



(19) RU (11) 2 106 026 (13) С1
(51) МПК⁶ G 21 C 9/016

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

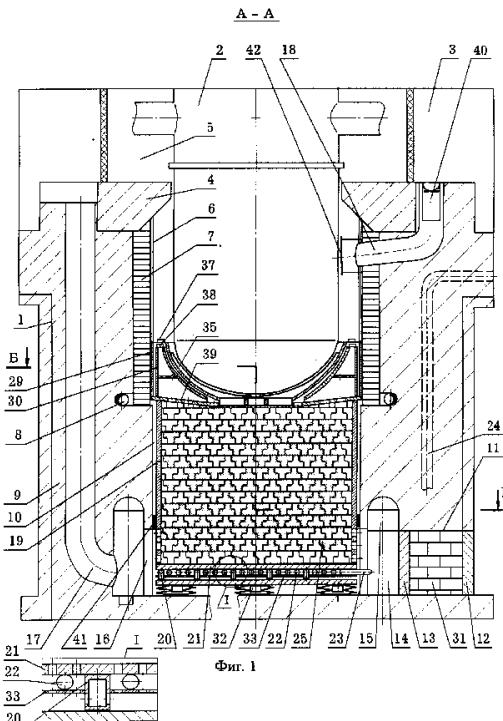
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 95117613/25, 17.10.1995
(46) Дата публикации: 27.02.1998
(56) Ссылки: 1. ЕР, 0541167, кл. G 21 C 9/016, 1992. 2. Масагутов Р.Ф., Сорокин А.П., Богатырев И.Л. Анализ взаимодействия расплавленного топлива с теплоносителем и расчеты паровых взрывов с обоснование безопасности ЯР по коду "VEX", МАЭ РФ ФЭИ. Обнинск, 1995. 3. ЕР, 0392604 A1, кл. G 21 C 9/016, 1990. 4. 392.00.00.00.000 ВО Установка реакторная В-392. Чертеж общего вида ОКБ "Гидропресс", 1990.

(71) Заявитель:
Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных станций Всероссийского научно-исследовательского института по эксплуатации атомных станций
(72) Изобретатель: Сидоров А.С., Носенко Г.Е., Нигматулин Б.И., Клейменова Г.И.
(73) Патентообладатель:
Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных станций Всероссийского научно-исследовательского института по эксплуатации атомных станций

(54) СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВОДО-ВОДЯНОГО ТИПА

(57) Реферат:
Сущность: в бетонной шахте на уровне пола подреакторного помещения выполнен колышевой коллектор, соединенный в своей нижней части с подреакторным помещением широкопрофильными, проходками, а также выполнено устройство для подвода теплоносителя, состоящее из каналов и соединяющее боксы парогенераторов и колышевой коллектор. В шахте имеется устройство для отвода теплоносителя, состоящее из каналов и соединяющее верхнюю часть бетонной шахты и боксы парогенераторов. В подреакторном помещении установлена корзина, в верхней и нижней цилиндрической части которой выполнена перфорация; а на ее днище установлен дренаж. На дренаже, установлена опорная конструкция в виде решетки или перфорированного листа. 17 з.п. ф-лы, 5 ил.



R
U
2
1
0
6
0
2
6
C
1

R
U
2
1
0
6
0
2
6
C
1



(19) RU (11) 2 106 026 (13) C1
(51) Int. Cl. 6 G 21 C 9/016

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 95117613/25, 17.10.1995

(46) Date of publication: 27.02.1998

(71) Applicant:
Ehlektrogorskij nauchno-issledovatel'skij
tsentr po bezopasnosti atomnykh stantsij
Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo
instituta po ehkspluatatsii atomnykh stantsij

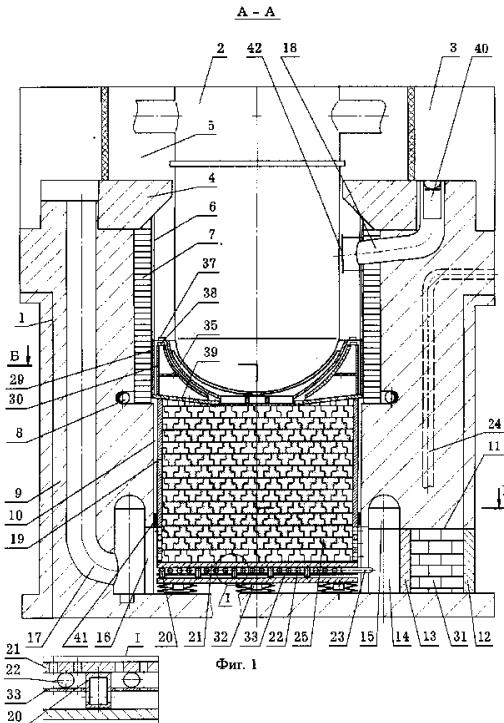
(72) Inventor: Sidorov A.S.,
Nosenko G.E., Nigmatulin B.I., Klejmenova G.I.

(73) Proprietor:
Ehlektrogorskij nauchno-issledovatel'skij
tsentr po bezopasnosti atomnykh stantsij
Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo
instituta po ehkspluatatsii atomnykh stantsij

(54) SHIELDING SYSTEM FOR WATER-MODERATED REACTOR CONTAINMENT

(57) Abstract:

FIELD: nuclear reactors. SUBSTANCE: annular header made in concrete cavity at floor level of reactor room is joined at its bottom part with reactor room by wide tunnels and coolant supply facility is incorporated which has channels and connecting boxes of steam generators and header. Cavity accommodates coolant discharge device built up of channels and used to connect top part of concrete cavity and steam generator boxes. Reactor room houses basket whose top and bottom parts are perforated and bottom has drainage which mounts supporting structure in the form of grid or perforated sheet. EFFECT: improved design. 18 cl, 5 dwg



Изобретение относится к ядерной энергетике, конкретно к системам защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа и к устройствам для локализации расплавленной или разрушенной активной зоны, вышедшей за пределы корпуса реактора в процессе протекания тяжелой аварии.

