

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044037**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.07.19

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

(21) Номер заявки
202193316

(22) Дата подачи заявки
2021.12.29

(54) НАПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

(31) 2020110765

**УЧРЕЖДЕНИЕ "НАУКА И
ИННОВАЦИИ" (RU)**

(32) 2020.03.13

(33) RU

(72) Изобретатель:

(43) 2023.04.25

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

(86) PCT/RU2020/000766

(87) WO 2021/182997 2021.09.16

(74) Представитель:

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ";
ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ "НАУКА
И ИННОВАЦИИ" (ЧАСТНОЕ**

Снегов К.Г. (RU)

(56) RU-C1-2575878

RU-C1-2576517

RU-U1-100327

RU-C1-2576516

KR-A-20170126361

DE-A1-19524882

(57) Изобретение относится к системам локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, предназначенным для локализации тяжелых запроектных аварий, в частности к устройствам для направления расплава активной зоны ядерного реактора в ловушку расплава. Технический результат изобретения заключается в повышении эффективности локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора. Задачей, на решение которой направлено изобретение, является устранение разрушения направляющего устройства из-за концентрации ударной нагрузки в конической части направляющего устройства и, следовательно, одномоментного попадания активной зоны, обломков внутрикорпусных устройств и днища корпуса ядерного реактора в ловушку расплава. В соответствии с изобретением, направляющее устройство системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, установленное под корпусом реактора и опирающееся на ферму-консоль, содержит цилиндрическую часть, коническую часть с выполненным в ней отверстием, стенки которых покрыты термостойким и легкоплавким материалом и разделены на секторы силовыми ребрами, расположенными радиально относительно отверстия, а также силовой каркас, состоящий из внешнего верхнего силового кольца, внешнего нижнего силового кольца, внутренней силовой обечайки, внешней верхней силовой обечайки, средней силовой обечайки, разделенной на секторы силовыми ребрами, внешней нижней силовой обечайки, опорных ребер, основания, верхней наклонной пластины, соединяющей коническое днище, силовые ребра и среднюю силовую обечайку, нижней наклонной пластины, соединяющей коническое днище, силовые ребра, среднюю силовую обечайку и внешнюю верхнюю силовую обечайку.

B1

044037

044037

B1

Область техники

Изобретение относится к системам локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, предназначенным для локализации тяжелых запроектных аварий, в частности к устройствам для направления расплава активной зоны ядерного реактора в ловушку расплава.

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 кориум, вытекший из корпуса реактора, и обеспечить его непрерывное охлаждение, вплоть до полной кристаллизации всех компонентов кориума. Эту функцию выполняет ловушка расплава, которая, после попадания в неё расплава активной зоны, предотвращает повреждения герметичной оболочки АЭС и, тем самым, защищает население и окружающую среду от радиационного воздействия при тяжелых авариях ядерных реакторов, путем охлаждения и последующей кристаллизации расплава.

После проплавления корпуса реактора расплав активной зоны поступает на направляющее устройство, которое обычно выполнено в форме воронки, установленной на ферме-консоли, и предназначено для изменения направления движения расплава от места его вытекания из корпуса реактора в сторону оси шахты реактора, с целью гарантированного поступления расплава на площадку обслуживания. Прогрета площадку обслуживания, расплав попадает внутрь ловушки расплава, где вступает во взаимодействие с наполнителем, постепенно разогревая корпус ловушки расплава. При этом, при проплавлении корпуса реактора, может произойти полный отрыв днища корпуса, в результате чего днище корпуса реактора падает на направляющее устройство, оказывая на него высокую ударную нагрузку. Недостаточная прочность направляющего устройства может привести к его повреждению со стороны днища корпуса, и одновременному падению обломков направляющего устройства, расплава активной зоны, обломков внутрикорпусных устройств и днища корпуса в ловушку расплава. На начальной стадии поступления расплава в наполнитель, при которой наполнитель находится в целостном состоянии, падение оторвавшегося днища корпуса с расплавом активной зоны в корпус ловушки расплава может привести к частичной блокировке наполнителя и разрушению тепловых защит расплавом активной зоны, в результате выплёскивания расплава из оторвавшегося днища корпуса при ударе днища корпуса о наполнитель. Гидродинамическое воздействие такого выплёскивания на оборудование ловушки расплава может быть сфокусированным как в азимутальной, так и в аксиальной плоскостях, в результате поворота оторвавшегося днища корпуса реактора во время ускоренного движения. Удар днища корпуса о наполнитель в результате поворота днища может произойти в ограниченном секторе наполнителя, который затормозит и остановит днище корпуса, но не сможет противодействовать фокусировке расплава активной зоны, при выплёскивании расплава в момент торможения днища из его эллиптической чаши в направлении тепловых защит и другого оборудования ловушки. При таком воздействии расплава на оборудование ловушки в ограниченном секторе возможны значительные разрушения оборудования сверх проектных разрушений, приводящих к непроектной работе наполнителя и отказу работоспособности ловушки расплава. В связи с тем, что фокусированное воздействие расплава на оборудование ловушки носит плохо предсказуемый характер, результаты которого зависят от множества трудно учитываемых факторов, например, таких как угол поворота днища в момент удара о наполнитель, время торможения днища наполнителем и характеристики этого торможения, объём расплава в днище при ударе о наполнитель и его характеристики, и пр., то падение оторвавшегося днища корпуса реактора в наполнитель должно быть конструктивно исключено для исключения нарушения процессов локализации и охлаждения расплава.

