

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044620**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.15

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

(21) Номер заявки
202390123

(22) Дата подачи заявки
2021.11.09

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

(31) **2020136905**

(56) **RU-C1-2575878**

(32) **2020.11.10**

RU-C1-2576516

(33) **RU**

RU-C1-2696619

(43) **2023.07.07**

RU-C1-2696004

(86) **PCT/RU2021/000493**

CN-B-105551541

(87) **WO 2022/103302 2022.05.19**

WO-A1-2018062919

(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. Технический результат заявленного изобретения заключается в повышении надежности системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора. Технический результат достигается за счет применения в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембраны, установленной между фермой-консолью и корпусом, бандажных пластин, установленных с внешней и внутренней стороны мембраны, гидрогазодинамического демпфера, установленного с внутренней стороны мембраны, что позволяет устранить разрушение в зоне герметичного соединения многослойного 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.

B1

044620

044620

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, и 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, и 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, и 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 и корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, согласно изобретению дополнительно содержит мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами соответственно, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние и нижние концы жестко закреплены к верхнему и нижнему фланцам мембраны, и гидрогазомеханический демпфер, состоящий из внешней и внутренней секторных обечаек, верхний конец которых соединен с верхним теплопроводящим элементом, а нижний конец соединен с фланцем корпуса и нижним теплопроводящим элементом.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембраны выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса, снабженной бандажными пластинами, установленными с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние и нижние концы жестко закреплены к верхнему и нижнему фланцам с помощью сварных соединений, что 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 охлаждающей 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 воды зеркала расплава при падении в расплав обломков днища корпуса реактора или остатков расплава активной зоны.

Еще одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора гидрогазомеханического демпфера, состоящего из внешней и внутренней секторных обечаек, верхний конец которых соединен с верхним теплопроводящим элементом, а нижний конец соединен с фланцем и нижним теплопроводящим элементом, что позволяет исключить прямое ударное воздействие со стороны расплава активной зоны и со стороны газодинамических потоков из корпуса реактора на зону герметичного соединения корпуса с фермой-

консолью. Гидрогазомеханический двухсторонний демпфер по своим функциональным возможностям позволяет обеспечить необходимое гидродинамическое сопротивление при движении парогазовой смеси из внутреннего объема корпуса реактора в пространство, расположенное за внешней поверхностью гидрогазомеханического двухстороннего демпфера - за внешней секторной обечайкой - и ограниченное внутренней поверхностью мембраны, что, в свою очередь, позволяет снизить скорость роста давления на внутреннюю поверхность мембраны, одновременно увеличивая время роста этого давления. Таким образом, гидрогазомеханический двухсторонний демпфер позволяет увеличить время, необходимое для выравнивания давления внутри и снаружи корпуса, что позволяет снизить максимальную величину этого давления, сохраняя целостность (прочность и плотность) мембраны.

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению верхний конец гидрогазомеханического демпфера соединен с верхним теплопроводящим элементом посредством верхних элементов закрепления, а нижний конец соединен через упор с нижним теплопроводящим элементом посредством нижних элементов закрепления.

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению верхний конец гидрогазомеханического демпфера жестко соединен с верхним теплопроводящим элементом посредством сварного соединения, а нижний конец соединен через упор с фланцем корпуса посредством нижних элементов закрепления. При этом нижние элементы закрепления могут быть дополнительно снабжены фиксатором страховочного упора.

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

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению в секторах внешней и внутренней секторных обечаек гидрогазомеханического демпфера в местах креплений выполнены отверстия.

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению секторы внешней и внутренней секторных обечаек установлены с секторными зазорами.

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению внешняя и внутренняя секторные обечайки гидрогазодинамического демпфера установлены с радиальным зазором относительно друг друга.

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению между внешней и внутренней секторными обечайками гидрогазодинамического демпфера установлена промежуточная секторная обечайка.

Дополнительно в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора согласно изобретению количество промежуточных секторных обечаек гидрогазодинамического демпфера может быть выбрано в количестве от 2 до 4 штук.

