПВ, обеспечивает защиту (тепловое экранирование) КПВ, установленных по периметру многослойного корпуса, от теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 изображена система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 2 изображена зона между верхней кассетой наполнителя и нижней поверхностью фермы-консоли.

На фиг. 3 изображен общий вид верхней тепловой защиты, выполненной в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 4 изображен фрагмент верхней тепловой защиты в разрезе, выполненной в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 5 изображена зона крепления верхней тепловой защиты к ферме-консоли.

На фиг. 6 изображен общий вид нижней тепловой защиты, выполненной в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 7 изображен фрагмент нижней тепловой защиты в разрезе, выполненной в соответствии с заявленным изобретением.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1-7, система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора содержит направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора и опирающуюся на ферму-консоль (3). Под фермой-консолью (3) установлен многослойный корпус (4), который монтируется в основании шахты реактора на закладных деталях. Многослойный корпус (4) предназначен для приема и распределения расплава. В верхней части многослойного корпуса (4) выполнен фланец (5), снабженный тепловой защитой (6). Внутри многослойного корпуса (4) установлен наполнитель (7). Наполнитель (7) состоит из нескольких установленных друг на друга кассет (8), каждая из которых содержит одно центральное и несколько периферийных отверстий (9). В зоне между верхней кассетой (8) и фланцем (5) по периметру многослойного корпуса (4) расположены клапаны (10) подачи воды, установленные в патрубках (11). Дополнительно, внутри многослойного корпуса (4) установлена верхняя тепловая защита (15).

Верхняя тепловая защита (15) состоит из внешней (21), внутренней (24) обечайки и днища (22). Верхняя тепловая защита (15) подвешивается к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термопрочных крепежных изделий (19). Термопрочные крепежные изделия (19) установлены в теплоизолирующий фланец (18) с формированием контактного межфланцевого зазора (29) между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли. Верхняя тепловая защита (15) установлена таким образом, что перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) и нижнюю часть фермы-консоли (3). Пространство между внешней обечайкой (21), внутренней обечайкой (24) и днищем (22) заполнено плавящимся бетоном (26), который разделяется на сектора вертикальными ребрами (20). Дополнительно, плавящийся бетон удерживается посредством вертикальных (23), длинных радиальных (25) и коротких радиальных (27) арматурных стержней. При этом, прочность внешней обечайки (21) выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22), а на внутренней обечайке (24) выполнены дистанционирующие элементы (30).

На верхней кассете (8) установлена нижняя тепловая защита (12), состоящая из внешней (14), внутренней (31) обечайки и днища (13). Нижняя тепловая защита (12) контактирует с дистанционирующими элементами (30) нижней части верхней тепловой защиты (15). В нижней части нижней тепловой защиты (12) выполнены арочные элементы (17), которые, при установке в многослойном корпусе (4) своей нижней частью перекрывают клапаны (10) подачи воды от прямого воздействия со стороны перегретого расплава, а своей верхней частью обеспечивают беспрепятственное поступление перегретого расплава в отверстия (9) кассет (8).

Пространство между внешней обечайкой (14), внутренней обечайкой (31) и днищем (13) заполнено шлакообразующим бетоном (33), разделённым на сектора вертикальными ребрами (32) и удерживаемым вертикальными (34), длинными радиальными (35) и короткими радиальными (16) арматурными стержнями. Прочность внешней обечайки (14) выше прочности внутренней обечайки (31), днища (13) и арочных элементов (17).

Заявленная система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно заявленному изобретению, работает следующим образом.

В момент разрушения корпуса (2) ядерного реактора расплав активной зоны под действием гидростатического и остаточного давлений начинает поступать на поверхность направляющей плиты (1), удерживаемой фермой-консолью (3). Расплав, стекая по направляющей плите (1), попадает в многослойный корпус (4) и входит контакт с наполнителем (7). При секторном несесимметричном стекании расплава происходит подплавление тепловых защит фермы-консоли (3), тепловой защиты (6) фланца (5)

многослойного корпуса (4), верхней (15) и нижней (12) тепловых защит. Разрушаясь, эти тепловые защиты, с одной стороны, снижают тепловое воздействие расплава активной зоны на защищаемое оборудование, а с другой - уменьшают температуру и химическую активность самого расплава.