Предшествующий уровень техники

Известно направляющее устройство [1] (патент РФ № 2253914, приоритет от 18.08.2003 г.) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, установленное под днищем корпуса реактора и опирающееся на ферму-консоль, выполненное в виде воронки, состоящей из цилиндрической и конической частей, поверхности которых покрыты жаропрочным бетоном, отверстия, выполненного в центре конической части.

Недостатком направляющего устройства является отсутствие у него механизма перераспределения (выравнивания) статических и динамических нагрузок. В случае сообщения направляющему устройству ударной нагрузки со стороны оторвавшегося днища корпуса реактора с расплавом активной зоны или оторвавшихся секторов разрушенного днища с учетом ускорения, создаваемого остаточным давлением внутри корпуса реактора, основная ударная нагрузка концентрируется в его конической части, что в результате может привести к его разрушению и одномоментному попаданию расплава активной зоны в ловушку расплава. Одномоментное попадание расплава активной зоны, в свою очередь, приводит к снижению эффективности охлаждения расплава ввиду того, что падение оторвавшегося днища корпуса с расплавом активной зоны в корпус ловушки может привести к частичной блокировке наполнителя (выполненного из корзины с кассетами, внутри которых установлены брикеты из материала-разбавителя

расплава активной зоны) и разрушению расплавом активной зоны тепловых защит с водоохлаждаемым контуром ловушки, в результате выплёскивания расплава из оторвавшегося днища корпуса при ударе днища корпуса о наполнитель. Гидродинамическое воздействие такого выплёскивания на оборудование ловушки может быть сфокусированным как в азимутальной, так и в аксиальной плоскостях, в результате поворота оторвавшегося днища корпуса реактора во время ускоренного движения. Удар днища корпуса о наполнитель в результате поворота днища может произойти в ограниченном секторе наполнителя, который затормозит и остановит днище корпуса, но не сможет противодействовать фокусировке расплава активной зоны, при выплёскивании расплава в момент торможения днища из его эллиптической чаши в направлении тепловых защит и другого оборудования ловушки. При таком воздействии расплава на оборудование ловушки в ограниченном секторе возможны значительные разрушения оборудования сверх проектных значений, приводящих к нештатной работе наполнителя, разрушению водоохлаждаемого контура, что приводит к отказу работоспособности ловушки расплава.

Известно направляющее устройство [2] (Устройство локализации расплава, 7-я Международная научно-практическая конференция "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР", ОКБ "Гидропресс", Подольск, Россия, 17-20 мая 2011 г.) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, состоящее из цилиндрической части и конической части, в центре которой выполнено отверстие, силовых ребер, проходящих от центрального отверстия до границы цилиндрической части.

Недостатком направляющего устройства является отсутствие у него механизма перераспределения (выравнивания) статических и динамических нагрузок. В случае сообщения направляющему устройству ударной нагрузки со стороны оторвавшегося днища корпуса реактора с расплавом активной зоны или оторвавшихся секторов разрушенного днища с учетом ускорения, создаваемого остаточным давлением внутри корпуса реактора, основная ударная нагрузка концентрируется в его конической части, что в результате может привести к его разрушению и одномоментному попаданию расплава активной зоны в ловушку расплава с последующим нарушением процесса локализации и охлаждения расплава. Одномоментное попадание расплава активной зоны, в свою очередь, приводит к снижению эффективности охлаждения расплава ввиду того, что падение оторвавшегося днища корпуса с расплавом активной зоны в корпус ловушки может привести к частичной блокировке наполнителя и разрушению тепловых защит расплавом активной зоны, в результате выплёскивания расплава из оторвавшегося днища корпуса при ударе днища корпуса о наполнитель. Гидродинамическое воздействие такого выплёскивания на оборудование ловушки может быть сфокусированным как в азимутальной, так и в аксиальной плоскостях, в результате поворота оторвавшегося днища корпуса реактора во время ускоренного движения. Удар днища корпуса о наполнитель в результате поворота днища может произойти в ограниченном секторе наполнителя, который затормозит и остановит днище корпуса, но не сможет противодействовать фокусировке расплава активной зоны, при выплёскивании расплава в момент торможения днища из его эллиптической чаши в направлении тепловых защит и другого оборудования ловушки. При таком воздействии расплава на оборудование ловушки в ограниченном секторе возможны значительные разрушения оборудования сверх проектных разрушений, приводящих к нештатной работе наполнителя и отказу работоспособности ловушки расплава.

