

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044696**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.25

(51) Int. Cl. **G21C 9/016** (2006.01)
G21C 15/18 (2006.01)

(21) Номер заявки
202390121

(22) Дата подачи заявки
2021.11.09

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

(31) **2020136899**

(56) EA-B1-035408
RU-C1-2600552
RU-C1-2100853
EP-B1-928488
JP-A-2010261726

(32) **2020.11.10**

(33) **RU**

(43) **2023.07.05**

(86) **PCT/RU2021/000492**

(87) **WO 2022/103301 2022.05.19**

(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,
Сидорова Надежда Васильевна,
Дзбановская Татьяна Ярополковна,
Бадешко Ксения Константиновна
(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. Задачей изобретения является устранение разрушения системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса для приема и распределения расплава с фермой-консолью в условиях неосесимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса реактора в многослойный корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и, следовательно, исключение попадания охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенной для охлаждения его внешней стороны. Поставленная задача решается за счет того, что в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора дополнительно установлены тепловая защита, подвешенная к ферме-консоли, мембрана, установленная между фермой-консолью и корпусом, и бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней сторон мембраны.

044696 B1

044696 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 имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

при неосесимметричном истечении расплава из корпуса реактора (при боковом проплавлении корпуса) под действием внутреннего давления в корпусе реактора происходит секторное разрушение расплавом направляющей плиты, фермы-консоли и тепловых защит, а ударная волна газа, вытекающего вместе с расплавом активной зоны из корпуса реактора, распространяется внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, и воздействует на периферийное оборудование, что может привести к разрушению системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью, в результате чего произойдет поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы;

при падении обломков днища корпуса реактора или при падении остатков расплава активной зоны из корпуса реактора в многослойный корпус на начальной стадии водяного охлаждения зеркала расплава происходит ударное повышение давления, действующее на периферийное оборудование, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью и поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы.

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 имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

при неосесимметричном истечении расплава из корпуса реактора (при боковом проплавлении корпуса) под действием внутреннего давления в корпусе реактора происходит секторное разрушение расплавом направляющей плиты, фермы-консоли и тепловых защит, а ударная волна газа, вытекающего вместе с расплавом активной зоны из корпуса реактора, распространяется внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, и воздействует на периферийное оборудование, что может привести к разрушению системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью, в результате чего произойдет поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы;

при падении обломков днища корпуса реактора или при падении остатков расплава активной зоны из корпуса реактора в многослойный корпус на начальной стадии водяного охлаждения зеркала расплава происходит ударное повышение давления, действующее на периферийное оборудование, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью и поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы.

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.

Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

при неосесимметричном истечении расплава из корпуса реактора (при боковом проплавлении корпуса) под действием внутреннего давления в корпусе реактора происходит секторное разрушение расплавом направляющей плиты, фермы-консоли и тепловых защит, а ударная волна газа, вытекающего вместе с расплавом активной зоны из корпуса реактора, распространяется внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой-консолью, и воздействует на периферийное оборудование, что может привести к разрушению системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью, в результате чего произойдет поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы;

при падении обломков днища корпуса реактора или при падении остатков расплава активной зоны из корпуса реактора в многослойный корпус на начальной стадии водяного охлаждения зеркала расплава происходит ударное повышение давления, действующее на периферийное оборудование, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью и поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы.

Раскрытие изобретения

Технический результат заявленного изобретения заключается в повышении надежности системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора.

Задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является устранение разрушения системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса с фермой-консолью в условиях неосесимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса реактора в корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и следовательно, исключение попадания охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенной для охлаждения его внешней стороны.

Поставленная задача решается за счет того, что система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму-консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, согласно изобретению, дополнительно содержит тепловую защиту, подвешенную к фланцу фермы-консоли, мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса соответственно, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембраны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембраны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембраны.

Дополнительно, в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно изобретению, верхние концы бандажных пластин закреплены к верхнему фланцу мембраны посредством сварных соединений.

