

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045164**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.31

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

(21) Номер заявки
202193317

(22) Дата подачи заявки
2021.12.29

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

(31) **2020111299**

(56) **RU-C1-2696612**

(32) **2020.03.18**

RU-C1-2576517

(33) **RU**

RU-C1-2576516

(43) **2023.06.20**

RU-C1-2700925

(86) **PCT/RU2020/000765**

RU-C1-2696012

(87) **WO 2021/188007 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)**

(72) Изобретатель:
**Сидоров Александр Стальевич,
Чикан Кристин Александрович,
Сидорова Инна Сергеевна (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 тяжелых авариях, приводящих к разрушению корпуса реактора и его герметичной оболочки. 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. Технический результат достигается за счет применения в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембраны, барабана и тепловой защиты, установленных в зоне между многослойным корпусом и фермой-консолью.

B1

045164

045164

B1

Область техники

Изобретение относится к области атомной энергетики, в частности, к системам, обеспечивающим безопасность атомных электростанций (АЭС), и может быть использовано при тяжелых 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 повреждение герметичной оболочки АЭС и тем самым защищает население и окружающую среду от радиационного воздействия при тяжелых 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, установленный внутри многослойного корпуса, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге.

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 расплав и выходят газы, которые распространяются внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, в этих объемах происходит быстрое увеличение давления газа, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью;

при поступлении расплава внутрь многослойного корпуса, ферма-консоль и многослойный корпус в результате разогрева, ударных или сейсмических воздействий могут независимо перемещаться относительно друг друга, что может привести к разрушению их герметичного соединения, и, следовательно, нарушению работы 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, установленный внутри многослойного корпуса, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге.

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 расплав и выходят газы, которые распространяются внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, в этих объемах происходит быстрое увеличение давления газа, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью;

при поступлении расплава внутрь многослойного корпуса, ферма-консоль и многослойный корпус в результате разогрева, ударных или сейсмических воздействий могут независимо перемещаться относительно друг друга, что может привести к разрушению их герметичного соединения, и, следовательно, нарушению работы 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, установленный внутри многослойного корпуса, 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.

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 расплав и выходят газы, которые распространяются внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, в этих объемах происходит быстрое увеличение давления газа, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью;

при поступлении расплава внутрь многослойного корпуса, ферма-консоль и многослойный корпус в результате разогрева, ударных или сейсмических воздействий могут независимо перемещаться относительно друг друга, что может привести к разрушению их герметичного соединения, и, следовательно, нарушению работы 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 герметизации многослойного корпуса от затопления водой, поступающей для охлаждения наружной поверхности многослойного корпуса;

обеспечение независимых радиально-азимутальных тепловых расширений фермы-консоли;

обеспечение независимых перемещений фермы-консоли и многослойного корпуса при сейсмических и ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава;

обеспечение снижения термомеханических и динамических нагрузок на мембрану;

улучшение условий наружного охлаждения многослойного корпуса, в том числе, его толстостенного фланца;

улучшение условий срабатывания мембраны в качестве пассивной защиты от перегрева при отсутствии или недостатке охлаждения внутреннего объема многослойного корпуса;

обеспечение наибольшего гидравлического сопротивления при движении парогазовой смеси из внутреннего объема многослойного корпуса в пространство, расположенное в зоне между многослойным корпусом и фермой-консолью.

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, на фланце (5) многослойного корпуса (4) установлен барабан (34), выполненный в форме обечайки (35) с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами (36), опирающимися на крышку (37) и днище (38), имеющий элементы (30) натяжения, соединяющие барабан (34) через приваренный к нему опорный фланец (31) с фланцем (5) многослойного корпуса (4), на барабане (34) установлена мембрана (12) выпуклой формы, выпуклая сторона которой обращена за пределы многослойного корпуса (4), при этом в верхней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли (3) выполнены элементы (13) верхнего термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием верхнего контактного зазора (14), в нижней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с крышкой (37) барабана (34) выполнены элементы (32) нижнего термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием нижнего контактного зазора (33), внутри многослойного корпуса (4) дополнительно установлена 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), устанавливаемых в теплоизолирующий фланец (18) с контактным межфланцевым зазором (29), расположенным между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли (3), и перекрывающая верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка (16) с пропускными отверстиями (17), при этом внешняя обечайка (21) выполнена таким образом, что ее прочность выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22), а пространство между внешней обечайкой (21), днищем (22) и внутренней обечайкой (24) заполнено плавящимся бетоном (26), разделенным на сектора вертикальными ребрами (20) и удерживаемого вертикальными (23), длинными радиальными (25) и короткими радиальными (27) арматурными стержнями.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора барабана, установленного на фланце многослойного корпуса, выполненного в форме обечайки с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище, имеющего элементы натяжения, соединяющие барабан