Известен метод защиты основания защитной оболочки ядерного реактора и устройство для осуществления этого метода [1] Устройство состоит из графитовых блоков с полостями для приема кориума, расположенных со смещением друг относительно друга так, чтобы избежать попадания кориума на нижележащие блоки, каналов для отвода пара, горизонтальных трубопроводов для подвода охлаждающего теплоносителя, бассейна-барботера, из которого теплоноситель по трубопроводам поступает в бетонную шахту, сухого колодца, предназначенного для перепуска пара из бетонной шахты в барботер, труб подачи пара из сухого колодца под уровень воды в бассейн-барботер, активных клапанов в трубопроводах на входе в бетонную шахту, действующих автоматически или управляемых дистанционно, выплавляемых пробок, предназначенных для пассивной защиты трубопроводов и установленных на входах трубопроводов в бетонную шахту.

Недостатки технического решения [1]

1) до начала, в процессе и сразу после поступления кориума в бетонную шахту, шахта остается сухой, и только после нагрева графитовых блоков в бетонную шахту подается вода через автоматические или дистанционно управляемые клапаны; клапаны, являясь активной системой, не позволяют использовать принцип пассивности и в случае отказа либо по общей причине, либо в результате локальных гидродинамических воздействий блокируют поступление воды в бетонную шахту;

2) плавящиеся при высокой температуре пробки, предназначенные для защиты клапанов и трубопроводов подачи воды, могут не сработать в случае прямого контакта с окисленным или металлизированным кориумом, так как при таком контакте возможно совершенно различное как механическое так и химическое состояние материалов, при котором возможно заваривание трубопроводов образовавшимися тугоплавкими окислами, забивание диспергированными шлаками в виде мелких гранул, песка, окалины, или разрушение части трубопровода, в случае несимметричного распределения кориума по дну бетонной шахты;

3) если пробка все-таки расплавится под воздействием кориума, то поступающая под гидростатическим давлением в кориум вода способна вызвать паровой взрыв, так как объем рассредоточения кориума в балочной системе достаточно большой;

4) постепенное заполнение кориумом сухого штабеля блоков не гарантируется многорядностью системы, так как существует целый ряд гидромеханических режимов обрушения днища корпуса реактора или струйного истечения кориума (вязкость некоторых типичных видов кориума близка к вязкости воды), в результате которых возможен прямой контакт кориума с дном

бетонной шахты (балочная система [1] является для таких режимов истечения гидродинамически прозрачной системой, см. эксперименты Р.Ф.Масагутова с сотр. и библиографию [2] в этом случае трубопроводы подачи воды будут заварены, заплавлены или зашлакованы кориумом или его компонентами; таким образом, шахта в процессе протекания тяжелой аварии останется сухой;

5) в случае отказа клапанов или выплавных пробок до момента поступления кориума в бетонную шахту произойдет полный залив бетонной шахты водой, последующее падение кориума в воду приведет к паровому взрыву и разрушению защитных барьеров;

6) при частичном заполнении штабеля блоков водой до момента поступления кориума в бетонную шахту (заполнение водой возможно не только в результате отказа клапанов или расплавления пробок, но и в результате течи теплоносителя из корпуса реактора; в результате того, что дренаж из бетонной шахты не предусмотрен, уровень воды может находиться на любой отметке, вплоть до полного залива бетонной шахты водой) возможно образование ударной волны парового взрыва внутри штабеля блоков в результате поступления туда кориума;

7) в предлагаемом решении отсутствует защита от паровых взрывов при циклическом или многостадийном процессе поступления кориума в бетонную шахту, при которых может возникнуть ситуация, когда на первую порцию упавшего на штабель блоков кориума подается вода; вода заполняет штабель блоков, и после этого в воду падает вторая порция кориума из активной зоны; в этом случае невозможно избежать парового взрыва со всеми вытекающими последствиями;

8) конструкция бетонной шахты не пропорциональна: диаметр меньше ее высоты, что приводит к существованию направляющей поверхности для развития ударной волны в осевом направлении;

9) совокупность подводящих воду к бетонной шахте длинных горизонтальных каналов не может выполнять функцию кольцевого коллектора, так как гидравлически независимые каналы не могут одинаково демпфировать гидродинамические возмущения в бетонной шахте, эти каналы будут работать в различных режимах, что при сильных возмущениях давления может привести к их полному блокированию (не только механическому, но в том числе и гидродинамическому под воздействием обратных токов теплоносителя из бетонной шахты);

10) взаимодействие теплоносителя с кориумом при высоких температурах последнего может привести к возникновению локальных "качающихся" циркуляций с полной или частичной блокировкой поступающего по горизонтальным каналам в бетонную шахту теплоносителя, предназначенного для охлаждения кориума; возникновение и развитие такого рода режимов связано с отсутствием кольцевого раздающего коллектора, так как горизонтальные изолированные трубопроводы работают независимо с различной нагрузкой, зависящей от пространственного

60

расположения кориума в бетонной шахте, и не могут обеспечить равномерное поступление охлаждающего теплоносителя.

Кроме того, известна система защиты для ядерного реактора на атомных станциях [3] которая содержит конструкцию, расположенную под реактором и погруженную в холодную жидкость, конструкция преграждает движение расплавленного материала кориума из реактора на пол подреакторного помещения таким образом, что расплавленный материал окончательно распределяется на большой площади в элементах конструкции и отдает свое тепло охлаждающей жидкости.