Тепловая защита (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) обеспечивает защиту его верхней толстостенной внутренней части от теплового воздействия со стороны зеркала расплава активной зоны с момента поступления расплава в наполнитель (7) и до окончания взаимодействия расплава с наполнителем (7), то есть, до момента начала охлаждения водой корки, расположенной на поверхности расплава активной зоны. Тепловая защита (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) устанавливается таким образом, что позволяет обеспечить защиту внутренней поверхности многослойного корпуса (4) выше уровня расплава активной зоны, образующегося в многослойном корпусе (4) в процессе взаимодействия с наполнителем (7), именно той верхней части многослойного корпуса (4), которая имеет большую толщину по сравнению с цилиндрической частью многослойного корпуса (4), обеспечивающей нормальную (без кризиса теплообмена в режиме кипения в большом объёме) передачу тепла от расплава активной зоны к воде, находящейся с внешней стороны многослойного корпуса (4).

В процессе взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7) тепловая защита (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) подвергается разогреву и частичному разрушению, экранируя тепловое излучение со стороны зеркала расплава. Геометрические и теплофизические характеристики тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) выбираются таким образом, что при любых условиях обеспечивают экранирование фланца (5) многослойного корпуса (4) со стороны зеркала расплава, благодаря чему, в свою очередь, обеспечивается независимость защитных функций от времени завершения процессов физико-химического взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7). Таким образом, наличие тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) позволяет обеспечить выполнение защитных функций до начала подачи воды на корку, расположенную на поверхности расплава активной зоны.

Как показано на фиг. 1, 3, 4, верхняя тепловая защита (15), подвешенная к ферме-консоли (3), выше верхнего уровня тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), своей нижней частью закрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), обеспечивая защиту от воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны не только нижней части фермы-консоли (3), но и верхней части тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4). Геометрические характеристики, такие как расстояние между наружной поверхностью верхней тепловой защиты (15) и внутренней поверхностью тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), а также высота перекрытия указанных тепловых защит (15 и 6) выбраны таким образом, чтобы обеспечить отсутствие разрушений верхней части тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), что обеспечивает её механическую устойчивость, следствием которой является защита сверху клапанов (10) подачи воды от прямого воздействия со стороны перегретого расплава и летящих предметов.

Как показано на фиг. 3, 4, конструктивно верхняя тепловая защита (15) состоит из внешней (21), внутренней (24) обечайки и днища (22). Как показано на фиг. 5, верхняя тепловая защита (15) подвешивается к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термопрочных крепежных изделий (19). Термопрочные крепежные изделия (19) установлены в теплоизолирующий фланец (18) с формированием контактного межфланцевого зазора (29) между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли. Верхняя тепловая защита (15) установлена таким образом, что перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) и нижнюю часть фланца (28) фермы-консоли. Пространство между внешней обечайкой (21), внутренней обечайкой (24) и днищем (22) заполнено плавящимся бетоном (26). Дополнительно, плавящийся бетон (26) удерживается посредством вертикальных (23), длинных радиальных (25) и коротких радиальных (27) арматурных стержней. При этом, прочность внешней обечайки (21) выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22), а на внутренней обечайке (24) выполнены дистанцирующие элементы (30).

Как показано на фиг. 6, 7, конструктивно нижняя тепловая защита (12) состоит из внешней (14), внутренней (31) обечайки и днища (13). Как показано на фиг. 4, нижняя тепловая защита (12) контактирует с дистанционирующими элементами (30) нижней части верхней тепловой защиты (15). Как показано на фиг. 6, в нижней части нижней тепловой защиты (12) выполнены арочные элементы (17), которые, при установке в многослойном корпусе (4), перекрывают тепловую защиту (6) фланца (5) многослойного корпуса (4). Пространство между внешней обечайкой (14), внутренней обечайкой (31) и днищем (13) заполнено шлакообразующим бетоном (33), разделённым на сектора вертикальными рёбрами (32) и удерживаемого вертикальными (34), длинными радиальными (35) и короткими радиальными (16) арматурными стержнями. При этом, прочность внешней обечайки (14) выше прочности внутренней обечайки (31), днища (13) и арочных элементов (17).

Нижняя тепловая защита (12) обеспечивает тепловое экранирование клапанов (10) подачи воды, установленных по периметру многослойного корпуса (4) в зоне, между верхней кассетой (8) наполнителя (7) и фланцем (5) многослойного корпуса (4), от воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны.