через приваренный к нему опорный фланец с фланцем многослойного корпуса. Наличие барабана в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, при увеличении максимального уровня воды со стороны наружной поверхности многослойного корпуса, позволяет обеспечить снижение термомеханических и динамических нагрузок на мембрану, улучшить условия наружного охлаждения многослойного корпуса, в том числе, его толстостенного фланца, улучшить условия срабатывания мембраны в качестве пассивной защиты от перегрева при отсутствии или недостатке охлаждения внутреннего объема многослойного корпуса.

Еще одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембраны выпуклой формы, установленной на барабане. Выпуклая сторона мембраны обращена за пределы многослойного корпуса. В верхней части мембраны выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли выполнены элементы верхнего термического сопротивления, обеспечивающие ухудшенные условия теплопередачи, способствующие перегреву верхней части мембраны и соединенные друг с другом посредством сварки с образованием верхнего контактного зазора, способствующего блокированию теплообмена со стороны мембраны к ферме-консоли и способствующего перенаправлению тепловых потоков от мембраны к ферме-консоли через сварное соединение, которое перегревается и разрушается в результате этого процесса. В нижней части мембраны выпуклой формы в зоне соединения с крышкой барабана выполнены элементы нижнего термического сопротивления, обеспечивающие ухудшенные условия теплопередачи, способствующие перегреву нижней части мембраны и соединенные друг с другом посредством сварки с образованием нижнего контактного зазора, способствующего блокированию теплообмена со стороны мембраны к барабану и способствующего перенаправлению тепловых потоков от мембраны к барабану через сварное соединение, которое перегревается и разрушается в результате этого процесса. Наличие мембраны в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора позволяет обеспечить герметизацию многослойного корпуса от затопления водой, поступающей для охлаждения наружной поверхности многослойного корпуса, обеспечить независимые радиально-азимутальных тепловые расширения фермы-консоли, обеспечить аксиально-радиальные тепловые расширения многослойного корпуса, обеспечить независимые перемещения фермы-консоли и многослойного корпуса при сейсмических и ударных механических воздействиях на элементы оборудования УЛР, обеспечить разрушение мембраны при нарушениях охлаждения внутренних объемов многослойного корпуса и расплава активной зоны.

Еще одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора тепловой защиты, установленной внутри многослойного корпуса. Тепловая защита состоит из внешней, внутренней обечайки и днища. Тепловая защита подвешивается к фланцу фермы-консоли посредством термостойких крепежных изделий, которые устанавливаются в теплоизолирующий фланец с контактным межфланцевым зазором. Контактный межфланцевый зазор расположен между теплоизолирующим фланцем и фланцем фермы-консоли. Тепловая защита перекрывает верхнюю часть тепловой защиты фланца многослойного корпуса, между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка с пропускными отверстиями. Внешняя обечайка тепловой защиты выполнена таким образом, что ее прочность выше прочности внутренней обечайки и днища, а на внешней поверхности нанесен защитный слой плавящегося бетона, разделенного на сектора вертикальными ребрами и удерживаемого вертикальными, длинными радиальными и короткими радиальными арматурными стержнями. Наличие тепловой защиты противостоит прямому ударному воздействию со стороны расплава активной зоны и со стороны газодинамических потоков из корпуса реактора в зону герметичного соединения многослойного корпуса с фермой-консолью. Кольцевая перемычка с отверстиями, по своим функциональным возможностям, формирует своего рода газодинамический демпфер, который позволяет обеспечить необходимое гидравлическое сопротивление при движении парогазовой смеси из внутреннего объема корпуса реактора в пространство, расположенное за внешней поверхностью тепловой защиты, и снизить скорость роста давления на периферии, одновременно увеличивая время роста этого давления, что обеспечивает необходимое время для выравнивания давления внутри и снаружи многослойного корпуса.

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 тепловой защиты, выполненной в соответствии с заявленным изобретением.

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

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

На фиг. 6 изображена кольцевая перемычка, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 7 изображен общий вид мембраны, выполненной в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 8 изображена зона соединения мембраны с нижней поверхностью фермы-консоли.

На фиг. 9 изображена зона соединения мембраны с нижней поверхностью фермы-консоли, выполненная с использованием дополнительных пластин.

На фиг. 10 изображена зона крепления верхней части мембраны с нижней частью фермы-консоли и зона крепления нижней части мембраны с барабаном.