Наиболее близким к заявленному изобретению является направляющее устройство [3, 4, 5] [патент РФ № 2576516, приоритет от 16.12.2014 г.; патент РФ № 2576517, приоритет от 16.12.2014 г.; патент РФ № 2575878, приоритет от 16.12.2014 г.] системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, состоящее из цилиндрической части и конической части, в центре которой выполнено отверстие, силовых ребер, проходящих от центрального отверстия до верхнего края цилиндрической части, и разделяющих цилиндрическую и коническую части на секторы, покрытые слоями жертвенного и термостойкого бетона.

Такое направляющее устройство предназначено для направления кориума (расплава) после разрушения или проплавления реактора в ловушку расплава, удержания крупногабаритных обломков внутрикорпусных устройств, тепловыделяющих сборок и днища корпуса реактора от падения в ловушку расплава, защиты фермы-консоли и ее коммуникаций от разрушения при поступлении расплава из корпуса реактора в ловушку расплава, предохранения бетонной шахты от прямого контакта с расплавом активной зоны.

Силовые ребра удерживают днище корпуса реактора с расплавом, что не позволяет днищу в процессе своего разрушения или сильного пластического деформирования перекрыть проходные сечения секторов и нарушить процесс стекания расплава.

Недостатком направляющего устройства является отсутствие у него механизма перераспределения (выравнивания) статических и динамических нагрузок. В случае сообщения направляющему устройству ударной нагрузки со стороны оторвавшегося днища корпуса реактора с расплавом активной зоны или оторвавшихся секторов разрушенного днища с учетом ускорения, создаваемого остаточным давлением внутри корпуса реактора, основная ударная нагрузка концентрируется в его конической части, что в результате может привести к его разрушению и одномоментному попаданию расплава активной зоны в ловушку расплава с последующим нарушением процесса локализации и охлаждения расплава. Одномоментное попадание расплава активной зоны, в свою очередь, приводит к снижению эффективности ох-

лаждения расплава ввиду того, что падение оторвавшегося днища корпуса с расплавом активной зоны в корпус ловушки может привести к частичной блокировке наполнителя и разрушению тепловых защит расплавом активной зоны, в результате выплёскивания расплава из оторвавшегося днища корпуса при ударе днища корпуса о наполнитель. Гидродинамическое воздействие такого выплёскивания на оборудование ловушки может быть сфокусированным как в азимутальной, так и в аксиальной плоскостях, в результате поворота оторвавшегося днища корпуса реактора во время ускоренного движения. Удар днища корпуса о наполнитель в результате поворота днища может произойти в ограниченном секторе наполнителя, который затормозит и остановит днище корпуса, но не сможет противодействовать фокусировке расплава активной зоны, при выплёскивании расплава в момент торможения днища из его эллиптической чаши в направлении тепловых защит и другого оборудования ловушки. При таком воздействии расплава на оборудование ловушки в ограниченном секторе возможны значительные разрушения оборудования сверх проектных разрушений, приводящих к нештатной работе наполнителя и отказу работоспособности ловушки расплава.

Раскрытие изобретения

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

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является устранение разрушения направляющего устройства из-за концентрации ударной нагрузки в конической части направляющего устройства и, следовательно, одномоментного попадания активной зоны, обломков внутрикорпусных устройств и днища корпуса ядерного реактора в ловушку расплава.

Поставленная задача решается за счет того, что направляющее устройство (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, установленное под корпусом реактора и опирающееся на ферму-консоль, содержащее цилиндрическую часть (2), коническую часть (3) с выполненным в ней отверстием (4), стенки которых покрыты термостойким и легкоплавким материалом и разделены на секторы силовыми ребрами (5), расположенными радиально относительно отверстия (4), согласно изобретению, дополнительно содержит силовой каркас, состоящий из внешнего верхнего силового кольца (6), внешнего нижнего силового кольца (7), внутренней силовой обечайки (8), внешней верхней силовой обечайки (9), средней силовой обечайки (10), разделенной на секторы силовыми ребрами (5), внешней нижней силовой обечайки (11), опорных ребер (12), основания (26), верхней наклонной пластины (13), соединяющей коническое днище (15), силовые ребра (5) и среднюю силовую обечайку (10), нижней наклонной пластины (14), соединяющей коническое днище (15), силовые ребра (5), среднюю силовую обечайку (10) и внешнюю верхнюю силовую обечайку (9).