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 мембрана с гидрогазомеханическим демпфером, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 3 изображена мембрана с гидрогазомеханическим демпфером, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 4 изображена мембрана с гидрогазомеханическим демпфером, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 5 изображена мембрана с гидрогазомеханическим демпфером, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 6 изображено крепление мембраны, выполненное в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 7 изображено крепление гидрогазодинамического демпфера, выполненное в соответствии с заявленным изобретением.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1-7, система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора содержит направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора. Направляющая плита (1) опирается на ферму-консоль (3). Под фермой-консолью (3) в основании бетонной шахты расположен корпус (4). Фланец (5) корпуса (4) снабжен тепловой защитой (6). Внутри корпуса (4) размещен наполнитель (7), предназначенный для приема и распределения расплава. Наполнитель (7), например, может состоять из кассет (9) с выполненными в них различного рода отверстиями (10). По периметру корпуса (4) в его верхней части в зоне между наполнителем (7) и фланцем (5) корпуса (4) расположены клапаны (8) подачи воды, установленные в патрубки. Между фланцем (5) корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) установлена мембрана (11) выпуклой формы, состоящая из вертикально ориентированных секторов (12), соединенных сварными соединениями (13). Выпуклая сторона мембраны (11) обращена за пределы корпуса (4). В верхней части мембраны (11) выпуклой формы в зоне

соединения с нижней частью фермы-консоли (3) выполнен своего рода карман (23) конвективного теплообмена с верхним теплопроводящим элементом (16), соединенным с верхним фланцем (14) мембраны (11), а в нижней части мембраны (11) выполнен нижний теплопроводящий элемент (17), соединенный с нижним фланцем (15) мембраны (11).

Вдоль внешней поверхности мембраны (11) установлены внешние бандажные пластины (18) с внешними элементами (21) закрепления, обеспечивающими внешний страховочный бандажный зазор (24), а вдоль внутренней поверхности мембраны (11) установлены внутренние бандажные пластины (19) с внутренними элементами (22) закрепления, обеспечивающими внутренний страховочный бандажный зазор (25).

Внешняя и внутренняя бандажные пластины (18, 19) с одной стороны жестко закреплены к верхнему фланцу (14) мембраны (11) с помощью сварных соединений (20), а с другой стороны к нижнему фланцу (15) мембраны (11) выполнено плавающее закрепление внешними и внутренними элементами (21, 22) закрепления, регулирующими внешний и внутренний страховочные бандажные зазоры (24, 25), перемещение которых ограничено ограничителями (26).

С внутренней стороны мембраны (11) на верхний и нижний фланцы (14, 15) дополнительно установлен гидрогазомеханический двухсторонний демпфер (31), состоящий из внешней и внутренней секторных обечаек (32, 33), подвешенных к верхнему и нижнему фланцам (14, 15) мембраны (11) посредством верхних и нижних секторных элементов (34, 35) закрепления. Секторы внешней и внутренней секторных обечаек (32, 33) установлены с секторными зазорами (36), обеспечивающими независимую работу каждого сектора при ударном воздействии. Внешняя и внутренняя секторные обечайки (32, 33) относительно друг друга установлены с радиальным зазором (37), обеспечивающим независимую работу каждой обечайки при небольших температурных возмущениях и совместную работу при ударном воздействии на них. При термическом расширении корпуса (4) мембрана (11) начинает сжиматься в аксиальном направлении. Для обеспечения свободного механического хода мембраны (11) внешняя и внутренняя секторные обечайки (32, 33), а также промежуточные секторные обечайки (39) гидрогазомеханического двухстороннего демпфера (31) выполнены со свободным ходом, который обеспечивается верхними секторными элементами (34) закрепления, имеющими регулировочные зазоры (44), выставаемые регулировочными гайками (43), ход которых контролируется ограничителями (42).

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 при повышенном давлении в корпусе реактора (2) происходит секторное разрушение направляющей плиты (1) и секторное разрушение фермы-консоли (3), в результате чего повышенное давление из корпуса реактора (2) непосредственно воздействует сначала на гидрогазомеханический демпфер (31), а затем на мембрану (11).

Как показано на фиг. 3-5, гидрогазомеханический демпфер (31), установленный перед мембраной (11) с внутренней стороны, принимает на себя прямое ударное воздействие от фрагментов расплава активной зоны и от газодинамических потоков, движущихся из корпуса реактора (2) в зону герметичного соединения корпуса (4) с фермой-консолью (3). Гидрогазомеханический демпфер (31) по своим функциональным возможностям позволяет обеспечить необходимое гидродинамическое сопротивление при движении парогазовой смеси из внутреннего объема корпуса реактора (2) в пространство, расположенное за внешней поверхностью гидрогазомеханического демпфера (31), и снизить скорость роста давления на периферии, одновременно увеличивая время роста этого давления, что обеспечивает необходимое время для выравнивания давления внутри и снаружи корпуса (4) и уменьшение динамических нагрузок на мембрану (11).