На фиг. 11 изображен барабан, выполненный в соответствии с заявленным изобретением.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1-11, 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), предназначенный для приема и распределения расплава. Многослойный корпус (4) устанавливается на закладные детали. Фланец (5) многослойного корпуса (4) снабжен тепловой защитой (6). Внутри многослойного корпуса (4) расположен наполнитель (7), который состоит из нескольких установленных друг на друга кассет (8). Каждая из кассет (8) имеет одно центральное и несколько периферийных отверстий (9). В зоне между верхней кассетой (8) и фланцем (5) установлены клапаны (10) подачи воды, установленные в патрубках (11), расположенных по периметру многослойного корпуса (4). На фланце (5) многослойного корпуса (4) установлен барабан (34), выполненный в форме обечайки (35). По периметру обечайки (35) расположены усиливающие ребра (36), которые опираются на крышку (37) и днище (38). Кроме того, обечайка (35) имеет элементы (30) натяжения. Посредством элементов (30) натяжения барабан (34) через приваренный к нему опорный фланец (31) соединяется с фланцем (5) многослойного корпуса (4).

На барабане (34) установлена мембрана (12) выпуклой формы. Выпуклая сторона мембраны (12) обращена за пределы многослойного корпуса (4). В верхней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли (3) выполнены элементы (13) верхнего термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием верхнего контактного зазора (14). В нижней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с крышкой (37) барабана (34) выполнены элементы (32) нижнего термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием нижнего контактного зазора (33).

Внутри многослойного корпуса (4) установлена тепловая защита (15). Тепловая защита (15) состоит из внешней обечайки (21), внутренней обечайки (24) и днища (22). Тепловая защита (15) подвешивается к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термостойких крепежных изделий (19), устанавливаемых в теплоизолирующий фланец (18) с контактным межфланцевым зазором (29), расположенным между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли. Тепловая защита (15) устанавливается таким образом, что перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка (16) с пропускными отверстиями (17).

Внешняя обечайка (21) выполнена таким образом, что ее прочность выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22). Пространство между внешней обечайкой (21), днищем (22) и внутренней обечайкой (24) заполнено плавящимся бетоном (26). Плавящийся бетон (26) разделен на сектора вертикальными ребрами (20) и удерживаемого вертикальными (23), длинными радиальными (25) и короткими радиальными (27) арматурными стержнями.

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 избыточного 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 неосесимметричном стекании расплава происходит подплавление тепловых защит (6) и (15). 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 объеме) 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, 11, на фланце (5) многослойного корпуса (4) установлен барабан (34), выполненный в форме обечайки (35). По периметру обечайки (35) расположены усиливающие ребра (36), которые опираются на крышку (37) и днище (38). Кроме того, обечайка (35) имеет элементы (30) натяжения. Посредством элементов (30) натяжения барабан (34) через приваренный к нему опорный фланец (31) соединяется с фланцем (5) многослойного корпуса (4).

Наличие барабана (34) в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора при увеличении максимального уровня воды со стороны наружной поверхности многослойного корпуса (4) позволяет обеспечить снижения термомеханических и динамических нагрузок на мембрану (12), улучшить условия наружного охлаждения многослойного корпуса (4), в том числе, его толстостенного фланца (5), улучшить условия срабатывания мембраны (12) в качестве пассивной защиты от перегрева при отсутствии или недостатке охлаждения внутреннего объема многослойного корпуса (4).

Элементы (30) натяжения, соединяющие барабан (34) с фланцем (5) многослойного корпуса (4), обеспечивают устойчивость барабана (34) к ударным возмущениям, действующим со стороны внутреннего пространства многослойного корпуса (4), например, при локальных повышениях давления, сейсмическом или ударном неосесимметричном воздействии. В этих условиях элементы (30) натяжения через опорный фланец (31), приваренный к барабану (34), создают усилия сжатия, действующие на барабан (34) и не позволяющие ему перемещаться относительно фланца (5) многослойного корпуса (4) при ударных возмущениях, обеспечивая целостность герметичных сварных соединений как мембраны (12), так и самого барабана (34).

