

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044052**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.07.20

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

(21) Номер заявки
202193315

(22) Дата подачи заявки
2020.12.29

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

(31) **2020111695**

(32) **2020.03.20**

(33) **RU**

(43) **2023.04.25**

(86) **PCT/RU2020/000767**

(87) **WO 2021/188008 2021.09.23**

(56) **RU-C1-2576517
RU-C1-2576516
RU-C1-2700925
RU-C1-2696619
KR-A-1020170126361
CN-B-109273109
CN-B-105551540**

(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,
Дзбановская Татьяна Ярополковна,
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 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 мембраны и тепловой защиты, установленных в зоне между многослойным корпусом и фермой-консолью.

B1

044052

044052

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 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 объёма многослойного корпуса и внутри периферийных объёмов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, в этих объёмах 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 объёма многослойного корпуса и внутри периферийных объёмов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, в этих объёмах 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 объёма многослойного корпуса и внутри периферийных объёмов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, в этих объёмах 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 необходимого гидравлического сопротивления при движении парогазовой смеси из внутреннего объёма корпуса реактора в пространство, расположенное в зоне герметичного соединения многослойного корпуса с фермой-консолью.

Поставленные задачи решаются за счет того, что система 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, предназначенный для приема и распределения расплава, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, состоящий из нескольких установленных друг на друга кассет, 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, согласно изобретению дополнительно содержит мембрану выпуклой формы, установленную между фланцем многослойного корпуса и нижней поверхностью фермы-консоли таким образом, что выпуклая сторона обращена за пределы многослойного корпуса, при этом в верхней части мембраны выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли выполнены элементы термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием контактного зазора, внутри многослойного корпуса дополнительно установлена тепловая защита, содержащая внешнюю, внутреннюю обечайки и днище, подвешенная к ферме-консоли посредством термически разрушаемых крепежных изделий, установленных в теплопроводящий фланец тепловой защиты, и перекрывающая верхнюю часть тепловой защиты фланца многослойного корпуса, между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка с отверстиями, при этом внешняя обечайка выполнена таким образом, что её прочность выше прочности внутренней обечайки и днища, а на внешней обечайке нанесен слой плавящегося бетона, разделённого на сектора вертикальными ребрами и удерживаемого вертикальными, длинными радиальными и короткими радиальными арматурными стержнями.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембраны выпуклой формы, установленной между фланцем многослойного корпуса и нижней поверхностью фермы-консоли таким образом, что выпуклая сторона обращена за пределы многослойного корпуса, при этом в верхней части мембраны выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли выполнены элементы термического сопротивления, соединенные друг с другом посредством сварки с образованием контактного зазора. Такая конструкция 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 системы локализации и охлаждения расплава.

Ещё одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора 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 и со стороны газодинамических потоков из корпуса реактора в зону герметичного соединения многослойного корпуса с фермой-консолью.

Ещё одним существенным признаком заявленного изобретения является то, что в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора в зоне перекрытия тепловой защиты и тепловой защиты фланца многослойного корпуса установлена кольцевая перемычка с отверстиями, обеспечивающая перекрытие щелевого зазора между тепловой защитой фланца корпуса и тепловой защитой. 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.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1-9, система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора. Направляющая плита (1) опирается на ферму-консоль (3). Под фермой-консолью (3) в основании бетонной шахты расположен многослойный корпус (4), установленный на закладные детали и предназначенный для приема и распределения расплава. Фланец (5) многослойного корпуса (4) снабжен тепловой защитой (6). Внутри многослойного корпуса (4) размещен наполнитель (7). Наполнитель (7) состоит из нескольких установленных друг на друга кассет (8). Каждая из кассет (8) имеет одно центральное и несколько периферийных отверстий (9). По периметру многослойного корпуса (4) в его верхней части (в зоне между верхней кассетой (8) и фланцем (5)) расположены клапаны (10) подачи воды, установленные в патрубках (11). Между фланцем (5) многослойного корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) 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) термического сопротивления. Элементы (13) термического соединения соединены друг с другом посредством сварки с образованием контактного зазора (14). Внутри многослойного корпуса (4) установлена тепловая защита (15). Тепловая защита (15) состоит из внешней (21), внутренней (24) обечайки и днища (22). Тепловая защита (15) подвешивается к ферме-консоли (3) посредством термически разрушаемых крепежных изделий (19), которые устанавливаются в теплопроводящий фланец (18) тепловой защиты (15). Тепловая защита (15) устанавливается таким образом, что она перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка (16) с отверстиями (17). Внешняя обечайка (21) выполнена таким образом, что её 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) удерживается (скрепляется) посредством вертикальных (23), длинных радиальных (25) и коротких радиальных (27) арматурных стержней.