Гидрогазомеханический демпфер (31) своей нижней частью закрывает внутренние элементы (22) закрепления внутренних бандажных пластин (19) к нижнему фланцу (15) мембраны (11), а своей верхней частью закрывает сварные соединения (20) внутренних бандажных пластин (19) с верхним фланцем (14) мембраны (11), обеспечивая защиту мембраны (11) от воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны. Геометрические характеристики, такие как толщина внешней и внутренней секторных обечаек (32, 33), толщины дополнительных промежуточных секторных обечаек (39), размеры радиальных зазоров (37) между обечайками (32, 33, 39), разгрузочные отверстия (38) выбраны таким образом, чтобы гидрогазомеханический демпфер (31) при разогреве тепловым излучением со стороны зеркала расплава ослаблял тепловой поток на мембрану (11) до безопасных значений, определяемых теплопередачей от мембраны (11) к насыщенному пару в условиях расположения уровня воды в шахте (10) реактора ниже уровня расположения мембраны (11).

Как показано на фиг. 1 и 2, мембрана (11) выпуклой формы, установленная между фланцем (5) корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) в пространстве, расположенном за наружной поверхностью гидрогазомеханического демпфера (31), обеспечивает герметизацию корпуса (4) от затопле-

ния водой, поступающей для охлаждения его внешней поверхности, а также независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли (3) и аксиально-радиальные тепловые расширения корпуса (4), независимые перемещения фермы-консоли (3) и корпуса (4) при ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора. Конструктивно мембрана (11) состоит из вертикально ориентированных секторов (12), которые соединены друг с другом посредством сварных соединений (13).

Для сохранения мембраной (11) своих функций на начальной стадии поступления расплава активной зоны из корпуса (2) реактора в корпус (4) и связанного с этим повышения давления, мембрана (11) размещается в защищенном пространстве, обеспечиваемым гидрогазомеханическим демпфером (31).

До начала подачи охлаждающей воды через клапаны (8) подачи воды внутрь корпуса (4) на шлаковую шапку и тонкую корку, образовавшуюся над зеркалом расплава, происходит разрушение тепловых защит корпуса (4) и фермы-консоли (3). Это приводит к увеличению теплового воздействия на гидрогазомеханический демпфер (31) со стороны зеркала расплава активной зоны. Гидрогазомеханический демпфер (31) частично передает тепловую нагрузку на мембрану (11), которая начинает нагреваться с внутренней стороны, однако в связи с небольшой толщиной лучистый тепловой поток не может обеспечить разрушение мембраны (11). В этот же период происходит дополнительный разогрев направляющей плиты (1) и удерживаемого ею днища корпуса реактора (2) с остатками расплава активной зоны. После начала поступления охлаждающей воды внутрь корпуса (4) на корку, находящуюся на поверхности расплава, мембрана (11) продолжает выполнение своих функций 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 реактора (2) и находящегося внутри него небольшого количества расплава активной зоны может измениться, что может привести к падению обломков днища корпуса реактора (2) с остатками расплава внутрь корпуса (4), что приведет к динамическому воздействию расплава на тепловую защиту (6) фланца (5) корпуса (4) и приведет к подъему давления в результате взаимодействия расплава с водой. Взаимодействие расплава с водой возможно в условиях, при которых прочная корка на поверхности зеркала расплава еще не сформировалась, а на днище корпуса реактора (2) находятся остатки расплава активной зоны, что возможно только в промежутки времени не более 30 мин при практическом отсутствии воды на поверхности шлаковой шапки, закрывающей поверхность тонкой корки над зеркалом расплава, в самом начале водяного охлаждения зеркала расплава. В этих условиях весь объем воды, поступающий сверху на шлаковую шапку, испаряется, охлаждая вышерасположенные конструкции. В тот момент, когда начинается накопление воды на шлаковой шапке, т.е. 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 реактора (2) 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 реактора (2) не произойдет, но остатки расплава выльются на корку расплава, покрытую водой, что также может привести к образованию ударной волны вследствие парового взрыва.

Для того чтобы защитить мембрану (11) от разрушения при подъеме давления внутри корпуса (4), на первом этапе используется гидрогазомеханический демпфер (31), а при его разрушении на втором этапе используются внешние и внутренние бандажные пластины (18, 19), установленные с внешней и внутренней стороны мембраны (11).