Как показано на фиг. 1, 7, 8, 9, 10, на барабане (34) установлена мембрана (12) выпуклой формы, выпуклая сторона которой обращена за пределы многослойного корпуса (4), при этом в верхней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли (3) выполнены элементы (13) верхнего термического сопротивления, обеспечивающие ухудшенные условия теплопередачи, способствующие перегреву верхней части мембраны и соединенные друг с другом посредством сварки с образованием верхнего контактного зазора (14), способствующего блокированию теплообмена со стороны мембраны к ферме-консоли и способствующего перенаправлению тепловых потоков от мембраны к ферме-консоли через сварное соединение, которое перегревается и разрушается в результате этого процесса. В нижней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с крышкой (37) барабана (34) выполнены элементы (32) нижнего термического сопротивления, обеспечивающие ухудшенные условия теплопередачи, способствующие перегреву нижней части мембраны и соединенные друг с другом посредством сварки с образованием нижнего контактного зазора (33), способствующего блокированию теплообмена со стороны мембраны к барабану и способствующего перенаправлению тепловых потоков от мембраны к барабану через сварное соединение, которое перегревается и разрушается в результате этого процесса.

Мембрана (12) обеспечивает независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли (3) и аксиально-радиальные тепловые расширения многослойного корпуса (4), обеспечивает независимые перемещения фермы-консоли (3) и многослойного корпуса (4) при сейсмических и ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора.

Для сохранения мембраной (12) своих функций на начальной стадии поступления расплава активной зоны из корпуса (2) реактора в многослойный корпус (4) и связанного с этим повышения давления, мембрана (12) размещается в защищенном пространстве, образованном тепловой защитой (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) и тепловой защитой (15), подвешенной к ферме-консоли (3).

После начала поступления охлаждающей воды внутрь многослойного корпуса (4) на корку, находящуюся на поверхности расплава, мембрана (12) продолжает выполнение своих функций по герметизации внутреннего объема многослойного корпуса (4) и разделения внутренних и наружных сред. В режиме устойчивого водяного охлаждения наружной поверхности многослойного корпуса (4) мембрана (12) не разрушается, охлаждаясь водой с внешней стороны.

При отказе подачи охлаждающей воды внутрь многослойного корпуса (4) на корку происходит постепенное разрушение тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) и тепловой защиты (15), постепенно уменьшается зона перекрытия тепловых защит (15 и 6) до полного разрушения зоны перекрытия. С этого момента начинается воздействие теплового излучения на мембрану (12) со стороны зеркала расплава активной зоны. Мембрана (12) начинает нагреваться с внутренней стороны, однако, в связи с небольшой толщиной, лучистый тепловой поток не может обеспечить разрушение мембраны (12), если мембрана (12) находится под уровнем охлаждающей воды.

Для обеспечения разрушения мембраны (12) в условиях отказа подачи охлаждающей воды сверху на корку расплава активной зоны, мембрана (12) соединяется с нижней поверхностью фермы-консоли (3) с помощью элементов (13) термического сопротивления, соединенных друг с другом посредством сварки с образованием контактного зазора (14). Как показано на фиг. 8-10, в зоне стыковки мембраны (12) и нижней поверхностью фермы-консоли (3), по верхнему периметру, формируется карман (39), обеспечивающий ухудшение условий теплообмена со стороны мембраны (12) к воде, которые при наличии тепловой защиты (15) и тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), закрывающих мембрану (12) от теплового излучения со стороны зеркала расплава, обеспечивают охлаждение мембраны (12), но эти условия ухудшенного теплообмена не могут обеспечить эффективный теплоотвод при сильном нагреве лучистыми тепловыми потоками со стороны зеркала расплава при разрушении тепловых защит (15 и 6).

Расстояние от кармана (39) (от места стыковки мембраны (12) с фермой-консолью (3)) до зеркала расплава зависит от уровня охлаждающей воды, чем этот уровень выше, тем дальше находится карман (39) от плоскости теплового излучения зеркала расплава. Для того, чтобы снизить перегрев и разрушение оборудования, расположенного ниже положения кармана (39) выполнены две зоны стыковки мембраны (12) с фермой-консолью (3) и барабаном (34).

Первая зона стыковки - зона стыковки мембраны (12) и фермы-консоли (3) обращена к зеркалу расплава и непосредственно нагревается лучистыми тепловыми потоками. Эта зона стыковки имеет карман (39) для организации ухудшенного теплообмена и имеет элементы (13) верхнего термического сопротивления, которые уменьшают перетоки тепла от места стыковки мембраны (12) с фермой-консолью (3). Для этого между мембраной (12) и фермой-консолью (3) устанавливаются, например, дополнительные пластины (40), приварка которых осуществляется только по периметру друг к другу и к ферме-консоли (3). Мембрана (12), приваренная к дополнительной пластине (40), не может передать тепло на большой площади в связи с тем, что как между мембраной (12) и дополнительной пластиной (40), между самими дополнительными пластинами (40), так и между дополнительной пластиной (40) и фермой-консолью (3), существуют верхние контактные зазоры (14), обеспечивающие тепловое сопротивление передаче тепла в толстостенную ферму-консоль (3) (ферма-консоль является толстостенной по отношению к мембране - по способности аккумулировать и перераспределять полученное тепло).