Недостатки технического решения [3]

1) представленная в [3] конструкция находится в воде и при падении кориума с большой высоты обеспечивает его быстрое торможение в верхнем слое воды и эффективное перемешивание с водой, чем достигается ускоренное развитие и распространение ударной волны парового взрыва, которая в данной конструкции может привести не только к разрушению бетонной шахты, но и значительным повреждениям других защитных барьеров;

2) при струйном истечении или дискретном падении порций кориума возможно зарождение и развитие ударных волн внутри конструкции [3] причем балочная система, из которой выполнена конструкция, не является преградой на пути прохождения ударных волн и не способна защитить бетонную шахту от разрушения, так как для фронта распространения ударной волны такая конструкция является гидродинамически прозрачной и не обладает заметным сопротивлением, способным затормозить развитие и продвижение ударной волны [2]

3) при использовании в конструкции [3] системы защиты балочной системы с плотной горизонтальной многорядной упаковкой или пакета перфорированных листов возможна ситуация (и она будет тем вероятней, чем плотнее горизонтальные балочные перекрытия, или чем меньше проходное сечение дырчатых листов), когда кориум, пройдя несколько вертикальных слоев балок, рассредоточится и смешается с холодной водой, при этом образовавшаяся ударная волна, не имея возможности обогнуть балочную систему и выйти в бетонную шахту, разрушит конструкцию системы защиты, бетонную шахту и вызовет повреждения или разрушения защитных барьеров;

4) в случае струйного истечения кориума из корпуса реактора в конструкцию системы защиты [3] возникает ситуация, при которой постепенное вытекание кориума приводит к заполнению ограниченной по радиусу области конструкции, так как на периферии эта область охлаждается пароводяной смесью с образованием гарнисажа (гарнисаж твердая корка, состоящая в основном из окислов, в том числе и тугоплавких, и других твердых соединений, теплофизические свойства которой изменяются по толщине, это изменение обусловлено структурой корки: слоистостью, газовыми пузырями, трещинами, пористостью, плотными и прочными включениями и др.), а в центре перегретым паром, то поступление кориума из корпуса реактора в конструкцию будет сопровождаться разогревом и увеличением

аксиальных размеров этой области, при этом под действием струйного истечения область практически сухого взаимодействия кориума и конструкции системы защиты, достигнув пола бетонной шахты, захватывает строительный бетон и выходит за пределы гермоゾны;

5) использование для предотвращения прямого попадания кориума в воду ложного днища, расположенного под днищем корпуса реактора и над уровнем воды в бетонной шахте, не приведет к радикальной защите оборудования от паровых взрывов, так как и в случае отрыва днища, и в случае его разрушения кориум разогреет и проплавит или разрушит сухое ложное днище и обрушится в воду, что приведет к паровому взрыву со всеми вытекающими последствиями;

6) выполненные каналы в ложном днище для струйного пропускания кориума должны, по мнению авторов, предотвратить падение кориума в воду и воспрепятствовать развитию парового взрыва, однако при отрыве днища корпуса реактора эти каналы перестают выполнять свои функции, так как перекрываются оторвавшимся днищем, а возможное последующее струйное истечение кориума может привести к нежелательному забросу воды на ложное днище (от этого эффекта конструкция не защищена), что ведет к попаданию воды на поверхность расплавленного кориума, локальному повышению давления и обрушению всей разогретой конструкции вместе с жидким кориумом в воду, вследствие чего происходит прямой контакт кориума с водой, образование и распространение ударной волны парового взрыва с описанными выше последствиями.

Известно устройство реакторная установка [4] состоящее из: гермоゾны, реактора, парогенераторов, главных циркуляционных насосов, компенсатора объема, главных циркуляционных трубопроводов, гидроемкостей системы аварийного охлаждения активной зоны, насосов низкого и высокого давления системы безопасности, подпиточных насосов системы нормальной эксплуатации, соединяющих трубопроводов, фермы опорной, расположенной под зоной патрубков корпуса реактора, теплоизоляции цилиндрической части корпуса реактора, металлоконструкции сухой защиты, трубопроводов подачи воздуха, крупногабаритных деталей защиты днища корпуса реактора, под реакторного помещения, разделенного на два этажа площадкой обслуживания, механизма поворота для осмотра корпуса реактора, люка-лаза с наружной и внутренней гермодверями, соединенного с обслуживающим помещением, кабельных проходок для подвода электроэнергии в подреакторное помещение.

Недостатки технического решения [4]

1) защитная оболочка реакторной установки [4] в процессе протекания тяжелой аварии не защищена от разрушения при паровых взрывах, которые могут происходить в бетонной шахте реактора в случаях разрушения корпуса реактора и падения расплава активной зоны в воду, находящуюся в бетонной шахте; бетонная шахта реакторной установки [4] не защищена от затопления теплоносителем в процессе протекания тяжелой аварии, а система

дренажа не может обеспечить в авариях с полным обесточиванием или в авариях с большими течами дренажа дренирование поступающего в бетонную шахту теплоносителя;

2) защитная оболочка реакторной установки [4] в процессе протекания тяжелой аварии не защищена ни от разрушения при падении кориума в сухую бетонную шахту, ни от размывания при струйном истечении кориума из корпуса реактора;

3) нет возможности осуществлять контролируемое управляемое охлаждение кориума при выходе его за пределы корпуса реактора, контролировать химический состав, скорость эрозии бетона, предотвратить возникновение повторной критичности при заливе кориума теплоносителем с недостаточным содержанием поглотителя; предотвратить возникновение взрывов водородосодержащих смесей.

По совокупности признаков, включая конструктивные особенности, устройство [4] является наиболее близким аналогом и взято за прототип.