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 давления расплава и остаточного избыточного давления газа внутри корпуса (2) ядерного реактора 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 тепловой защиты (15). Частично разрушаясь, тепловая защита (15), с одной стороны, снижает тепловое воздействие расплава активной зоны на защищаемое оборудование, а с другой, уменьшает 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, 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 его экранирование 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.

Тепловая защита (15), как показано на фиг. 1 и 3, 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 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 образовавшийся в результате такого перекрытия щелевой зазор, препятствовал прямому ударному воздействию на зону герметичного соединения многослойного корпуса (4) с фермой-консолью (3) как со стороны движущегося расплава активной зоны, так и со стороны газодинамических потоков, выходящих из корпуса (2) реактора.

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 (2) реактора (2) на начальной стадии вытекания расплава активной зоны. Остаточное давление в корпусе реактора (2) воздействует на газовую смесь, находящуюся в многослойном корпусе (4), что приводит к росту давления и на периферии внутреннего объема многослойного корпуса (4).

Как показано на фиг. 4 и 5, конструктивно тепловая защита (15) состоит из теплоизолирующего фланца (18), соединяемого с фланцем фермы-консоли (3) посредством термически разрушаемых 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 всём 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 (26).

Как показано на фиг. 1 и 7, мембрана (12) выпуклой формы, установленная между фланцем (5) многослойного корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) в пространстве, расположенном за наружной поверхностью тепловой защиты (15), обеспечивает герметизацию многослойного корпуса (4) от затопления водой, поступающей для охлаждения его наружной поверхности.

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 актив-

ной 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.

Как показано на фиг. 8 и 9, 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). В зоне стыковки мембраны (12) и нижней поверхностью фермы-консоли (3), по верхнему периметру, формируется карман (28), 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).

Конструктивное расположение кармана (28) (положение места стыковки мембраны (12) с фермой-консолью (3) в радиальном и аксиальном направлениях) относительно положения уровня зеркала расплава зависит от положения максимального уровня воды, поступающей для охлаждения наружной поверхности многослойного корпуса (4), чем этот уровень выше, тем дальше находится карман (28) от положения уровня зеркала расплава (от плоскости теплового излучения).

В процессе разрушения тепловой защиты (15) лучистые тепловые потоки со стороны зеркала расплава начинают интенсивно воздействовать на оборудование, расположенное ниже положения кармана (28). При отсутствии охлаждения зеркала расплава необходимо снизить перегрев и разрушение оборудования, расположенного ниже положения кармана (28), для чего зона стыковки мембраны (12) и фермы-консоли (3) обращена к зеркалу расплава и непосредственно нагревается лучистыми тепловыми потоками, а сам карман (28) выполнен с элементами (13) термического сопротивления, которые уменьшают перетоки тепла от места стыковки мембраны (12) с фермой-консолью (3). Для этого между мембраной (12) и фермой-консолью (3), как показано на фиг. 9, устанавливаются, например, дополнительные пластины (29), приварка которых осуществляется только по периметру друг к другу и к ферме-консоли (3). Мембрана (12), приваренная к дополнительной пластине (29), не может передать тепло на большой площади в связи с тем, что как между мембраной (12) и дополнительной пластиной (29), между самими дополнительными пластинами (29), так и между дополнительной пластиной (29) и фермой-консолью (3), существуют 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). Применение элементов (13) термического сопротивления 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 формоизменения основного оборудования системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, обеспечивается необходимый запас прочности и повышается надёжность.