Вторая зона стыковки - зона стыковки мембраны (12) и барабана (34) обращена к зеркалу расплава и непосредственно нагревается лучистыми тепловыми потоками, а сама зона стыковки выполнена с элементами (32) нижнего термического сопротивления, которые уменьшают перетоки тепла от места стыковки мембраны (12) с крышкой (37) барабана (34). Для этого между мембраной (12) и крышкой (37) устанавливаются, например, дополнительные пластины (40), приварка которых осуществляется только по периметру друг к другу и к крышке (37). Мембрана (12), приваренная к дополнительной пластине (40), не может передать тепло на большой площади в связи с тем, что как между мембраной (12) и дополнительной пластиной (40), между самими дополнительными пластинами (40), так и между дополнительной пластиной (40) и крышкой (37), существуют нижние контактные зазоры (33), обеспечивающие тепловое сопротивление передаче тепла в барабан (34), снаружи охлаждаемый водой, как и многослойный корпус (4).

Применение элементов (13) верхнего термического сопротивления с верхним контактным зазором (14) и элементов (32) нижнего термического сопротивления с нижним контактным зазором (33) позволяет снизить мощность лучистых тепловых потоков для обеспечения контролируемого разрушения мембраны (12), и, как следствие, снизить температуру внутри многослойного расплава (4), при этом уменьшается объем разрушения тепловых защит (15 и 6), уменьшаются деформации основного оборудования системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, обеспечивается необходимый запас прочности и повышается надежность.

Место разрушения мембраны (12) конструктивно проектируется в двух уровнях.

Первый уровень - в ее верхней части на границе с нижней плоскостью фермы-консоли (3) в зоне, формируемой выше или на уровне положения максимального уровня воды, находящейся вокруг многослойного корпуса (4) с внешней стороны, обеспечивая при разрушении мембраны (12) безнапорное поступление охлаждающей воды, пароводяной смеси или пара во внутреннее пространство многослойного корпуса (4) сверху на корку расплава в зоне, наиболее близко расположенной к внутренней поверхности многослойного корпуса (4).

Второй уровень - в нижней части мембраны (12) ниже положения максимального уровня воды, находящейся вокруг многослойного корпуса (4) с внешней стороны, обеспечивая при разрушении мембраны (12) безнапорное поступление охлаждающей воды или пароводяной смеси во внутреннее пространство многослойного корпуса (4) сверху на корку расплава в зоне, наиболее близко расположенной к внутренней поверхности многослойного корпуса (4).

В случае расположения уровня охлаждающей воды ниже максимального уровня, мембрана (12) разрушается в результате нагревания и деформирования. Этот процесс идет одновременно с разрушением тепловой защиты (15) и тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), разрушение и расплавление которых уменьшает затенение мембраны (12) от воздействия лучистых тепловых потоков со стороны зеркала расплава, увеличивая эффективную площадь воздействия теплового излучения на мембрану (12).

Процесс разогрева, деформации и разрушения мембраны (12) будет развиваться в следующей последовательности: на первой стадии перегрева мембраны (12) разрушение будет идти сверху вниз до тех пор, пока разрушение мембраны (12) не приведет к поступлению охлаждающей воды внутрь многослойного корпуса (4) на корку расплава, а при недостаточном охлаждении мембраны (12) при ее разрушении на первой стадии, процесс разрушения мембраны (12) переходит во вторую стадию, при которой дополнительно разрушается место соединения мембраны (12) и барабана (34), что приводит к встречному разрушению мембраны (12) - снизу вверх. Эти два процесса обеспечивают поступление воды внутрь многослойного корпуса (4) сверху на корку расплава.