Целью предлагаемого изобретения является создание системы защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа при строительстве новых ядерных энергетических установок с реакторами типа ВВЭР, обеспечивающей повышение надежности удержания кориума в бетонной шахте реактора в пределах гермозоны в авариях с разрушением активной зоны и выходом кориума за пределы корпуса реактора.

Эта задача решается для проектируемых блоков АЭС с водо-водяными реакторами типа ВВЭР, для которых основными принципами создания системы защиты защитной оболочки являются:

1) принцип наружного водяного, пароводяного и парогазового охлаждения корпуса реактора;

2) принцип максимального использования особенностей конструкции бетонной шахты и обслуживающих систем для организации естественной циркуляции теплоносителя между бетонной шахтой и полом боксов парогенераторов.

Предлагаемая система защиты защитной оболочки выполняет свои функции в условиях:

1) быстрого или медленного непрерывного поступления воды в бетонную шахту в любой момент протекания аварии, как от систем безопасности, систем нормальной эксплуатации, так и в результате разрушений элементов оборудования реакторной установки;

2) полного или частичного залива бетонной шахты водой;

3) периодического (импульсного) поступления воды в бетонную шахту;

4) воздушного охлаждения (используется как постоянная или временная мера до подачи газа в бетонную шахту).

5) водовоздушного охлаждения, при одновременном поступлении в подреакторное помещение газа и охлаждающего теплоносителя (используется для предотвращения паровых взрывов на начальной стадии водяного охлаждения кориума в подреакторном помещении в авариях, развивавшихся по "сухому"

сценарию).

Система защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа обеспечивает:

1) естественную водяную, пароводяную и парогазовую циркуляцию охлаждающего теплоносителя в бетонной шахте с кориумом,

2) контролируемый химический состав,

3) контролируемый рост давления при контакте кориума с теплоносителем,

4) ограничение влияния паровых и водородных взрывов на процесс локализации и охлаждения кориума, вследствие чего появляется возможность обеспечить надежную локализацию, удержание и охлаждение кориума в пределах гермозоны.

Процесс поступления кориума в бетонную шахту сводится к двум различным механизмам, он начинается:

1) с проплавления или разрушения днища или боковой поверхности корпуса реактора;

2) с разрушения сварного шва и обрыва всего днища корпуса реактора.

Эти два процесса определяют два различных механизма поступления кориума или разрушенных твердых обломков активной зоны в бетонную шахту:

1) механизм струйного истечения кориума;

2) механизм обрушения со значительным перекрытием проходного сечения системы защиты защитной оболочки.

Процесс протекания тяжелой аварии сопровождается различными отказами или непроектными периодическими срабатываниями систем безопасности и систем нормальной эксплуатации. В результате отказов или непроектных режимов работы этих систем к моменту выхода кориума в бетонную шахту в ней может содержаться любое (по уровню) количество теплоносителя. Бетонная шахта может быть:

1) полностью залита водой;

2) неполностью залита водой;

3) залита водой;

4) неполностью залита водой только под опорной конструкцией в зоне дренажа.

Техническим результатом изобретения является повышение безопасности ядерной энергетической установки в случае разрушения активной зоны и выхода кориума за пределы корпуса реактора.

Изобретение поясняется фиг. 1-4.

Технический результат достигается за счет того, что система защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа, содержащая гермозону 1, реактор 2, боксы парогенераторов 3, ферму опорную 4, расположенную под зоной патрубков 5 корпуса реактора, теплоизоляцию 6 цилиндрической части корпуса реактора, металлоконструкцию 7 сухой защиты, трубопроводы подачи воздуха 8, бетонную шахту 9 с подреакторным помещением 10, люк-лаз 11, с наружной 12 и внутренней 13 гермодверями, собрана в следующем порядке:

в бетонной шахте 9 на уровне пола подреакторного помещения 10 выполнен кольцевой реактор 14, верхняя часть которого выполнена в виде купола с ребрами жесткости 15, делящими кольцевой реактор 14 на сектора и обеспечивающими герметичность этих секторов между собой с сохранением компенсирующих функций при частичном разрушении кольцевого

коллектора, соединенного в своей нижней части с подреакторным помещением 10 широкопрофильными проходками 16 для пропускания воды в виде окон, арок;

в бетонной шахте 9 выполнено устройство для подвода теплоносителя 17 в бетонную шахту 9, состоящее не менее, чем из двух каналов в виде колодцев, трубопроводов, радиальных щелей, соединяющее боксы парогенераторов 3 и кольцевой коллектор 14;

в бетонной шахте выполнено устройство для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9, состоящее не менее, чем из двух каналов в виде колодцев, трубопроводов, радиальных щелей, соединяющее верхнюю часть бетонной шахты 9 и боксы парогенераторов 3;

в верхние части каналов устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9 установлены водяные контейнеры нейтронной защиты 40, выполненные в виде тонкостенных герметичных по воде оболочек;

напротив входов в каналы устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9 установлены отбойные щитки 42, наклоненные к вертикальной оси под углом в пределах 5-15 град, нижние концы которых направлены в сторону стены бетонной шахты 9;

в подреакторном помещении 10 установлена прочная на разрыв и смятие корзина 19 защищающая стены подреакторного помещения 10 от ударных нагрузок и прямого теплового контакта с кориумом, причем, цилиндрическая' часть корзины 19 установлена с зазором не менее 50 мм к стенам подреакторного помещения 10 для воздушного охлаждения подреакторного помещения 10, для гашения ударных нагрузок и для прохода охлаждающего теплоносителя при разрушении крышки-ограничителя 29, выполненная 'из листов, труб, швеллеров, двутавров, коробчатых конструкций с помощью сварных, болтовых соединений между элементами корзины;

между днищем корзины 19 и полом подреакторного помещения 10 установлены противоударные упругопластичные амортизаторы 32, выполненные из гнутых профилей, торOIDальных колец;