Место разрушения мембраны (12) конструктивно проектируется в её верхней части на границе с нижней плоскостью фермы-консоли (3) в зоне, формируемой на уровне расположения максимального уровня воды, находящейся вокруг многослойного корпуса (4) с внешней стороны, обеспечивая при разрушении мембраны (12) безнапорное поступление охлаждающей воды 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 идёт 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 сверху вниз до тех пор, пока разрушение мембраны (12) не приведёт к поступлению охлаждающей воды внутрь многослойного корпуса (4) на корку расплава.

В случае расположения уровня охлаждающей воды в зоне расположения максимального уровня, мембрана (12) нагревается следующим образом: сначала в кармане (28) происходит ухудшение теплообмена и развивается кризис кипения воды в кармане (28) с образованием перегретого парового пузыря, который препятствует отводу тепла от мембраны (12), затем происходит перегрев верхней части мембраны (12) в зоне расположения контактного зазора (14), а затем её деформирование и разрушение. В результате разрушения мембраны (12) охлаждающая вода через трещины начинает поступать внутрь многослойного корпуса (4) сверху на корку расплава.

Для обеспечения процесса разрушения мембраны (12) сверху вниз 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 пароводяной смеси, в этом случае в зоне ухудшенного теплообмена оказываются две зоны: выше и ниже середины мембраны (12). Применение вогнутой мембраны такого эффекта не даёт - в зоне ухудшенного теплообмена находится центр мембраны (12), что не позволяет разогреть зону крепления мембраны (12) к ферме-консоли (3) до разрушения. Второе условие достигается изготовлением мембраны (12) из вертикально ориентированных секторов (30), соединённых между собой сварными соединениями (31), как показано на фиг. 7, 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 объём 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.

Таким образом, применение мембраны (12) в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора позволило обеспечить герметизацию многослойного корпуса от затопления водой, поступающей для охлаждения наружной поверхности многослойного корпуса, независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли, независимые перемещения фермы-консоли и многослойного корпуса при сейсмических и ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава, а применение тепловой защиты (15) позволило обеспечить необходимое гидравлическое сопротивление при движении парогазовой смеси из внутреннего объёма корпуса реактора в пространство, расположенное в зоне герметичного соединения многослойного корпуса с фермой-консолью, что, в совокупности, позволило повысить надёжность системы в целом.

Источники информации

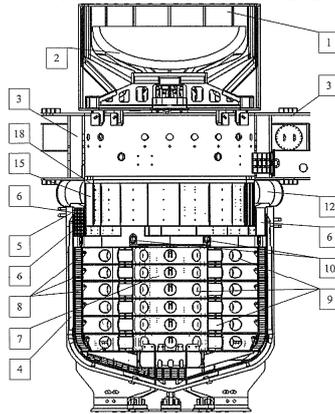
1. Патент РФ № 2576517, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.;
2. Патент РФ № 2576516, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.;
3. Патент РФ № 2696612, МПК G21C 9/016, приоритет от 26.12.2018 г.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

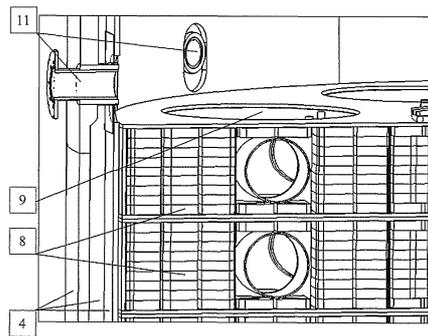
1. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора и опирающуюся на ферму-консоль (3), установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус (4), предназначенный для 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 дополнительно содержит мембрану (12) выпуклой формы, состоящую из вертикально ориентированных секторов (30), соединённых между собой сварными соединениями (31), установленную между фланцем (5) многослойного корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) таким образом, что выпуклая сторона 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) термического сопротивления, соединённые друг с другом посредством сварки с образованием контактного зазора (14), внутри многослойного корпуса (4) дополнительно установлена тепловая защита (15), содержащая внешнюю (21), внутреннюю (24) обечайки и днище (22), подвешенная к ферме-консоли (3) посредством термически разрушаемых кре-