Для обеспечения процесса разрушения мембраны (12) только сверху вниз или одновременно сверху вниз и снизу вверх, необходимо выполнение двух условий: первое - теплообмен с внешней поверхности мембраны (12) должен ухудшаться, иначе мембрана (12) не разрушится, и второе - необходимо иметь вертикально расположенные неоднородности, обеспечивающие образование трещин. Первое условие достигается применением выпуклой мембраны (12), например, полукруглой, обращенной в сторону охлаждающей воды или паровой смеси, в этом случае в зоне ухудшенного теплообмена оказываются две зоны: выше и ниже середины мембраны (12). Применение вогнутой мембраны такого эффекта не дает - в зоне ухудшенного теплообмена находится центр мембраны (12), что не позволяет разогреть зону крепления мембраны (12) к ферме-консоли (3) и к барабану (34) до разрушения. Второе условие достигается изготовлением мембраны (12) из вертикально ориентированных секторов (41), соединенных между собой сварными соединениями (42), которые обеспечивают вертикальные неоднородности, периодически расположенные по периметру мембраны (12), способствующие вертикальному разрушению. Геометрические характеристики мембраны (12) вместе со свойствами применяемых при изготовлении основных и сварочных материалов позволяют обеспечить направленное вертикальное разрушение мембраны (12) при воздействии лучистых тепловых потоков со стороны зеркала расплава. В результате, мембрана (12) не только герметизирует внутренний объем многослойного корпуса (4) от неконтролируемого поступления воды, охлаждающей наружную поверхность многослойного корпуса (4) при нормальной (штатной) подаче воды на поверхность расплава, но и защищает многослойный корпус (4) от перегрева при отказе подачи охлаждающей воды внутрь многослойного корпуса (4) на расплав.

Как показано на фиг. 1, 3, 4, внутри многослойного корпуса (4) установлена тепловая защита (15). Тепловая защита (15) подвешивается к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термочных крепежных изделий (19), устанавливаемых в теплоизолирующий фланец (18) с контактным межфланцевым зазором (29), расположенным между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли. Как показано на фиг. 1, 6, тепловая защита (15) устанавливается таким образом, что перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка (16) с пропускными отверстиями (17).

Как показано на фиг. 3, 4 конструктивно тепловая защита (15) состоит из теплоизолирующего фланца (18), соединяемого с фланцем фермы-консоли (3) посредством термочных крепежных изделий (19), внешней обечайки (21), внутренней обечайки (24), днища (22), вертикальных ребер (20). Пространство между внешней обечайкой (21), днищем (22) и внутренней обечайкой (24) заполнено плавящимся бетоном (26). Плавящийся бетон (26) обеспечивает поглощение теплового излучения со стороны зеркала расплава во всем диапазоне своего разогрева и фазового превращения из твердого состояния в жидкость. Кроме того, в состав тепловой защиты (15) входят вертикальные арматурные стержни (23), длинные радиальные арматурные стержни (25), а также короткие радиальные арматурные стержни (27), армирующие плавящийся бетон. Внешняя обечайка (21) выполнена таким образом, что ее прочность выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22).

Как показано на фиг. 6, кольцевая перемычка (16) с отверстиями (17) обеспечивает перекрытие щелевого зазора между тепловой защитой (6) фланца (5) многослойного корпуса (4) и тепловой защитой (15), и образует, своего рода, газодинамический демпфер, что позволяет обеспечить необходимое гидравлическое сопротивление при движении парогазовой смеси из внутреннего объема корпуса (2) реактора в пространство, расположенное за внешней поверхностью тепловой защиты (15), и снизить скорость роста давления на периферии, одновременно увеличивая время роста этого давления, что обеспечивает необходимое время для выравнивания давления внутри и снаружи многослойного корпуса (4). Наиболее активно движение парогазовой смеси происходит в момент разрушения корпуса ядерного реактора (2) на начальной стадии вытекания расплава активной зоны. Остаточное давление в корпусе ядерного реактора (2) воздействует на газовую смесь, находящуюся в многослойном корпусе (4), что приводит к росту давления и на периферии внутреннего объема многослойного корпуса (4).

Таким образом, применение барабана, мембраны, тепловой защиты в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора позволяет повысить надежность системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора эффективность отвода тепла от расплава активной зоны ядерного реактора за счет обеспечения герметизации многослойного корпуса от затопления водой, поступающей для охлаждения наружной поверхности многослойного корпуса, независимых радиально-азимутальных тепловых расширений фермы-консоли, независимых перемещений фермы-консоли и многослойного корпуса при сейсмических и ударных механических воздействиях на эле-

менты оборудования системы локализации и охлаждения расплава, наибольшего гидравлического сопротивления при движении парогазовой смеси из внутреннего объема многослойного корпуса в пространство, расположенное в зоне между многослойным корпусом и фермой-консолью.