Как показано на фиг. 1, нижняя тепловая защита (12), установленная внутри многослойного корпу-

са (4), опирается на верхнюю кассету (8) наполнителя (7) и перекрывает нижнюю часть верхней тепловой защиты (15). Такое перекрытие обеспечивается за счет соосной установки нижней тепловой защиты (12) внутрь верхней тепловой защиты (15). Высота перекрытия и технологический зазор между нижней и верхней тепловыми защитами (15 и 12) обеспечивают устойчивое положение верхней тепловой защиты (15) при импульсном повышении давления и ударном неосесимметричном нагружении.

Арочные элементы (17), расположенные в основании нижней тепловой защиты (12), обеспечивают открытие полного проходного сечения отверстий (9) наполнителя (7), что позволяет перераспределять воздушные (газовые) потоки внутри наполнителя (7) для быстрого выравнивания давления между внутренними объемами многослойного корпуса (4) и перераспределять расплав активной зоны, поступающий из корпуса (2) ядерного реактора.

Защита клапанов (10) подачи воды осуществляет пассивным способом: нижняя тепловая защита (12) постепенно растворяется (расплавляется) в расплаве активной зоны, по мере того, как расплав взаимодействует с наполнителем (7). Это взаимодействие определяется начальными условиями поступления расплава активной зоны в наполнитель (7): при быстром или при медленном поступлении металлических и оксидных компонентов расплава.

При быстром поступлении металлических и оксидных компонентов расплава в наполнитель (7), при котором задержка поступления оксидных компонентов небольшая, не более 30 минут (например, при боковом проплавлении корпуса (2) ядерного реактора и последующем частичном или полном разрушении днища корпуса (2) ядерного реактора), процесс физико-химического взаимодействия идет быстрее, быстрее происходит уменьшение плотности оксидных компонентов расплава относительно плотности металлических компонентов, на более ранней стадии происходит инверсия расплава и, как следствие, образование единой жидкой ванны расплава, в которой растворяется (расплавляется) нижняя тепловая защита (12), открывая тепловому излучению со стороны зеркала расплава доступ к клапанам (10) подачи воды, что обеспечивает их нагрев и срабатывание на пропуск охлаждающей воды.

При медленном поступлении металлических и оксидных компонентов расплава в наполнитель (7), при котором задержка поступления оксидных компонентов превышает 30 минут (например, при боковом проплавлении корпуса (2) ядерного реактора, при котором через образовавшееся отверстие в корпусе (2) ядерного реактора сначала вытекает жидкая сталь, а затем, по мере проплавления корпуса, вытекают жидкие оксиды), процесс физико-химического взаимодействия идет медленнее, медленнее происходит уменьшение плотности оксидных компонентов расплава относительно плотности металлических компонентов, на более поздней стадии происходит инверсия расплава и, как следствие, образование единой жидкой ванны расплава, в которой растворяется (расплавляется) нижняя тепловая защита (12), открывая тепловому излучению со стороны зеркала расплава доступ к клапанам (10) подачи воды, что обеспечивает его нагрев и срабатывание на пропуск охлаждающей жидкости.

Быстрое и медленное поступление металлических и оксидных компонентов расплава в наполнитель (7) приводят к значительному различию достижения одинаковых состояний расплава активной зоны в многослойном корпусе (4) во времени, поэтому применение теплового экрана, т.е. растворяемой в расплаве нижней тепловой защиты (12), обеспечивает срабатывание клапанов (10) подачи воды в тот момент, когда расплав активной зоны, независимо от сценариев поступления в наполнитель (7), будет иметь одинаковое термохимическое и механическое состояние, безопасное для охлаждения водой корки, образованной на поверхности расплава. Геометрические и теплофизические характеристики нижней тепловой защиты (12) выбираются, исходя из гарантированного завершения процессов физико-химического взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7), независимо от скорости этого взаимодействия.

Описанное выше двухрежимное перемещение нижней тепловой защиты (12), связанное с процессами разрушения (расплавления, растворения и химического взаимодействия) в корнуме, образованном соединениями компонентов расплава активной зоны с жертвенными материалами наполнителя (7), обеспечивается различным количеством энергии, необходимым для разрушения каждого плоского слоя нижней тепловой защиты (12).