в выполнленном зазоре между корзиной 19 и стенами подреакторного помещения 10 установлены упругопластичные ребра-ограничители 34 в виде труб, коробчатых конструкций, гнутых профилей, выполняющие защитные функции и предохраняющие корзину 19 от смещения и перекрытия зазора;

вверху и внизу цилиндрической части установленной корзины 19, выполнена перфорация высотой не менее 300 мм;

напротив выполненного кольцевого коллектора 14, для пропуска воды выполнены проходки в виде широкопрофильной перфорации, окон, арок, обращенных внутрь патрубков;

в верхней цилиндрической части корзины 19 выполнена узкопрофильная перфорация для воздушного охлаждения подреакторного помещения 10 или охлаждения контролируемыми протечками теплоносителя;

между стеной бетонной шахты 9 выше широкопрофильных проходок 16 и стеной корзины 19 по всему периметру корзины 19 установлен дросселирующий элемент 41,

выравнивающий гидравлические сопротивления двух трактов: цилиндрической щели между стеной бетонной шахты 9 и установленной корзиной 19 и тракта внутри корзины 19 до выполненной вверху корзины перфорации;

на днище корзины 19 установлен дренаж 20 в виде перфорированных труб, перфорированных швеллеров, двутавров, перфорированных коробчатых конструкций;

Дренаж 20 предназначен для гарантированного подвода охлаждающей воды при различных вариантах развития аварии с учетом обрушения, смятия, расплавления и диспергирования вышерасположенных элементов системы защиты защитной оболочки;

дренаж 20 выполнен с ограничителем 33 в виде сварных, болтовых соединений между элементами дренажа 20 для предотвращения смещений и самоблокирования элементов дренажа 20, что необходимо для сохранения гарантированных проходных сечений для подачи охлаждающего теплоносителя в бетонную шахту снизу под элементы системы защиты защитной оболочки реакторной установки;

на установленном дренаже 20 установлена опорная конструкция 21 в виде решетки или перфорированного листа, которая предназначена для удержания элементов системы защиты, защиты пола бетонной шахты 9 от прямого контакта с кориумом, демпфирования гидроударов и механических ударных нагрузок, связанных с падением кориума, с отрывом днища корпуса реактора 2 или внутрикорпусных устройств реактора;

опорная конструкция 21 выполнена для разделения водяного и парогазового объемов бетонной шахты 9 в процессе протекания тяжелой аварии;

установленная опорная конструкция 21 жестко связана с цилиндрической стеной и днищем корзины 19 с помощью сварных, болтовых соединений;

на днище корзины 19 установлено не менее двух независимых коллекторов подачи газа 22;

в выполненных каналах устройства для подвода теплоносителя 17 в бетонную шахту 9 установлены трубопроводы 23, соединенные с коллекторами подачи газа 22;

на установленных коллекторах подачи газа 22 установлены патрубки 24 подачи газа в нижнюю часть корзины 19;

на установленную опорную конструкцию 21, вплотную к цилиндрической части корзины 19, вплотную друг к другу, занимая весь объем корзины 19, установлены тугоплавкие элементы 25 с пустотами в виде вертикальных глухих отверстий 26, сквозных вертикальных отверстий 27 и горизонтальных канавок 28 для прохода охлаждающего теплоносителя, причем, тугоплавкие элементы в виде Т-образных, прямоугольных, П-образных кирпичей установлены слоями с образованием в совокупности каналов в горизонтальном и вертикальном направлениях для рассредоточения кориума, вертикальные глухие отверстия 26, установленные в верхнем положении, образуют внутренние локальные газовые компенсаторы паровых и водородных взрывов, а установленные в нижнем

положении накопители для кориума;

оси вертикальных отверстий 27 на смежных кирпичах 25 смещены друг относительно друга;

кирпичи выполнены из диоксидциркониевого гидратационного твердения бетона с введенным в него поглотителем нейтронов;

кирпичи имеют Т-образную форму, выполнение кирпичей 25 из тугоплавкого материала Т-образной формы позволяет уложить их "взамок" и затрудняет их выброс локальными паровыми и водородными взрывами;

тугоплавкие элементы 25 предназначены для:

рассредоточения и поглощения кориума; снижения его температуры начала плавления (температура solidus) при "сухом" варианте развития аварии;

введения в систему кориум-теплоноситель поглотителей нейтронов для предотвращения повторной критичности при заливе кориума водой;

изменения фазового состава кориума при расплавлении тугоплавких элементов 25;

обеспечения растрескивания при охлаждении химически прореагировавшего с тугоплавкими элементами 25 кориума с образованием диспергированной структуры для последующего охлаждения в режиме пористого тела либо в режиме крупнодисперсной структуры;

на установленные в корзину 19 тугоплавкие элементы 25, вплотную к цилиндрической стене бетонной шахты 9, с ограниченным зазором до наружной поверхности днища корпуса реактора 2, в пределах 140-450 мм и с повторением его профиля, установлена герметичная по воде прочная на смятие и разрыв крышка-ограничитель 29, выполненная из листов, труб, швеллеров, двутавров, коробчатых конструкций с помощью сварных, болтовых соединений между элементами крышки-ограничителя 29, с центральным отверстием в крышке-ограничителе 29, выполненном в пределах 0,5-5 кв.м, для прохода теплоносителя;

установленная крышка-ограничитель 29 жестко связана с цилиндрической стеной корзины 19 с помощью сварных, болтовых соединений;

установленная крышка-ограничитель 29 выполнена с радиальными ребрами 35, расположенными вдоль днища корпуса реактора 2 и повторяющими его профиль, с зазором до наружной поверхности днища в пределах 50-150 мм,

по периметру верхней образующей установленной крышки- ограничителя 29, обращенной в сторону фермы опорной 4 и расположенной вблизи цилиндрической стены корзины 19, симметрично установлено не менее двух мембран 37, рассчитанных на избыточное давление не более 0,5 МПа суммарным проходным сечением не менее $0,2 \text{ м}^2$.