Дополнительно, в направляющем устройстве (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно изобретению, между верхней наклонной пластиной (13) и нижней наклонной пластиной (14) установлена дополнительная наклонная пластина.

Дополнительно, направляющее устройство (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно изобретению, дополнительно содержит от 1 до 2 средних силовых обечайек (10).

Одним отличительным признаком заявленного изобретения является применение в составе направляющего устройства системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора силового каркаса, состоящего из внешнего верхнего силового кольца (6), внешнего нижнего силового кольца (7), внутренней силовой обечайки (8), внешней верхней силовой обечайки (9), средней силовой обечайки (10), разделенной на секторы силовыми ребрами (5), внешней нижней силовой обечайки (11), опорных ребер (12), основания (26), верхней наклонной пластины (13), соединяющей коническое днище (15), силовые ребра (5) и среднюю силовую обечайку (10), нижней наклонной пластины (14), соединяющей коническое днище (15), силовые ребра (5), среднюю силовую обечайку (10) и внешнюю верхнюю силовую обечайку (9).

Такая конструкция направляющего устройства позволяет обеспечить постепенное поступление корриума (расплава) после разрушения или проплавления реактора в ловушку расплава и удержание крупногабаритных обломков внутрикорпусных устройств, тепловыделяющих сборок и днища корпуса реактора от падения в корпус ловушки расплава.

Ещё одним отличительным признаком заявленного изобретения является то, что между верхней наклонной пластиной (13) и нижней наклонной пластиной (14) установлена дополнительная наклонная пластина, что позволяет за счёт её разрушения наряду с разрушением верхней и нижней наклонных пластин обеспечить заданное направление стекания расплава активной зоны из корпуса (17) реактора в ловушку расплава.

Ещё одним отличительным признаком заявленного изобретения является наличие от 1 до 2 дополнительных средних силовых обечайек (10), что позволяет обеспечить защиту внешней верхней силовой обечайки (9) от разрушения расплавом активной зоны, и, как следствие, защиту строительного и серпентинитового бетонов шахты реактора от взаимодействия с расплавом.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 изображено направляющее устройство системы локализации и охлаждения расплава ак-

тивной зоны ядерного реактора, представленное в сечении по силовым рёбрам.

На фиг. 2 изображено направляющее устройство системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, представленное в сечении в межрёберном пространстве.

На фиг. 3 изображено направляющее устройство системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, в случае отрыва днища корпуса реактора и падения его на силовые рёбра направляющего устройства параллельно аксиальной оси корпуса реактора.

На фиг. 4 изображено направляющее устройство системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, в случае отрыва днища корпуса реактора и падения его на силовые рёбра направляющего устройства под углом к аксиальной оси корпуса реактора.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1 и 2, направляющее устройство (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора устанавливается под корпусом реактора и опирается на ферму-консоль. Устройство (1) содержит цилиндрическую часть (2) и коническую часть (3). В цилиндрической и конической частях (2, 3) установлены силовые ребра (5), расположенные радиально относительно центрального отверстия (4), выполненного в конической части (3). Силовые ребра (5) проходят от центрального отверстия (4) до верхнего края цилиндрической части (2). В центральном отверстии (4) установлена внутренняя силовая обечайка (8). На верхнем крае цилиндрической части (2) установлено внешнее верхнее силовое кольцо (6), к которому прикреплена внешняя верхняя силовая обечайка (9), соединяющая внешнее верхнее силовое кольцо (6) с внешним нижним силовым кольцом (7), которое опирается на внешнюю нижнюю силовую обечайку (11). Между внешней силовой обечайкой (9) и цилиндрической частью (2) установлена средняя силовая обечайка (10), соединяющая внешнее верхнее силовое кольцо (6) с верхней и нижней наклонными пластинами (13, 14). Силовые ребра (5) установлены таким образом, что разделяют цилиндрическую часть (2) и коническую часть (3) на секторы. В совокупности, силовые ребра (5), внешнее верхнее силовое кольцо (6), внешняя верхняя силовая обечайка (9), внешнее нижнее силовое кольцо (7), внешняя нижняя силовая обечайка (11), внутренняя силовая обечайка (8), скреплены друг с другом таким образом, что образуют опорную конструкцию направляющего устройства (1). В нижней части направляющего устройства (1) установлено коническое днище (15) с опорными ребрами (12), соединенными с силовыми ребрами (5), внешней верхней силовой обечайкой (9) и средней силовой обечайкой (10) посредством верхней наклонной пластины (13) и нижней наклонной пластины (14), соответственно.

Направляющее устройство работает следующим образом.