Ввиду наличия арочных элементов (17) в нижней части нижней тепловой защиты (12), площадь плоского слоя в нижней части существенно меньше, чем в верхней, поэтому количество энергии, затрачиваемое для плавления (разрушения) нижней части, будет меньше, чем для слоя верхней части. В этом случае скорость погружения в расплав нижней части нижней тепловой защиты (12), выполненной из арочных элементов (17), примерно, в два раза выше скорости погружения её верхней части. Такая конструкция нижней тепловой защиты (12) позволяет на начальном этапе взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7) и нижней тепловой защитой (12) обеспечить быстрое безударное перекрытие открытых участков внутренней поверхности многослойного корпуса (4) от воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава, что позволяет блокировать прямой радиационный теплообмен между зеркалом расплава и внутренней поверхностью многослойного корпуса (4).

В проектном положении рабочие элементы клапанов (10) подачи воды закрыты от прямого радиационного теплообмена арочными элементами (17) нижней тепловой защиты (12) от момента, когда корнум находится внутри наполнителя (7) и кассеты (8) не потеряли несущую способность, до момента обра-

зования зеркала расплава и начала формоизменения наполнителя (7).

Арочные элементы (17) нижней тепловой защиты (12) защищают рабочие элементы клапанов (10) подачи воды от следующих прямых и косвенных воздействий:

от воздействия переизлучением с соседних участков внутренней цилиндрической поверхности многослойного корпуса (4);

от воздействия тепловым излучением со стороны полосы зеркала расплава, площадь которой ограничена внутренним диаметром многослойного корпуса (4), наружным диаметром нижней тепловой защиты (12) и площадью в свету арочных элементов (17). В этом случае тепловое излучение действует на нижнюю торцевую поверхность тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), и без перекрытия арок погружением нижней тепловой защиты (12) в расплав возможно переизлучение на рабочие элементы клапанов (10) подачи воды;

от прямого воздействия струй расплава при ударе и отражении от поверхностей тепловых защит (15 и 12);

от прямого воздействия брызг расплава при падении обломков оборудования реактора в расплав;

от прямого воздействия струй расплава при секторном проплавлении тепловых защит (15 и 12) в направляющей плите (1) и площадке обслуживания;

от ударов со стороны обломков оборудования активной зоны и корпуса (2) ядерного реактора.

Для того, чтобы нижняя тепловая защита (12) при плавлении в корнуме опускалась в расплав без зацепов, приваров и с минимальным динамическим воздействием на оборудование системы локализации и охлаждения расплава, выполнено следующее:

наружная стенка нижней тепловой защиты (12) выполнена в форме обечайки (14), обеспечивающей необходимую прочность и формоустойчивость за счёт теневого расположения относительно воздействия лучистых тепловых потоков;

малый щелевой зазор между внешней обечайкой (14) нижней тепловой защиты (12) и верхней тепловой защитой (15) до расплавления арочных элементов (17) обеспечивает минимальное влияние конвективного теплообмена со стороны парогазовой среды, находящейся над поверхностью зеркала расплава, на разогрев внешней обечайки (14) нижней тепловой защиты (12), а после расплавления арочных элементов (17) и погружения нижней части нижней тепловой защиты (12) в расплав влияние обратного конвективного теплового потока, направленного сверху вниз, со стороны фланца нижней тепловой защиты (12), на дополнительный разогрев внешней обечайки (14) незначительно;

вертикальные ребра (20) верхней тепловой защиты (15) выполнены с припуском внутрь таким образом, что образуют вертикальные направляющие для скольжения по ним внешней обечайки (14) нижней тепловой защиты (12). Это позволяет нижней тепловой защите (12) в процессе расплавления опускаться в расплав по вертикальным рёбрам (20) верхней тепловой защиты (15) с минимальным сопротивлением трения;

технологический зазор между внешней обечайкой (14) нижней тепловой защиты (12) и вертикальными рёбрами (20) верхней тепловой защиты (15) обеспечивает контакт тепловых защит (15 и 12) только вдоль нескольких вертикальных рёбер (20), что обеспечивается размерами технологического зазора несколько большими, чем разница между изменением внутреннего диаметра верхней тепловой защиты (15) и изменением внешнего диаметра нижней тепловой защиты (12) при тепловых расширениях при температурах, близких к температуре потери прочности внешней обечайки (14) нижней тепловой защиты (12). Технологический зазор обеспечивает исключение обжатия нижней и верхней тепловых защит (15 и 12) в процессе разогрева;

малый щелевой зазор между нижней частью верхней тепловой защиты (15) и верхней частью тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) обеспечивает устойчивость нижней тепловой защиты (12) при её плавлении и перемещении в расплав. Опосредованное опирание движущейся нижней тепловой защиты (12) о фланец (5) многослойного корпуса (4) через две тепловые защиты (15 и 6), установленные с зазорами относительно друг друга, исключает ударные динамические воздействия на фланец (5) многослойного корпуса (4) со стороны движущейся нижней тепловой защиты (12) и исключает её заклинивание в верхней тепловой защите (15) в результате формоизменения последней. Форма нижней части верхней тепловой защиты (12) сохраняется благодаря влиянию оправки, роль которой выполняет относительно более холодная верхняя часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4).