днище установленной крышки-ограничителя 29 выполнено под углом наклона к центру крышки-ограничителя 29 не менее 15 град. при этом поверхность контакта крышки-ограничителя 29 с тугоплавкими элементами 25 есть наклоненная к центру крышки-ограничителя

29 воронка, нижнее сечение которой расположено на оси симметрии крышки-ограничителя 29, а верхнее сечение на расстоянии радиуса от ее оси;

внутри установленной крышки-ограничителя 29 с зазором не менее 50 мм до внутренней стороны поверхности крышки-ограничителя 29, обращенной к днищу корпуса реактора 2, установлен воздушный компенсатор паровых и водородных взрывов 30, герметичный по воде со стороны, обращенной к днищу корпуса реактора 2 и со стороны, обращенной к цилиндрической стене бетонной шахты 9,

в зазоре между внутренней стороной поверхности установленной

крышки-ограничителя 29, обращенной к днищу корпуса реактора 2, и наружной стороной поверхности установленного воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 выполнены ребра жесткости 36, препятствующие перекрытию зазора или повреждению воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 при упругих формоизменениях обращенной к днищу корпуса реактора 2 поверхности крышки-ограничителя 29.

по периметру верхней образующей установленного воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 симметрично установлено не менее двух мембран 38, рассчитанных на избыточное давление не более 0,5 МПа суммарным проходным сечением не менее $0,2 \text{ м}^2$;

воздушный компенсатор паровых и водородных взрывов 30 выполнен в форме симметрично расположенных герметичных упругих цилиндрических секторов, выполненных с учетом общего количества установленных на воздушном компенсаторе паровых и водородных взрывов 30 мембран 38,

в установленном воздушном компенсаторе паровых и водородных взрывов 30 установлено не менее одного гидродинамического гасителя 39, выполненного в виде перфорированного листа, гибких мембран, упругоразмыкаемых пластин;

на полу люка-лаза 11, между наружной 12 и внутренней 13 гермодверями, с конструктивным зазором к ним, вплотную к стенам и потолку люка-лаза 11, установлены термостойкие тугоплавкие элементы 31 в виде прямоугольных или профилированных элементов;

заполнение люка-лаза 11 термостойкими тугоплавкими элементами 31 выполняется для:

повышения термической стойкости к проплавлению люка-лаза 11 при "сухом" варианте развития тяжелой аварии;

повышения динамической устойчивости люка-лаза 11 при воздействии на него ударных нагрузок.

Процесс протекания тяжелой аварии, сопровождающейся разрушением активной зоны, условно можно разделить на две крупные стадии:

1) на первой стадии кориум находится внутри корпуса реактора 2 (к этой стадии относится авария с отрывом днища корпуса реактора, так как при этом само днище в направлении вертикальной оси перемещается незначительно, упираясь в радиальные ребра

35 крышки-ограничителя 29 и кориум до разрушения днища остается внутри корпуса реактора 2);

2) на второй стадии кориум находится в бетонной шахте 9 (к этой стадии относится авария с боковым разрушением корпуса реактора 2, при которой кориум вытекает со стороны боковой поверхности корпуса; на этой стадии днище сохраняет свою целостность дольше, чем боковая поверхность корпуса реактора 2).

На первой стадии тяжелой аварии поступление кориума на днище корпуса реактора 2, приводит к разогреву корпуса. В условиях нормальной эксплуатации корпус изнутри омывается теплоносителем с температурой около 300 град. С. Тяжелая авария с разрушением активной зоны возможна при недостаточном охлаждении тепловыделяющих элементов (твэлов), что может быть связано с разрушением первого контура, отказом элементов системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ) и другими причинами, приводящими к сверхпроектным отказам оборудования и систем реакторной установки (РУ). При разрушении корпуса реактора 2, элементов второго контура, (находящихся в пределах гермозоны (не показаны), теплоноситель поступает на пол боксов парогенераторов. По каналам устройства для подвода теплоносителя 17 в бетонную шахту 9 теплоноситель поступает в кольцевой коллектор 14 и далее в корзину 19. Заполнение теплоносителем бетонной шахты 9 производится снизу, что необходимо для постепенного вытеснения воздуха из корзины и пространства вокруг корпуса реактора. Такой порядок заполнения обеспечивается специальным расположением каналов устройства для подвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9. Заполнение каналов устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9 приводит к всплытию водяных контейнеров защиты 40 и освобождению проходного сечения каналов. После заполнения бетонной шахты 9 теплоносителем и замыкания контура циркуляции по воде между боксами парогенераторов 3 и подреакторным помещением 10, устанавливается естественная водяная циркуляция теплоносителя, которая обеспечивает теплосъем с наружной поверхности днища и цилиндрической части корпуса реактора 2. Профиль водяной циркуляции теплоносителя вдоль наружной поверхности днища конструктивно задан направляющей, образованной наружной поверхностью крышки-ограничителя 29. При перегреве днища или при недостаточном количестве поступающего в подреакторное помещение 10 теплоносителя устанавливается естественная парогазовая или пароводяная циркуляция теплоносителя. Вода, парогазовая или пароводяная смеси выходят из бетонной шахты 9 по трубопроводам устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9 и по дополнительному тракту цилиндрической поверхности корпуса реактора 2, через ферму опорную 4 в зону патрубков 5 корпуса реактора.