На первом этапе защиты мембраны (11) ударную волну принимает на себя гидрогазомеханический демпфер (31), основным демпфирующим элементом которого являются внешняя и внутренняя секторные обечайки (32, 33), между которыми могут быть установлены одна или несколько промежуточных секторных обечаек (39). При воздействии ударной волны на внутреннюю секторную обечайку (33) начинается движение секторов, составляющих обечайку (33), в радиальном направлении. Особенностью конструкции гидрогазомеханического демпфера (31) является независимость направления формоизменения секторных обечаек (32, 33, 39) от направления возмущающего воздействия: формоизменение обечаек (32, 33, 39) происходит только в радиальном направлении, причем самое большое формоизменение обечаек (32, 33, 39) происходит почти на равном удалении от верхних и нижних секторных элементов (34, 35) закрепления. Обечайки (32, 33, 39) под воздействием ударной волны выгибаются в радиальном направлении, а щелевые зазоры (36) между секторами раскрываются в азимутальном направлении. Однако это не приводит к увеличению проходного сечения и не приводит к уменьшению гидродинамического сопротивления обечаек (32, 33, 39) радиальному движению парогазовой смеси в связи с тем, что обечайки (32, 33, 39) установлены со смещением таким образом, что, например, при установке только двух секторных обечаек (32) и (33), щелевые зазоры (36) между секторами внешней секторной обечайки (32) перекрываются секторной внутренней секторной обечайкой (33). При воздействии ударной волны на внутреннюю секторную обечайку (33), секторы этой обечайки начинают изгибаться в радиальном направлении и передавать усилия на смежные секторы внешней секторной обечайки (32). Чем сильнее воздействие на внутреннюю

секторную обечайку (33), тем больше сила контактного давления, передаваемая на смежные секторы внешней секторной обечайки (32), что позволяет перераспределить сосредоточенную ударную нагрузку на значительно большую площадь и тем самым защитить гидрогазомеханический демпфер (31) от разрушения при приложении точечной ударной нагрузки. Размер щелевого зазора (36) между секторами определяет аксиальный свободный ход каждого сектора внешней и внутренней секторных обечаек (32, 33) при деформации под действием ударной нагрузки, а радиальный зазор (37) между самими секторными обечайками (32) и (33) определяет силу динамического трения между секторами этих обечаек, передаваемую от внутренней секторной обечайки (33) к внешней секторной обечайке (32) при воздействии ударной волны на внутреннюю секторную обечайку (33). Чем меньше радиальный зазор (37) между секторными обечайками (32) и (33), тем больше контактное давление, больше возникающая при этом сила трения между обечайками, меньше перемещение и, соответственно, меньше щелевой зазор (36) между секторами в каждой обечайке (32) и (33). Применение промежуточных секторных обечаек (39) позволяет обеспечить необходимую прочность и устойчивость гидрогазомеханического демпфера (31) к точечным ударным нагрузкам произвольного направления и секторным неосесимметричным ударным волнам. Жесткость гидрогазомеханического демпфера (31) регулируется не только набором секторных обечаек (32, 33, 39), щелевыми зазорами (36) и радиальными зазорами (37) между обечайками (32, 33, 39), но и верхними и нижними секторными элементами (34, 35) закрепления с верхними и нижними страховочными упорами (40) и (41), обеспечивающими передачу динамических усилий от обечаек (32, 33, 39) к верхнему и нижнему фланцам (14, 15) мембраны (11), причем верхние секторные элементы (34) закрепления имеют ограничители (42) перемещения регулировочных гаек (43), фиксирующих регулировочный зазор (44), а нижние секторные элементы (35) закрепления имеют нижние страховочные упоры (41), препятствующие отрыву и разрушению оснований секторных обечаек (32, 33, 39) при неосесимметричных волновых воздействиях или локальных точечных механических или гидродинамических воздействиях, при этом нижние элементы (35) закрепления могут быть дополнительно снабжены фиксатором (45) страховочного упора.

На втором этапе защиты мембраны (11) от ударной волны используются внешние и внутренние бандажные пластины (18, 19), установленные с внешней и внутренней стороны мембраны (11), обеспечивающие фиксированное изменение геометрических характеристик мембраны (11) в пределах внешнего и внутреннего страховочных бандажных зазоров (24, 25). В связи с тем что ударная волна при подъеме давления относительно оси корпуса (4) распространяется неосесимметрично, 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 ее направление снизу вверх. В этих условиях первыми ударную нагрузку принимают нижний фланец (15), нижняя часть мембраны (11) и нижние части внешних и внутренних бандажных пластин (18, 19). Деформация 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 деформаций 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 компенсирующие 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 жесткости мембраны (11) и внешних и внутренних бандажных пластин (18, 19), что обусловлено необходимостью защиты мембраны (11) от воздействия ударных волн. Практическая независимость движений достигается 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).