Дополнительно, в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно изобретению, в нижних концах бандажных пластин и нижнем фланце мембраны выполнено отверстие, в котором установлен элемент закрепления, снабженный регулировочной гайкой и ограничителем.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора тепловой защиты, подвешенной к фланцу фермы-консоли, что позволяет устранить прямое ударное воздействие со стороны расплава активной зоны и со стороны газодинамических потоков, вытекающих из корпуса реактора и воздействующих на зону соединения корпуса с фермой-консолью.

Ещё одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе мембраны выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса соответственно, бандажных пластин, установленных с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембраны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембраны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембраны. Такое размещение мембраны позволяет обеспечить независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли, независимые перемещения фермы-консоли и корпуса при ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава, аксиально-радиальные тепловые расширения корпуса, и следовательно, исключить попадание охлажда-

дающей воды внутрь корпуса, предназначенной для охлаждения его внешней стороны. Бандажные пластины, в свою очередь, позволяют сохранить целостность мембраны при воздействии ударной волны со стороны корпуса реактора при его разрушении, а также сохранить целостность мембраны при воздействии ударной волны, образующейся на начальной стадии охлаждения водой зеркала расплава при падении в расплав обломков днища корпуса реактора или остатков расплава активной зоны.

Краткое описание фигур

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

На фиг. 2 изображена мембрана, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 3 изображена мембрана с установленными бандажными пластинами.

На фиг. 4 изображено крепление, обеспечивающее перемещение бандажных пластин и регулирование зазоров между бандажными пластинами и мембраной.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1-4, система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора состоит из направляющей плиты (1), которая устанавливается под корпусом (2) ядерного реактора. Направляющая плита (1) опирается на ферму-консоль (3). Под фермой-консолью (3) в основании бетонной шахты расположен корпус (4), установленный на закладные детали. Фланец (5) корпуса (4) снабжен тепловой защитой (6). Внутри корпуса (4) размещен наполнитель (7), предназначенный для приема и распределения расплава. По периметру корпуса (4) в его верхней части (в зоне между наполнителем (7) и фланцем (5)) в патрубках установлены клапаны (8) подачи воды. Между фланцем (5) многослойного корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) установлена мембрана (11) выпуклой формы. Выпуклая сторона мембраны (11) обращена за пределы корпуса (4). По обеим сторонам мембраны (11) установлены бандажные пластины (18), (19). Верхние концы бандажных пластин (18), (19) жестко закреплены к верхнему фланцу (14) мембраны (11), например, с помощью сварных соединений (20), а нижние концы бандажных пластин (18), (19) закреплены к нижнему фланцу (15) мембраны (11) с возможностью продольного и вертикального перемещения относительно нижнего фланца (15) мембраны (11). Закрепление бандажных пластин (18), (19) к нижнему фланцу (15) мембраны (11) выполняется посредством элементов (21), (22) закрепления, которые обеспечивают продольное и вертикальное перемещение бандажных пластин (18), (19) относительно нижнего фланца (15) мембраны (11), а также регулирование зазоров между бандажными пластинами (18), (19) и мембраной (11). Элементы (21), (22) закрепления установлены таким образом, что позволяют сформировать страховочные бандажные зазоры (24), (25). Внутри корпуса (4) установлена тепловая защита (9). Тепловая защита (9) подвешивается к фланцу (10) фермы-консоли (3). Подвешивание может быть выполнено, например, посредством термopочных крепежных изделий. Тепловая защита (9) устанавливается таким образом, что перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4).

Заявленная система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора 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 корпус (4) и входит контакт с наполнителем (7). При секторном неосесимметричном стекании расплава происходит подплавление тепловой защиты (9). Частично разрушаясь, тепловая защита (9), 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) 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) корпуса (4) устанавливается таким образом, что позволяет обеспечить защиту внутренней поверхности корпуса (4) выше уровня расплава активной зоны, образующегося в корпусе (4) в процессе взаимодействия с наполнителем (7), именно, той верхней части корпуса (4), которая имеет большую толщину по сравнению с цилиндрической частью 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 корпуса (4).