Вторая стадия тяжелой аварии сопровождается разрушением днища корпуса 2 и поступлением кориума на наружную

поверхность крышки-ограничителя 29 в пространство между днищем и крышкой-ограничителем 29. Температура теплоносителя в бетонной шахте лежит в интервале 40-100 град. С, нижнее значение которого определяется температурой воды в гидроемкостях САОЗ (при поступлении воды минуя активную зону непосредственно на пол боксов парогенераторов 3), а верхнее значение определяется температурой кипения теплоносителя (при поступлении теплоносителя из первого контура в случае его разрушения). Разница температур между корпусом реактора 2, который разогревается при контакте с кориумом, и поступающим в бетонную шахту 9 теплоносителем создает тяговой экономайзерный участок вдоль днища корпуса реактора 2. Возникает естественная конвекция теплоносителя между бетонной шахтой 9 и боксами парогенераторов 3 по следующему тракту:

- 1) по каналам устройства для подвода теплоносителя 17 в бетонную шахту 9;
- 2) по кольцевому коллектору 14;
- 3) по дренажу 20;
- 4) в тугоплавких элементах 25 с пустотами в виде вертикальных глухих отверстий 26, сквозных вертикальных отверстий 27 и горизонтальных канавок 28 для прохода теплоносителя;
- 5) в крышке-ограничителе 29;
- 6) по кольцевым каналам между наружной поверхностью корпуса реактора 2, теплоизоляцией 6 цилиндрической части корпуса реактора и металлоконструкцией 7 сухой защиты;

- 7) по каналам устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9;
- 8) через ферму опорную 4;
- 9) в боксы парогенераторов;

В процессе протекания тяжелой аварии в пространстве между днищем и крышкой-ограничителем 29 может находиться жидкий теплоноситель, который представляет потенциальную угрозу целостности защитной оболочки при возникновении условий для прямого взаимодействия с кориумом. Однако, до момента проплавления или до момента разрушения днища корпуса реактора 2, теплоноситель в узком щелевом пространстве между днищем и крышкой-ограничителем 29 находится либо в гомогенном насыщенном состоянии, либо в гетерогенном двухфазном состоянии (это состояние отличается тем, что теплоноситель имеет границу раздела между фазами), причем, слой жидкости в такой системе находится при температуре близкой к температуре насыщения, а перегретый корпус реактора с наружной стороны окружает паровой насыщенный или перегретый слой, что существенно снижает как вероятность образования ударной волны, так и силу парового взрыва в случае его возникновения. Оценки, опирающиеся на экспериментальные исследования [2] показывают, что в стоячем гомогенном или гетерогенном двухфазном теплоносителе узкого щелевого пространства непосредственно примыкающего к днищу корпуса реактора возможно локальное повышение давления при разрушении днища, вызванное выходом кориума в теплоноситель щелевого пространства.

Это локальное давление приводит к распространению ударной волны в узком щелевом пространстве между днищем и

R
U
2
1
0
6
0
2
6
C
1

крышкой-ограничителем 29 и вокруг корпуса реактора 2. Крышка-ограничитель 29 под действием давления сминается в два этапа:

1) сначала сминается (разрушается) поверхность самой крышки- ограничителя 29, находящаяся между радиальными ребрами 35;

2) затем сминается (разрушается) воздушный компенсатор паровых и водородных взрывов 30 в крышке-ограничителе 29.

Эффективное гашение ударной нагрузки смятием (разрушением) крышки- ограничителя 29 и воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 обеспечивается их постоянным воздушным наполнением. Последующее истечение пароводяной или паровоздушной смеси из бетонной шахты происходит по кольцевым насосным щелевым каналам: вдоль боковой поверхности корпуса реактора 2, вдоль теплоизоляции 6 цилиндрической части корпуса реактора 2 и вдоль металлоконструкции 7 сухой защиты, через ферму опорную 4, расположенную под зоной патрубков 5 корпуса реактора 2, в помещения боксов парогенераторов (не показаны) и далее в объем гермозоны 1.

В случае отрыва днища корпуса реактора 2 теплоноситель из пространства между днищем корпуса и крышкой-ограничителем 29 будет выдавлен в щелевые цилиндрические каналы, расположенные вокруг корпуса реактора 2, и парового взрыва не произойдет.

При возникновении ударных нагрузок в пространстве между днищем корпуса реактора 2 и крышкой-ограничителем 29 возможно разрушение крышки- ограничителя 29 и воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 с последующим поступлением кориума в бетонную шахту 9, в этом случае поглощение энергии одной или серии ударных волн будет происходить на тугоплавких элементах 25 с пустотами в виде вертикальных глухих отверстий 26 (объем воздушного пространства которых позволяет эффективно поглощать энергию ударных волн при однократном или многократном их воздействии на эти элементы), на корзине 19 и в кольцевом коллекторе 14, верхняя часть которого выполнена в виде воздушного компенсатора (купол с ребрами жесткости 15, делящими кольцевой коллектор 14 на герметичные сектора, обеспечивающие компенсирующие функции при гидроударах и паровых взрывах).

При поступлении кориума из корпуса реактора на крышку-ограничитель 29, возможно скольжение кориума к центру крышки-ограничителя 29 и попадание кориума в воду внутри центрального отверстия крышки-ограничителя 29. В этом случае возможно образование ударных волн в каналах тугоплавких элементов 25, образованных сквозными вертикальными отверстиями 27 и горизонтальными канавками 28 для прохода теплоносителя. Для предотвращения первоначального разрушения тугоплавких элементов 25 от воздействия ударных волн в воздушном компенсаторе паровых и водородных взрывов 30 и в крышке-ограничителе 29 выполнены мембранны 37 и мембранны 38, которые разрываются при избыточном давлении более 0,5 МПа и обеспечивают сброс парогазовой

смеси в пространство между корпусом реактора 2 и бетонной шахтой 9. Мембранны предусмотрены для случая, если компенсаторных способностей воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 с гидродинамическим гасителем 39 и с ребрами жесткости 36 между крышкой-ограничителем 29 и воздушным компенсатором паровых и водородных взрывов 30 окажется недостаточно для снижения давления.