При выполнении транспортно-технологических операций, внешние и внутренние бандажные пластины (18, 19) жестко 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 счет скольжения внешних и внутренних бандажных пластин (18, 19) по нижнему фланцу (15) мембраны (11).

При воздействии на мембрану (11) ударной волны необходимо обеспечить надежное крепление мембраны (11) к ферме-консоли (3) и к корпусу (4). С этой целью верхний фланец (14) мембраны (11) установлен на верхнем теплопроводящем элементе (16), закрепленным на ферме-консоли (3), с которой

верхний фланец (14) мембраны (11) и верхний теплопроводящий элемент (16) образуют своего рода карман (23), обеспечивающий эффективный теплообмен с внешней средой (охлаждающей водой или пароводяной смесью). Карман (23) для конвективного теплообмена необходим верхнему фланцу (14) мембраны (11) 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) мембраны (11) и от нижнего теплопроводящего элемента (17), обеспечивая отвод тепла от внутренних элементов (22) закрепления внутренних бандажных пластин (19).

Таким образом, применение мембраны в совокупности с бандажными пластинами и гидрогазодинамическим демпфером в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора позволило повысить ее надежность за счет устранения разрушения в зоне герметичного 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.

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 и корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, отличающаяся тем, что дополнительно содержит мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами соответственно, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние и нижние концы жестко закреплены к верхнему и нижнему фланцам мембраны, и гидрогазомеханический демпфер, состоящий из внешней и внутренней секторных обечаек, верхний конец которых соединен с верхним теплопроводящим элементом, а нижний конец соединен с фланцем корпуса и нижним теплопроводящим элементом.

2. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что верхний конец гидрогазомеханического демпфера соединен с верхним теплопроводящим элементом посредством верхних элементов закрепления, а нижний конец соединен через упор с нижним теплопроводящим элементом посредством нижних элементов закрепления.

3. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что верхний конец гидрогазомеханического демпфера жестко соединен с верхним теплопроводящим элементом посредством сварного соединения, а нижний конец соединен через упор с фланцем корпуса посредством нижних элементов закрепления.

4. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.3, отличающаяся тем, что нижние элементы закрепления дополнительно снабжены фиксатором страховочного упора.

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

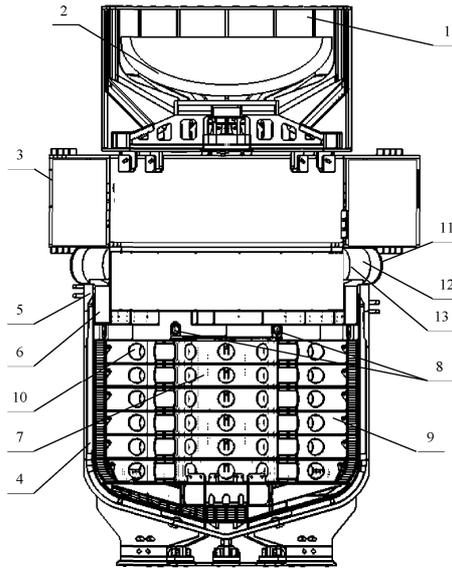
6. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что в секторах внешней и внутренней секторных обечаек гидрогазомеханического демпфера в местах креплений выполнены отверстия.

7. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что секторы внешней и внутренней секторных обечаек установлены с секторными зазорами.

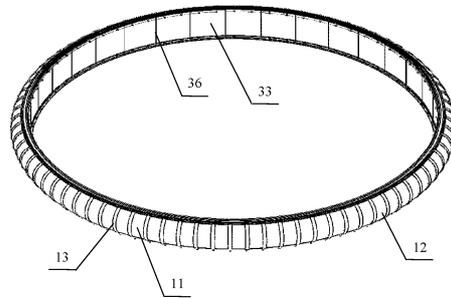
8. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что внешняя и внутренняя секторные обечайки гидрогазодинамического демпфера установлены с радиальным зазором относительно друг друга.

9. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что между внешней и внутренней секторными обечайками гидрогазодинамического демпфера установлена промежуточная секторная обечайка.

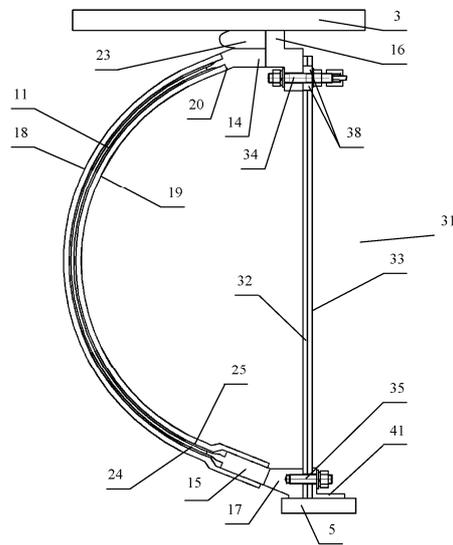
10. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что количество промежуточных секторных обечаек гидрогазодинамического демпфера может быть выбрано в количестве от 2 до 4 штук.



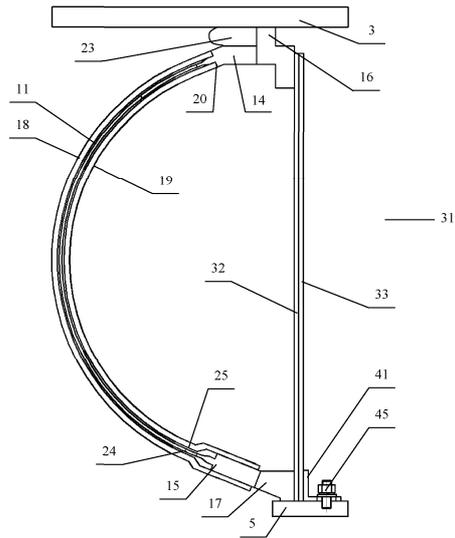
Фиг. 1



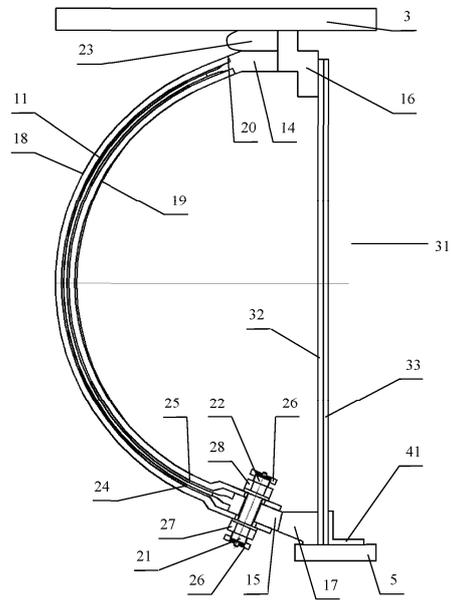
Фиг. 2



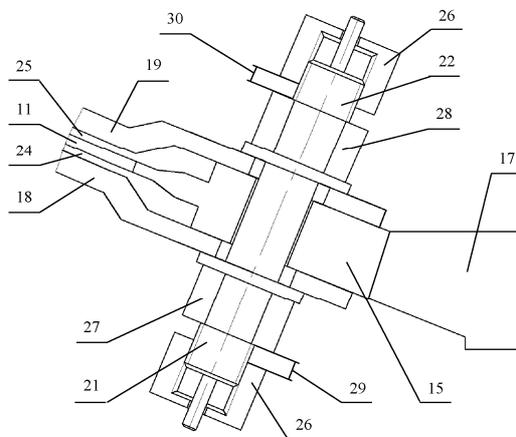
Фиг. 3



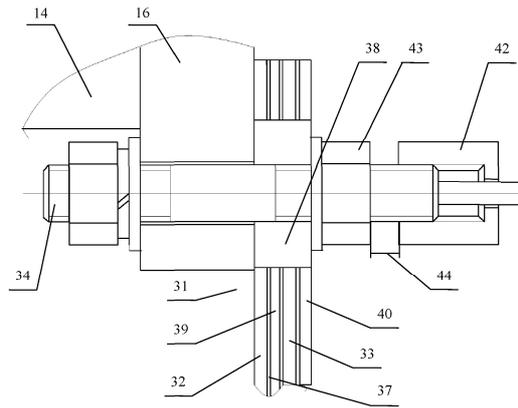
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7