Как показано на фиг. 3 и 4, в случае отрыва днища (16) корпуса (17) реактора и падения на направляющее устройство (1), например, под углом (со смещением) к аксиальной оси (ось D) корпуса (17) реактора, силовой каркас, используемый в составе направляющего устройства (1) системы локализации и охлаждения активной зоны ядерного реактора, выполняет противоударные, стабилизирующие, каналобразующие и защитные функции при вытекании расплава активной зоны из корпуса (17) ядерного реактора или падения днища (16) корпуса (17) реактора с частью расплава активной зоны или обломков днища и обломков внутрикорпусных устройств.

Противоударные функции силового каркаса выполняют силовые рёбра (5), обеспечивающие демпфирование ударной нагрузки со стороны оторвавшегося днища (16) корпуса (17) реактора с расплавом активной зоны или оторвавшихся секторов разрушенного днища с учётом ускорения, создаваемого остаточным давлением внутри корпуса (17) реактора.

Положение силовых рёбер (5) для выполнения противоударных функций должно быть максимально приближено к днищу (16) корпуса (17) реактора, в этом случае сила удара днища (16) корпуса (17) реактора с находящимся в нём расплавом активной зоны или сила удара фрагментов днища о силовые рёбра (5) будет минимальной. При увеличении расстояния между силовыми рёбрами (5) и днищем (16) корпуса (17) реактора сила удара значительно возрастает, а приложенная нагрузка на силовые рёбра (5) перераспределяется следующим образом: при минимальном расстоянии неравномерность отрыва днища (16) корпуса (17) реактора или его частей слабо влияет на разницу механического нагружения, испытываемую силовыми рёбрами (5), эти нагружения примерно одинаковы, при увеличении расстояния разница в механическом нагружении силовых рёбер (5) начинает возрастать, а при большом расстоянии между силовыми рёбрами (5) и днищем (16) корпуса (17) реактора ударная нагрузка может целиком приходиться на одно-два силовых ребра (5), что связано с поворотом днища (16) корпуса (17) реактора в процессе его движения, обусловленным начальной неравномерностью (неодномоментностью) отрыва днища (16) в азимутальном направлении от корпуса (17) реактора.

Первое оптимальное расстояние между днищем (16) корпуса (17) реактора и силовыми рёбрами (5) для гашения ударной нагрузки при первом касании днища или его частей составляет от 50 до 250 мм. Ограничение по минимальному значению определяется термическим расширением корпуса (17) реактора при нормальной эксплуатации, а ограничение по максимальному значению определяется предельным углом поворота днища (16) после отрыва от корпуса (17) реактора и набранным ускорением под воздействием остаточного давления в корпусе (17) реактора.

Второе оптимальное расстояние между днищем (16) корпуса (17) реактора и силовыми рёбрами (5)

для гашения ударной нагрузки при втором касании с учётом поворота днища (16) или его частей составляет от 200 до 800 мм. Минимальное и максимальное значения определяются количеством силовых рёбер (5), их ударной прочностью и пластичностью. При равной ударной прочности силовых рёбер (5), чем их меньше, тем меньшее расстояние необходимо для второго касания, а чем силовых рёбер (5) больше, тем расстояние до второго касания может быть больше.

Первое и второе оптимальные расстояния между днищем (16) корпуса (17) реактора и силовыми рёбрами (5) определяют форму поверхности силовых рёбер (5), обращенную к днищу (16) корпуса (17) реактора. Для меньших значений оптимального расстояния поверхности силовых рёбер (5) выполняют

в эллиптической форме (18), как показано на фиг. 3. При такой форме аксиальные расстояния между радиальными точками (19 и 20) первого и второго касаний на силовых рёбрах (5) и соответствующими им радиальными точками (21 и 22) на днище (16) корпуса (17) реактора незначительно отличаются между собой. Первая и вторая парные точки (19, 21 и 20, 22 соответственно) касаний на радиальных рёбрах (5), практически, равноудалены от аксиальной оси D в радиальном направлении. А для больших значений оптимального расстояния поверхности силовых рёбер (5) выполняют в форме прямой линии (23) с постоянным углом наклона относительно аксиальной оси D, как показано на фиг. 4.

Для обеспечения максимальной останавливающей способности силового каркаса необходимо выполнение двух условий. Первое условие - второе оптимальное расстояние между днищем (16) корпуса (17) реактора и силовыми рёбрами (5) для гашения ударной нагрузки должно быть больше первого оптимального расстояния не менее чем в 1,1 раза, но не более чем в 8 раз, что определяется условиями поворота оторвавшегося днища (16) и его крупных фрагментов. Второе условие - радиальное расположение парной точки (20, 22) второго касания на силовом ребре (5) должно быть дальше от аксиальной оси D, чем радиальное расположение парной точки (19, 21) первого касания. Это означает, что парная точка (19, 21) первого касания оторвавшегося днища на силовом ребре (5), т.е. точка первого удара, должна находиться ближе к оси D симметрии, чем точка (20, 22) второго касания, т.е. точка второго удара в результате разворота днища или его крупных фрагментов во время движения.