В процессе взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7) тепловая защита (6) фланца (5) корпуса (4) подвергается разогреву и частичному разрушению, экранируя тепловое излучение со стороны зеркала расплава. Геометрические и теплофизические характеристики тепловой защиты (6) фланца (5) 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) корпуса (4) позволяет

обеспечить выполнение защитных функций до начала подачи воды на корку, расположенную на поверхности расплава активной зоны.

Тепловая защита (9), подвешенная к ферме-консоли (3) выше верхнего уровня тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), своей нижней частью закрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) 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) корпуса (4). Геометрические характеристики, такие как расстояние между наружной поверхностью тепловой защиты (9) и внутренней поверхностью тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), а также высота перекрытия указанных тепловых защит (9) и (6) выбраны таким образом, чтобы образовавшийся в результате такого перекрытия щелевой зазор, препятствовал прямому ударному воздействию на зону герметичного соединения корпуса (4) с фермой-консолью (3) как со стороны движущегося расплава активной зоны, так и со стороны газодинамических потоков, выходящих из корпуса (2) реактора.

Конструктивно, тепловая защита (9) может быть выполнена из различных элементов, например, обечаек, стержней, листов и других элементов, позволяющих создать кольцевую конструкцию, обеспечивающую защиту от воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны.

Как показано на фиг. 1 и 2, мембрана (11) выпуклой формы состоит из вертикально ориентированных секторов (12), которые соединены друг с другом посредством сварных соединений (13). Мембрана (11) установлена между фланцем (5) корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) в пространстве, расположенном за наружной поверхностью тепловой защиты (9) и обеспечивает герметизацию корпуса (4) от затопления водой, поступающей для охлаждения его внешней поверхности.

Кроме того, мембрана (11) обеспечивает независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли (3) и аксиально-радиальные тепловые расширения корпуса (4), обеспечивает независимые перемещения фермы-консоли (3) и корпуса (4) при ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора.

Для сохранения мембраной (11) своих функций на начальной стадии поступления расплава активной зоны из корпуса (2) реактора в корпус (4) и связанного с этим повышением давления, мембрана (11) размещается в защищенном пространстве, образованном тепловой защитой (6) фланца (5) корпуса (4) и тепловой защитой (9), подвешенной к ферме-консоли (3).

До начала подачи охлаждающей воды внутрь корпуса (4) на корку происходит постепенное разрушение тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4) и тепловой защиты (9), постепенно уменьшается зона перекрытия тепловых защит (6), (9) до полного разрушения зоны перекрытия. С этого момента начинается воздействие теплового излучения на мембрану (11) со стороны зеркала расплава активной зоны. Мембрана (11) начинает нагреваться с внутренней стороны, однако, в связи с небольшой толщиной, лучистый тепловой поток не может обеспечить разрушение мембраны (11), если мембрана (11) находится под уровнем охлаждающей воды. В этот же период происходит дополнительный разогрев направляющей плиты (1) и удерживаемого ею днища корпуса (2) реактора с остатками расплава активной зоны. После начала поступления охлаждающей воды внутрь корпуса (4) из клапанов (8) подачи воды на корку, находящуюся на поверхности расплава, мембрана (11) продолжает выполнять свои функции по герметизации внутреннего объема корпуса (4) и разделения внутренних и наружных сред. В режиме устойчивого водяного охлаждения наружной поверхности корпуса (4) мембрана (11) не разрушается, охлаждаясь водой с внешней стороны. Однако состояние днища корпуса (2) реактора и находящегося внутри него небольшого количества расплава активной зоны может измениться, что может привести к падению обломков днища корпуса (2) реактора с остатками расплава внутрь корпуса (4), что приведёт к динамическому воздействию расплава на тепловую защиту (6) фланца (5) корпуса (4) и на сам фланец (5), и приведёт к подъёму давления в результате взаимодействия расплава с водой.