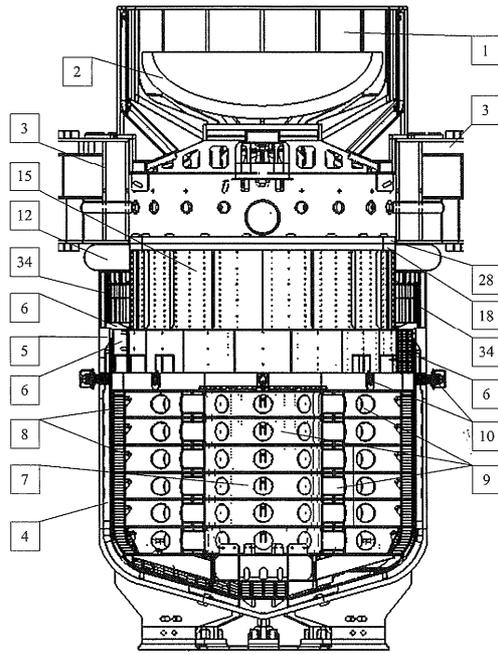
Источники информации.

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.

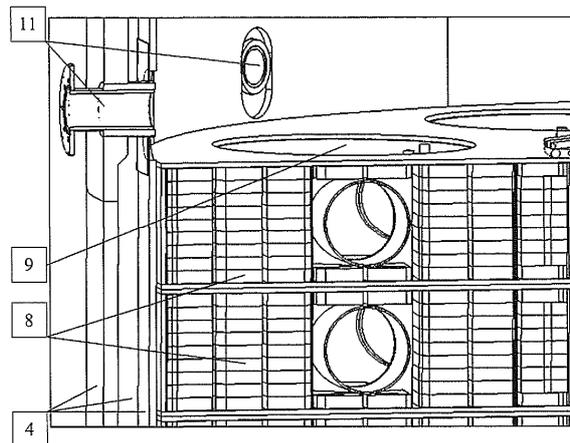
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. 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 на фланце (5) многослойного корпуса (4) установлен барабан (34), выполненный в форме обечайки (35) с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами (36), опирающимися на крышку (37) и днище (38), имеющий элементы (30) натяжения, соединяющие барабан (34) через приваренный к нему опорный фланец (31) с фланцем (5) многослойного корпуса (4), на барабане (34) установлена мембрана (12) выпуклой формы, выпуклая сторона которой обращена за пределы многослойного корпуса (4), при этом в верхней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли (3) выполнены элементы (13) верхнего термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием верхнего контактного зазора (14), в нижней части мембраны (12) выпуклой формы в зоне соединения с крышкой (37) барабана (34) выполнены элементы (32) нижнего термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием нижнего контактного зазора (33), внутри многослойного корпуса (4) дополнительно установлена тепловая защита (15), состоящая из внешней (21), внутренней (24) обечайки и днища (22), подвешенная к фланцу (28) фермы-консоли (3) посредством термочувствительных крепежных изделий (19), устанавливаемых в теплоизолирующий фланец (18) с контактным межфланцевым зазором (29), расположенным между теплоизолирующим фланцем (18) и фланцем (28) фермы-консоли, и перекрывающая верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка (16) с пропускными отверстиями (17), при этом внешняя обечайка (21) выполнена таким образом, что ее прочность выше прочности внутренней обечайки (24) и днища (22), а пространство между внешней обечайкой (21), днищем (22) и внутренней обечайкой (24) заполнено плавящимся бетоном (26), разделенным на сектора вертикальными ребрами (20) и удерживаемого вертикальными (23), длинными радиальными (25) и короткими радиальными (27) арматурными стержнями.

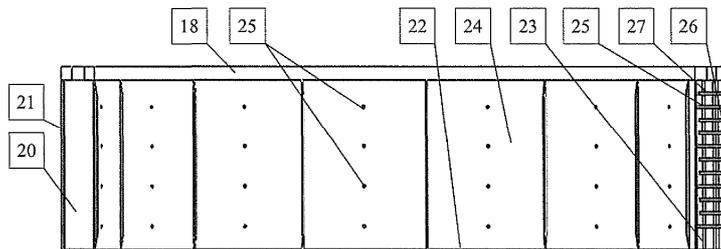
2. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что между мембраной (12) выпуклой формы и фермой-консолью (3) дополнительно устанавливаются пластины (42) только по периметру друг к другу и к ферме-консоли (3).