Опорные функции силового каркаса выполняют внешняя верхняя силовая обечайка (9), средняя силовая обечайка (10), внешняя нижняя силовая обечайка (11) совместно с наклонными пластинами (13, 14), обеспечивающими приём и перераспределение (выравнивание) статических и динамических силовых нагрузок, действующих со стороны силовых рёбер (5).

Для перераспределения ударных нагрузок от радиальных силовых рёбер (5) в азимутальном направлении в силовом каркасе применяются внешняя верхняя силовая обечайка (9), внутренняя силовая обечайка (8), обеспечивающие фиксацию радиальных силовых рёбер (5). Внутренняя силовая обечайка (8) формирует центральный канал для перемещения расплава активной зоны и является ограничителем для падения в ловушку крупных фрагментов днища (16) корпуса (17) реактора, а внешняя верхняя силовая обечайка (9) обеспечивает аксиальную устойчивость силовых рёбер (5) в течение всего процесса взаимодействия направляющего устройства с расплавом активной зоны и днищем (16) корпуса (17) реактора.

В связи с тем, что внешняя верхняя силовая обечайка (9) выполняет функции демпфирования и перераспределения нагрузок, действующих со стороны силовых рёбер (5), для её работоспособности необходимо выполнение следующих условий. Первое условие - прочность и устойчивость в азимутальном направлении, которые определяются расстоянием L (как показано на фиг. 1) между силовыми рёбрами (5), передающими на внешнюю верхнюю силовую обечайку (9) нагрузку со стороны днища (16) корпуса (17) реактора. Оптимальное расстояние L между силовыми рёбрами (5) по периметру внешней верхней силовой обечайки (9) составляет от 0,7 до 1,3 м в зависимости от толщины силового ребра (5), причём, диаметр внешней верхней силовой обечайки (9) в диапазоне от 4 до 6 м, практически, не влияет на величину этого расстояния L. Второе условие - прочность и устойчивость в аксиальном направлении, которые накладывают на силовые рёбра (5) следующее ограничение: отношение длины L1 силового ребра (5) в радиальном направлении к его средней высоте L2 близко к 1, означая, что в зоне действия и передачи нагрузок со стороны днища (16) корпуса (17) реактора к внешней верхней силовой обечайке (9) силовое ребро (5) в радиально-аксиальной плоскости должно вписываться в квадрат со сторонами $L1=L2$, либо быть трапециевидным в проекции L1, L3, как показано на фиг. 1, с длинным основанием (или стороной трапеции), расположенным вертикально. Таким образом, силовые рёбра (5) с наклонными пластинами (13, 14), внешней верхней силовой обечайкой (9), средней силовой обечайкой (10), внешней нижней силовой обечайкой (11), обеспечивают демпфирование ударной нагрузки со стороны оторвавшегося днища (16) корпуса (17) реактора с расплавом активной зоны или оторвавшихся секторов разрушенного днища (16) с обломками внутрикорпусных устройств, и, как следствие, обеспечивают торможение и блокировку крупных фрагментов корпуса (17) и его внутрикорпусных устройств, обеспечивая последовательное поступление расплава активной зоны, обломков внутрикорпусных устройств и днища (16) корпуса (17) ядерного реактора в ловушку расплава.

Стабилизирующие функции силового каркаса выполняют верхняя наклонная пластина (13) и нижняя наклонная пластина (14). Верхняя наклонная пластина (13) соединяет среднюю силовую обечайку (10) с коническим днищем (15). Нижняя наклонная пластина (14) соединяет внешнюю верхнюю силовую

обечайку (9) с коническим днищем (15). Наклонные силовые пластины (13, 14) обеспечивают аксиальную устойчивость силовых рёбер (5) в процессе перераспределения ударных механических нагрузжений и являются направляющими элементами, обеспечивающими заданное направление стекания расплава активной зоны из корпуса (5) реактора в ловушку расплава. Угол наклона силовых пластин (13, 14) в радиальном направлении выбирается таким образом, чтобы обеспечить равную площадь на входе в каждый сектор, образованный наклонной пластиной (13, 14) и двумя силовыми рёбрами (5), и на выходе из каждого сектора. В этом случае, как показано на фиг. 4, проходное сечение по направлению течения расплава активной зоны на входе в сектор будет расположено горизонтально (24), а на выходе из сектора - вертикально (25), что определяет положение горизонтальных силовых плит в основании силового каркаса. Для обеспечения необходимой пропускной способности силового каркаса площадь проходного сечения секторов выбирается, исходя из заданного расхода первой залповой порции поступления расплава активной зоны в ловушку при боковом проплавлении корпуса (17) реактора.