Взаимодействие расплава с водой возможно в условиях, при которых прочная корка на поверхности зеркала расплава ещё не сформировалась, а на днище корпуса (2) реактора находятся остатки расплава активной зоны (который ещё не успел застыть в результате начавшегося парового охлаждения), что возможно только в небольшой промежуток времени, не более 30 минут, при практическом отсутствии стабильного слоя воды на поверхности шлаковой шапки, закрывающей поверхность тонкой корки над зеркалом расплава, в самом начале водяного охлаждения зеркала расплава. В этих условиях, весь объем охлаждающей воды, поступающей сверху на шлаковую шапку, испаряется, охлаждая вышерасположенные конструкции. В тот момент, когда начинается накопление воды на шлаковой шапке, то есть расход воды на испарение начинает отставать от поступления воды внутрь корпуса (4), корка на поверхности расплава начинает быстро расти. Рост корки происходит неравномерно: наиболее толстая корка образуется около внутренней поверхности корпуса (4), а тонкая корка формируется на поверхности зеркала расплава в центральной части корпуса (4). В этих условиях падение обломков днища корпуса (2) реактора может пробить тонкую корку, а расплав, выброшенный в результате удара на поверхность корки может прореагировать с водой, создав ударную волну, либо обрушение элементов днища корпуса (2) реактора не произойдёт, но остатки расплава выльются на корку расплава, покрытую водой, что также может привести к образованию ударной волны вследствие парового взрыва.

Как показано на фиг. 3, для защиты мембраны (11) от разрушения при подъёме давления внутри

корпуса (4) с внешней и внутренней стороны мембраны (11) установлены внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19), обеспечивающие фиксированное изменение геометрических характеристик мембраны (11) в пределах внешнего и внутреннего зазоров (24), (25). В связи с тем, что ударная волна при подъёме давления относительно оси корпуса (4) распространяется неосесимметрично, а зазор (разрыв в результате разрушения или проплавления) между разрушенными тепловой защитой (9) и тепловой защитой (6) фланца (5) корпуса (4) в азимутальном направлении изменяется произвольно (например, по площади, по глубине, по структуре), то воздействие ударной волны на мембрану (11) будет содержать как прямые, так и обратные волны давления, чему противостоят внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19), соответственно. Для того, чтобы существенно уменьшить пучности в мембране (11) при воздействии прямых и обратных волн давления, внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) располагаются симметрично с каждой стороны мембраны (11), препятствуя развитию колебательных процессов и резонансных явлений в мембране (11).

Особенностью движения ударной волны является её направление снизу вверх. В этих условиях первыми ударную нагрузку принимают нижний фланец (15) мембраны (11), нижняя часть мембраны (11) и нижние части внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19). Формоизменение мембраны (11) увеличивается снизу вверх. Для предотвращения разрушения мембраны (11) верхние концы внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) неподвижно крепятся, например, сварными соединениями (20), к верхнему фланцу (14) мембраны (11) с фиксированными внешним и внутренним страховочными зазорами (24), (25), что обеспечивает уменьшение амплитуды формоизменений мембраны (11) при движении ударной волны снизу вверх.

При поступлении расплава активной зоны в наполнитель (7) корпус (4) постепенно нагревается, оказывая сжимающее давление на мембрану (11). Для того чтобы мембрана (11) могла выполнять свои компенсаторные функции, необходимо обеспечить независимое аксиально-радиальное движение мембраны (11) от движения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19). Требование независимости движений связано со значительной разницей в жёсткости мембраны (11) и жёсткости внешней и внутренней бандажных пластин (18), (19), что обусловлено необходимостью защиты мембраны (11) от воздействия ударных волн. Практическая независимость движений достигается, например, установкой внешних и внутренних элементов (21), (22) закрепления, обеспечивающих свободное перемещение внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) на нижнем фланце (15) мембраны (11) с внешним и внутренним страховочными бандажными зазорами (24), (25).