пешных изделий (19), установленных в теплопроводящий фланец (18) тепловой защиты (15), и перекрывающая верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) многослойного корпуса (4), между которыми в зоне перекрытия установлена кольцевая перемычка (16) с отверстиями (17), при этом внешняя обечайка (21) тепловой защиты (15) выполнена таким образом, что её 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), разделённым на сектора вертикальными рёбрами (20) и удерживаемым вертикальными (23), длинными радиальными (25) и короткими радиальными (27) арматурными стержнями.

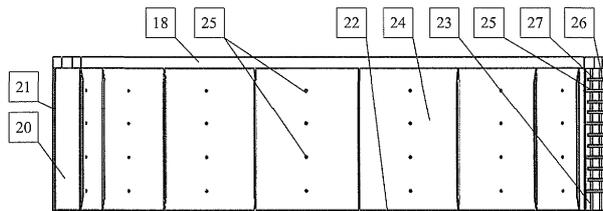
2. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что между мембраной (12) выпуклой формы и фермой-консолью (3) дополнительно устанавливаются пластины (29) только по периметру друг к другу и к ферме-консоли (3).



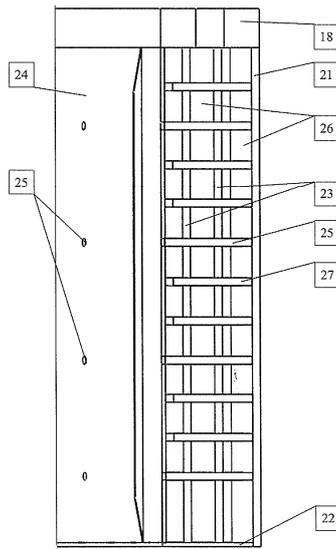
Фиг. 1



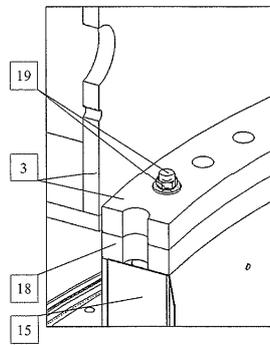
Фиг. 2



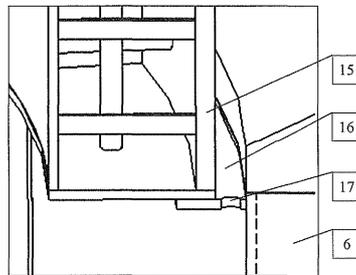
Фиг. 3



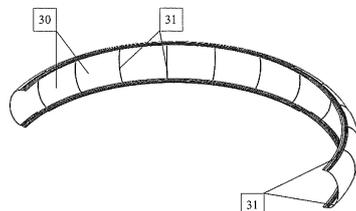
Фиг. 4



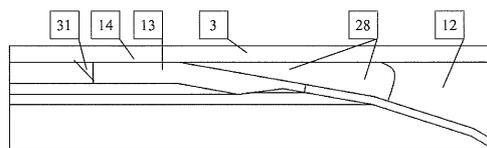
Фиг. 5



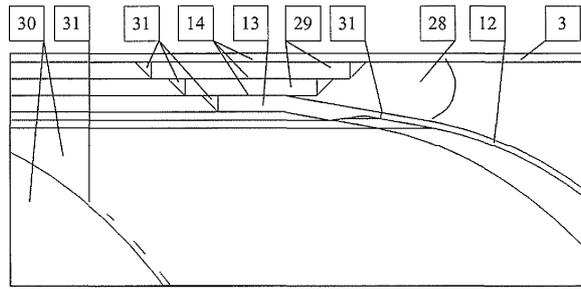
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