В зависимости от толщины и пропускной способности проходных сечений секторов, между верхней наклонной пластиной (13) и нижней наклонной пластиной может быть установлена дополнительная наклонная пластина. Наклонные пластины (13, 14) за счёт собственного разрушения на каждом уровне обеспечивают увеличение проходного сечения секторов силового каркаса и, как следствие, обеспечивают увеличение расхода при истечении расплава активной зоны из корпуса (5) реактора в ловушку. Таким образом, наклонные пластины (13, 14) и радиально ориентированные силовые рёбра (5) обеспечивают аксиальную устойчивость силовых рёбер (5) в процессе перераспределения ударных механических нагрузжений и обеспечивают заданное направление стекания расплава активной зоны из корпуса (17) реактора в ловушку расплава.

Каналообразующие функции силового каркаса вместе с наклонными пластинами (13, 14) выполняют радиально ориентированные силовые рёбра (5), обеспечивающие пропускную способность проходного сечения секторов при боковом проплавлении корпуса (17) реактора. В процессе разогрева расплавом активной зоны днище (16) корпуса (17) реактора до момента проплавления боковой стенки корпуса или до момента отрыва днища испытывает значительные термомеханические деформации, в результате которых за счёт пластических деформаций днище (16) корпуса (17) реактора перемещается в сторону силового каркаса и начинает контактировать с силовыми рёбрами (5).

Контакт днища (16) корпуса (17) реактора с силовыми рёбрами (5) приводит к развитию одного из двух сценариев. В первом случае днище (16) разрывается в зоне, расположенной между силовыми рёбрами (5), или разрушается с образованием трещины, и через зону разрыва вытекает расплав. Во втором случае днище (16) не разрушается, и продолжает пластически деформироваться в пространстве между радиальными силовыми рёбрами (5).

Второй случай является наиболее опасным, так как днище (16) корпуса (17) реактора в этом случае способно перекрыть полностью проходное сечение секторов силового каркаса и заблокировать расплав активной зоны при боковом проплавлении корпуса (17) реактора. При возникновении такой блокировки, расплав активной зоны, не имея выхода, будет разрушать сухую защиту, заполненную серпентинитовым бетоном, и строительные конструкции шахты реактора. Для исключения блокировки днищем (16) корпуса (17) реактора проходного сечения секторов силового каркаса наклонные пластины (13, 14) устанавливаются ниже границы, которую может достичь наружная поверхность днища (16) корпуса (17) реактора без разрушения в секторах между радиальными силовыми рёбрами (5). Эта граница изменяется от периферии к центру днища (16) и зависит как от расстояния между силовыми рёбрами (5), так и от их толщины.

Оптимальное отношение суммарной толщины силовых рёбер (5) к длине окружности внешней верхней силовой обечайки (9) составляет от 4 до 8%, а количество силовых рёбер (5) изменяется в диапазоне от 8 до 16. В этом случае глубина установки наклонных пластин (13, 14) находится в диапазоне от 200 до 400 мм от внешней кромки силового ребра (5), обращенной к днищу (16) корпуса (17) реактора, в критическом сечении, имеющем самую нижнюю границу, которую может достичь наружная поверхность днища (16) корпуса (17) без разрушения в секторах между радиальными силовыми рёбрами (5). Таким образом, наклонные пластины (13, 14) и радиально ориентированные силовые рёбра (5) обеспечивают пропускную способность проходного сечения секторов при боковом проплавлении корпуса (17) реактора и, как следствие, защиту строительного и серпентинитового бетонов шахты реактора от взаимодействия с расплавом.

Защитные функции силового каркаса выполняет средняя силовая обечайка (10), обеспечивающая дистанционирование внешней верхней силовой обечайки (9) от воздействия вытекающего расплава активной зоны. В зависимости от толщины дополнительно может быть установлено от 1 до 2 средних силовых обечаек (10), обеспечивающих за счёт собственного разрушения защиту внешней верхней силовой обечайки (9) и внешней нижней силовой обечайки (11). Таким образом, средняя силовая обечайка (10) обеспечивает защиту верхней силовой обечайки от разрушения расплавом активной зоны и, как следствие, защиту строительного и серпентинитового бетонов шахты реактора от взаимодействия с расплавом.

Применение силового каркаса в составе направляющего устройства позволило обеспечить постепенное поступление кориума (расплава) после разрушения или проплавления реактора в ловушку рас-

плава и обеспечить удержание крупногабаритных обломков внутрикорпусных устройств, тепловыделяющих сборок и днища корпуса реактора от падения в ловушку расплава. В результате это позволило повысить эффективность локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора за счет исключения одномоментного попадания расплава в ловушку.

Источники информации.