Страховочные бандажные зазоры (24), (25) обеспечивают свободные перемещения мембраны (11) при термических расширениях корпуса (4) и фермы-консоли (3), механические перемещения мембраны (11) при мембранных колебаниях фермы-консоли (3) и азимутально-радиальных колебаниях фланца (5) корпуса (4), блокирование радиальных знакопеременных перемещений мембраны (11) при воздействии ударной волны со стороны корпуса (2) реактора при разрушении расплавом днища корпуса реактора, блокирование радиальных знакопеременных перемещений мембраны (11) при воздействии ударной волны, образующейся на начальной стадии охлаждения зеркала расплава при падении в корпус (4) обломков днища корпуса (2) реактора или остатков расплава активной зоны.

Как показано на фиг. 4, диапазон перемещения нижних концов бандажных пластин ограничивается наличием в элементах (21), (22) закрепления ограничителей (26) перемещения регулировочных гаек (27), (28). Ограничители (26) обеспечивают фиксацию регулировочных гаек (27), (28) при их откручивании в процессе установки в проектное положение регулировочных зазоров (29), (30) между регулировочными гайками (27), (28) и бандажными пластинами (18), (19). Фиксированные регулировочные зазоры (29), (30) обеспечивают возможность мембране (11) двигаться независимо от бандажных пластин (18), (19) в зоне допустимых механических и тепловых перемещений. В случае выхода перемещений мембраны за допустимые значения, например, при воздействии прямой ударной волны, внешние бандажные пластины (18) полностью выбирают регулировочный зазор (29), двигаясь вдоль внешних элементов закрепления (21), и упираются во внешнюю регулировочную гайку (27), а мембрана (11), выбрав внешний страховочный бандажный зазор (24), упирается в внешние бандажные пластины (18), предохраняющие её от разрушения. При воздействии на мембрану (11) обратной ударной волны, внутренние бандажные пластины (19) полностью выбирают регулировочный зазор (29), двигаясь вдоль внутренних элементов закрепления (22), и упираются во внутреннюю регулировочную гайку (28), а мембрана (11), выбрав внутренний страховочный бандажный зазор (25), упирается в внутренние бандажные пластины (19), предохраняющие её от разрушения.

При выполнении транспортно-технологических операций внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) жёстко зафиксированы внешними и внутренними регулировочными гайками (27), (28) для исключения повреждения мембраны (11), а при установке в проектное положение внешние и внутренние регулировочные гайки (27), (28) откручиваются до упора в ограничители (26). При этом образуются внешний и внутренний регулировочные зазоры (29), (30) обеспечивающие свободное перемещение нижнего фланца (15) мембраны (11) вверх при тепловых расширениях корпуса (4) за счёт скольжения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) по нижнему фланцу (15) мембраны (11).

При воздействии на мембрану (11) ударной волны необходимо обеспечить надёжное крепление

мембраны (11) к ферме-консоли (3) и к корпусу (4). С этой целью верхний фланец (14) установлен на верхнем теплопроводящем элементе (16), закреплённом на ферме-консоли (3), с которой верхний фланец (14) и верхний теплопроводящий элемент (16) образуют, своего рода, карман (23) (изображен на фиг. 3), обеспечивающий эффективный теплообмен с внешней средой (охлаждающей водой или пароводяной смесью). Карман (23) для конвективного теплообмена необходим верхнему фланцу (14) и верхнему теплопроводящему элементу (16) для защиты от перегрева до начала охлаждения зеркала расплава, что позволяет этим элементам сохранить прочностные характеристики для противодействия ударным нагрузкам.

В нижней части мембраны (11) отвод тепла осуществляется от нижнего фланца (15) и от нижнего теплопроводящего элемента (17), обеспечивая отвод тепла от внутренних элементов (22) закрепления внутренних бандажных пластин (19).