Таким образом, применение в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора верхней и нижней тепловых защит, установленных внутри многослойного корпуса в зоне его соединения с фермой-консолью, позволило повысить её надёжность за счет обеспечения наибольшего гидравлического сопротивления при движении парогазовой смеси из внутреннего объема многослойного корпуса в пространство, расположенное в зоне между многослойным корпусом и фермой-консолью и теплового экранирования клапанов подачи воды, установленных по периметру многослойного корпуса от теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны.

Источники информации:

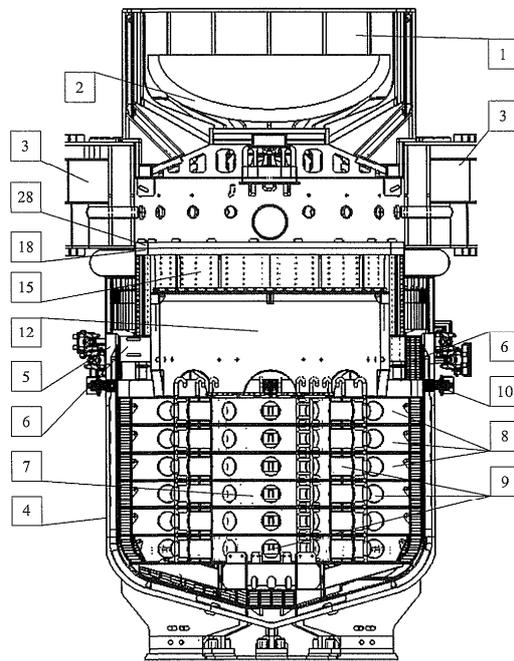
1. Патент РФ № 2576517, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.;

2. Патент РФ № 2576516, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.;

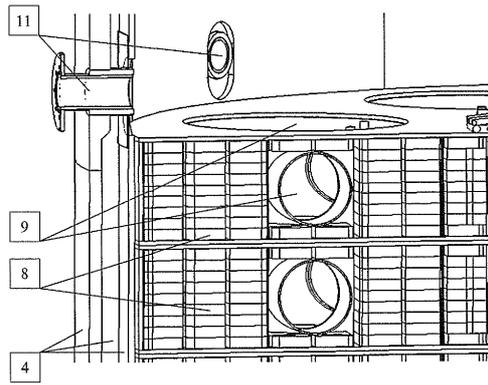
3. Патент РФ № 2696612, МПК G21C 9/016, приоритет от 26.12.2018 г.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

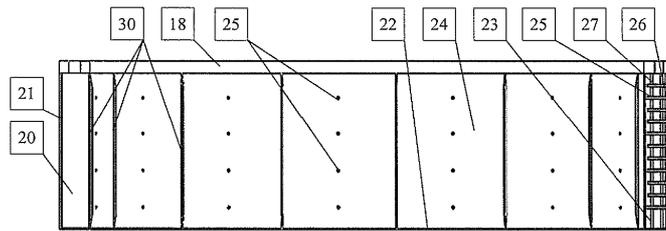
Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора и опирающуюся на ферму-консоль (3), установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус (4), предназначенный для приема и распределения расплава, фланец (5) которого снабжен тепловой защитой (6), наполнитель (7), состоящий из нескольких установленных друг на друга кассет (8), каждая из которых содержит одно центральное и несколько периферийных отверстий (9), клапаны (10) подачи воды, установленные в патрубках (11), расположенных по периметру многослойного корпуса (4) в зоне между верхней кассетой (8) и фланцем (5), отличающаяся тем, что внутри многослойного корпуса (4) дополнительно установлена верхняя тепловая защита (15), состоящая из внешней (21), внутренней (24) обечайек и днища (22), подвешенная к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термopрочных крепежных изделий (19), установленных в теплоизолирующий фланец (18) с контактным межфланцевым зазором (29) между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли, и перекрывающая верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), при этом пространство между внешней обечайкой (21), днищем (22) и внутренней обечайкой (24) заполнено плавящимся бетоном (26), разделенным на сектора вертикальными ребрами (20) и удерживаемым вертикальными (23), длинными радиальными (25) и короткими радиальными (27) арматурными стержнями, и выполнена таким образом, что её прочность выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22), а на внутренней обечайке (24) выполнены дистанцирующие элементы (30), на верхней кассете (8) установлена нижняя тепловая защита (12), состоящая из внешней (14), внутренней (31) обечайек и днища (13), контактирующая с дистанционирующими элементами (30) нижней части верхней тепловой защиты (15), в нижней части которой выполнены арочные элементы (17), перекрывающие тепловую защиту (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), при этом пространство между внешней (14), внутренней (31) обечайками и днищем (13) заполнено шлакообразующим бетоном (33), разделенным на сектора вертикальными ребрами (32) и удерживаемым вертикальными (34), длинными радиальными (35) и короткими радиальными (16) арматурными стержнями, при этом прочность внешней обечайки (21) выше прочности внутренней обечайки (31), днища (13) и арочных элементов (17).