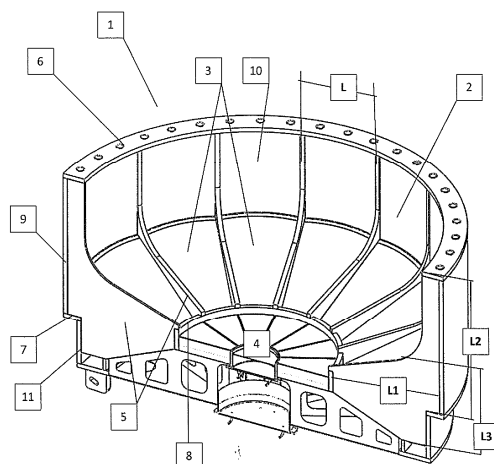
1. Патент РФ № 2253914, МПК G21C 9/016, приоритет от 18.08.2003 г.
2. Устройство локализации расплава, 7-я Международная научно-практическая конференция "Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР", ОКБ "Гидропресс", Подольск, Россия, 17-20 мая 2011 г.
3. Патент РФ № 2576516, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.
4. Патент РФ № 2576517, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.
5. Патент РФ № 2575878, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

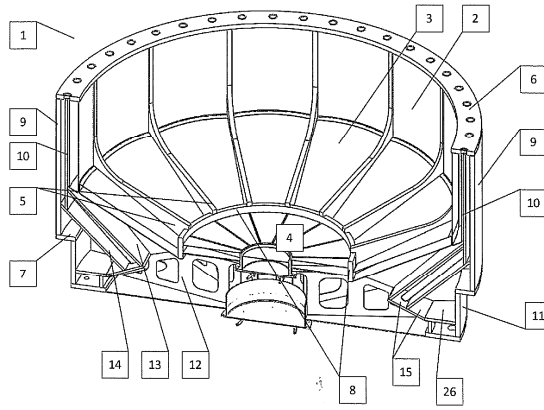
1. Направляющее устройство (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, установленное под корпусом реактора и опирающееся на ферму-консоль, содержащее цилиндрическую часть (2), коническую часть (3) с выполненным в ней отверстием (4), стенки которых покрыты термостойким и легкоплавким материалом и разделены на секторы силовыми ребрами (5), расположенными радиально относительно отверстия (4), отличающееся тем, что дополнительно содержит силовой каркас, состоящий из внешнего верхнего силового кольца (6), внешнего нижнего силового кольца (7), внутренней силовой обечайки (8), внешней верхней силовой обечайки (9), средней силовой обечайки (10), разделенной на секторы силовыми ребрами (5), внешней нижней силовой обечайки (11), опорных ребер (12), основания (26), верхней наклонной пластины (13), соединяющей коническое днище (15), силовые ребра (5) и среднюю силовую обечайку (10), нижней наклонной пластины (14), соединяющей коническое днище (15), силовые ребра (5), среднюю силовую обечайку (10) и внешнюю верхнюю силовую обечайку (9).

2. Направляющее устройство (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающееся тем, что дополнительно содержит наклонную пластину, установленную между верхней наклонной пластиной (13) и нижней наклонной пластиной (14).

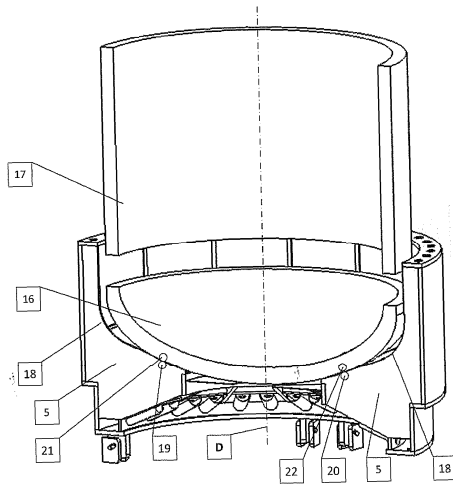
3. Направляющее устройство (1) системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора по п.1, отличающееся тем, что дополнительно содержит от 1 до 2 средних силовых обечайек (10).



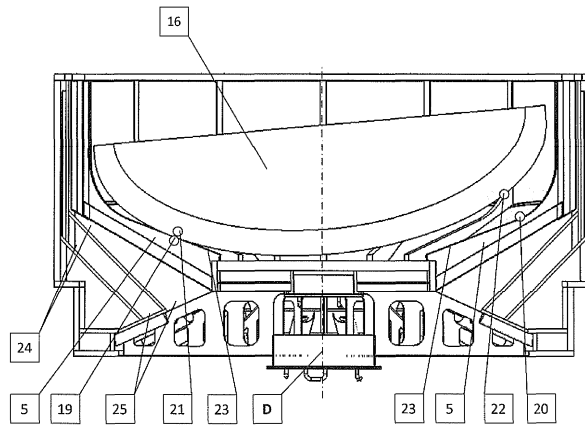
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