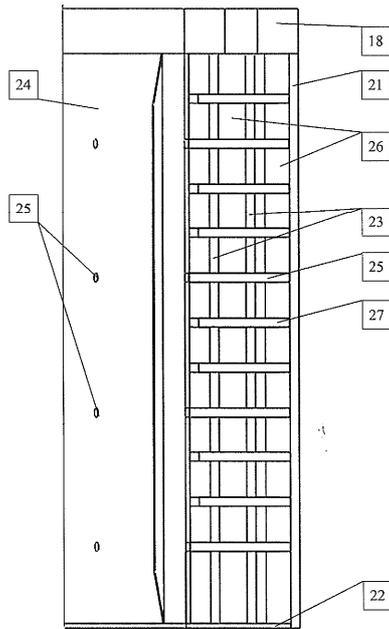
Фиг. 1



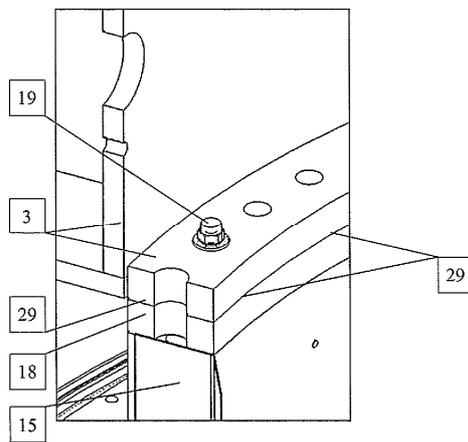
Фиг. 2



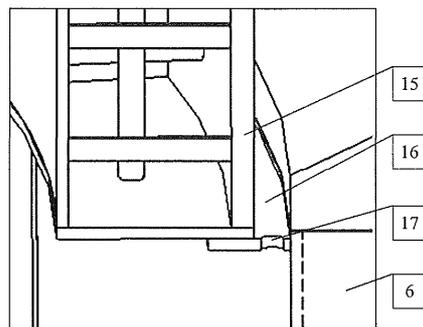
Фиг. 3



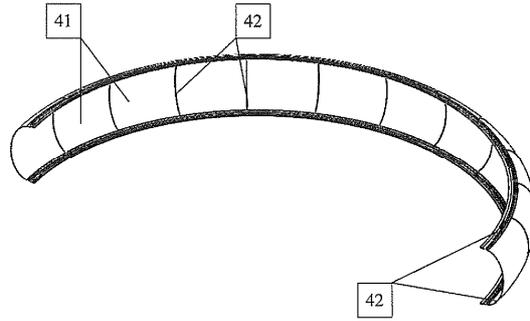
Фиг. 4



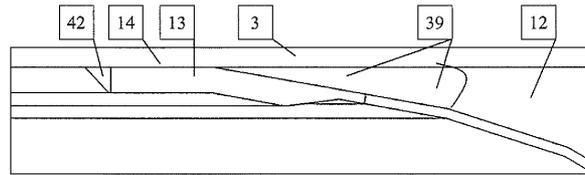
Фиг. 5



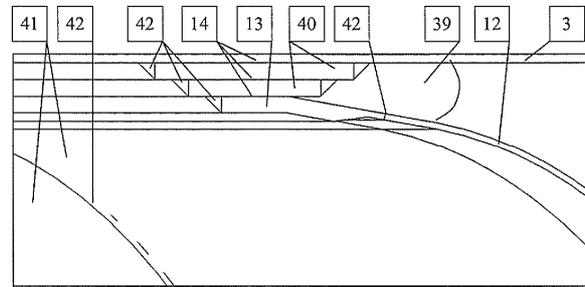
Фиг. 6



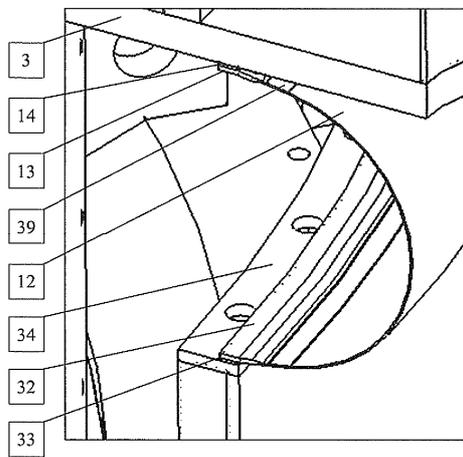
Фиг. 7



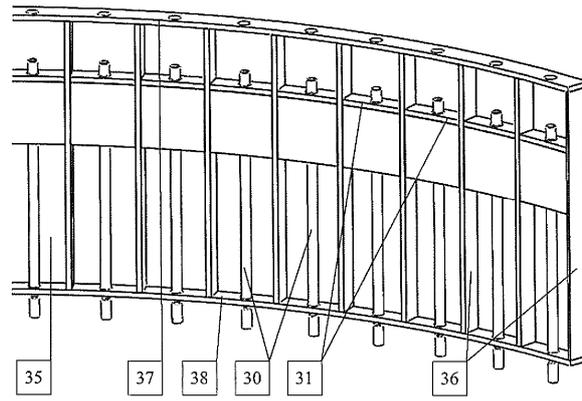
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