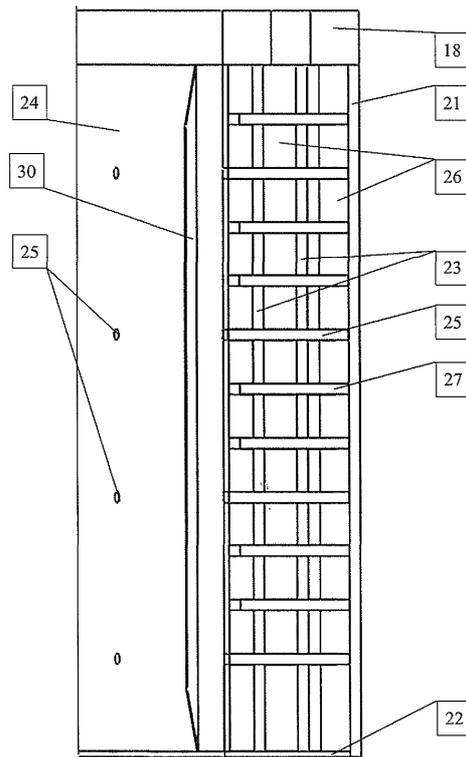
Фиг. 1



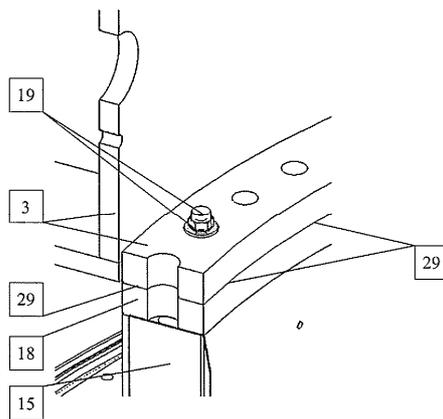
Фиг. 2



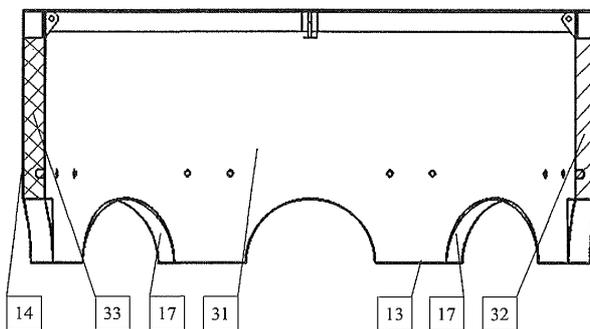
Фиг. 3



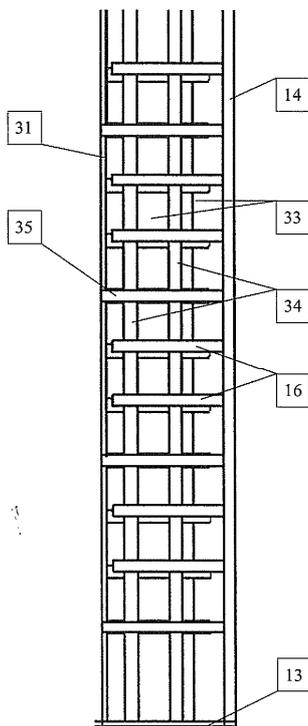
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7