Таким образом, применение в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора тепловой защиты, установленной в зоне фермы-консоли и тепловой защиты фланца корпуса, а также мембраны с бандажными пластинами позволило повысить её надежность за счет устранения разрушения системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса с фермой-консолью в условиях неосесимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса реактора в корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и следовательно, исключения попадания охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенной для охлаждения его внешней стороны.

Источники информации:

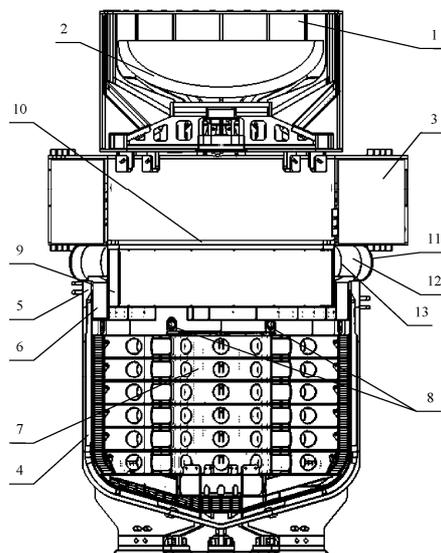
1. Патент РФ № 2575878, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.
2. Патент РФ № 2576516, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.
3. Патент РФ № 2576517, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

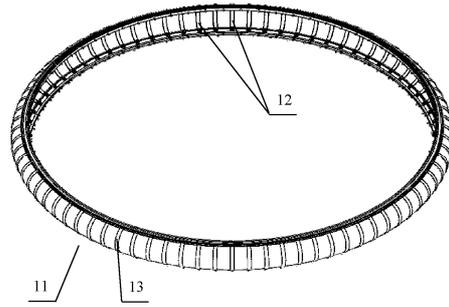
1. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму-консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, отличающаяся тем, что дополнительно содержит тепловую защиту, подвешенную к фланцу фермы-консоли, мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса соответственно, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембраны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембраны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембраны.

2. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что верхние концы бандажных пластин закреплены к верхнему фланцу мембраны посредством сварных соединений.

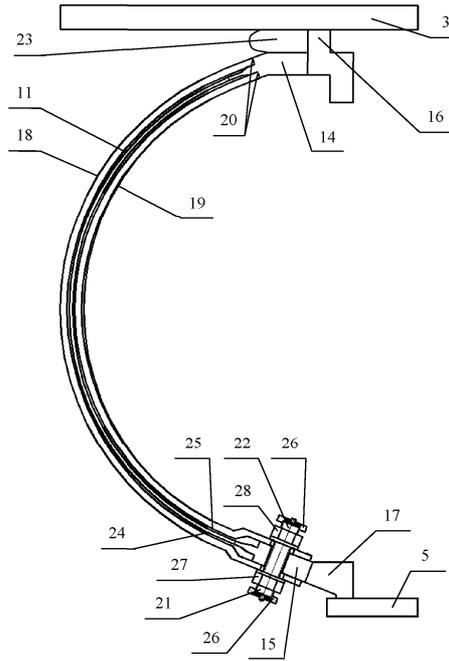
3. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что в нижних концах бандажных пластин и нижнем фланце мембраны выполнено отверстие, в котором установлен элемент закрепления, снабженный регулировочной гайкой и ограничителем.



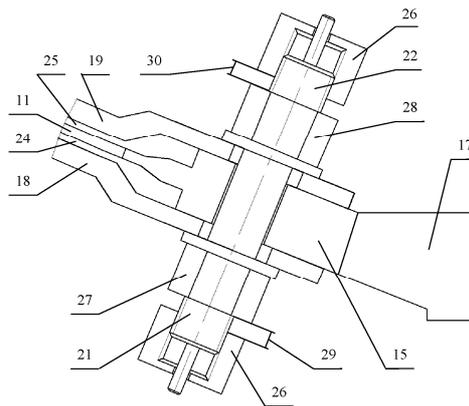
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