При поступлении кориума в каналы, образованные сквозными вертикальными отверстиями 27 и горизонтальными канавками 28 тугоплавкие элементы 25 обеспечивают удержание и охлаждение кориума. Выполнение слоев тугоплавких элементов 25 в виде кирпичей с пустотами в виде сквозных вертикальных отверстий 27 и горизонтальных канавок 28, образующих в совокупности каналы для рассредоточения кориума, а также в виде вертикальных глухих отверстий 26, образующих в верхнем положении внутренние локальные газовые компенсаторы паровых и водородных взрывов, а в нижнем положении накопители для кориума, позволяет кориуму, попавшему на кладку, проваливаться в каналы, направленно растекаясь от места истечения, образуя тем самым значительную поверхность для съема тепла теплоносителем с одной стороны, а с другой предотвращая контакт больших масс кориума с большими объемами теплоносителя, поднимающегося по каналам снизу вверх за счет гидравлического подпора, тем самым предотвращая паровые и водородные взрывы большой силы. Локальные же взрывы гасятся локальными газовыми компенсаторами паровых и водородных взрывов, находящимися внутри тугоплавких элементов 25. Образование единой ударной волны в такой геометрии невозможно.

То, что оси вертикальных каналов на смежных кирпичах смешены друг относительно друга, дает возможность выбрать сечение каналов таким образом, чтобы воспрепятствовать быстрому проникновению кориума на большую глубину, что может привести к разрушению бетонной шахты. Вместе с тем, это обеспечивает возможность охлаждения находящегося в пустотах кориума теплоносителем.

Использование в качестве тугоплавкого материала диоксидциркониевого гидратационного твердения бетона, имеющего температуру рабочего применения 2300-2500°C, делает кладку достаточно термостойкой, обеспечивая в отличие от графита высокую химическую инертность, на нее не влияет или мало влияет введение модификаторов, например, бора. Это препятствует разрушению кладки при попадании в нее кориума. Введение в бетон поглотителя нейтронов, например, бора, исключает возможность вторичной цепной реакции.

Возможность длительного охлаждения расплава в бетонной шахте 9 обеспечивается свойствами тугоплавких элементов 25, заполняющих корзину 19 и свойствами самой системы защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водянного типа:

1) в случае механического разрушения элементов системы защиты защитной

оболочки, составляющие ее тугоплавкие элементы 25 сохраняют свои свойства, то есть свойства пористого тела;

2) гидродинамическое сопротивление в любом механическом состоянии (регулярная укладка тугоплавких элементов 25; нерегулярное расположение элементов 25; состояние, при котором элементы 25 подверглись механическому разрушению или деформации, резко не изменяется ни в большую, ни в меньшую сторону и имеет близкое значение к гидродинамическому сопротивлению при регулярной укладке тугоплавких элементов 25 со смещением;

3) высота корзины 19 с тугоплавкими элементами 25 и ее объем позволяют надежно удерживать расплав от контактов со стенами бетонной шахты в процессе длительного охлаждения кориума;

4) объем пустот в корзине 19 с тугоплавкими элементами 25 позволяет рассредоточить внутри него до 150 т расплава, а свойства тугоплавких элементов 25 как пористого тела позволяют обеспечить длительное устойчивое охлаждение кориума;

5) пол бетонной шахты 9 с кольцевым коллектором 14 и площадью 30 кв. м обеспечивает рассредоточение и охлаждение кориума.

Конструкция элементов системы защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа позволяет обеспечить следующие меры по длительному охлаждению и консервации расплава:

1) подачу воды от внешнего источника либо пассивным заливом бетонной шахты 9, либо активным гидродинамическим вентилированием с помощью насосов САОЗ;

2) подачу воздуха по трубопроводам 23, соединенным с коллекторами подачи газа 22 и далее по патрубкам 24 подачи газа в нижнюю часть корзины 19 для воздушного или паровоздушного охлаждения бетонной шахты при отсутствии или недостаточной подаче охлаждающей воды.

Наиболее целесообразно предложенную систему защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа использовать при реконструкции ядерных энергетических установок с реакторами типа ВВЭР, что обеспечивается минимально-необходимым объемом работ по модернизации имеющегося оборудования.

Формула изобретения:

1. Система защиты защитной оболочки реакторной установки водо-водяного типа, содержащая гермозону 1, реактор 2, боксы парогенераторов 3, ферму опорную 4, расположенную под зоной патрубков 5 корпуса реактора, теплоизоляцию 6 цилиндрической части корпуса реактора, металлоконструкцию 7 сухой защиты, трубопроводы подачи воздуха 8, бетонную шахту 9 с подреакторным помещением 10, люк-лаз 11 с наружной 12 и внутренней 13 гермодверями, отличающаяся тем, что в бетонной шахте 9 на уровне пола подреакторного помещения 10 выполнен кольцевой коллектор 14, верхняя часть которого выполнена в виде купола с ребрами жесткости 15, делящими кольцевой коллектор 14 на сектора и обеспечивающие герметичность этих секторов между собой, соединенный в своей нижней части с подреакторным помещением 10

широкопрофильными проходками 16 для пропуска воды в виде окон, арок или проходками другого вида, в бетонной шахте 9 выполнено устройство для подвода теплоносителя 17 в бетонную шахту 9, состоящее не менее чем из двух каналов в виде колодцев, трубопроводов, радиальных щелей, соединяющее боксы парогенератора 3 и кольцевой коллектор 14, в бетонной шахте выполнено устройство для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9, состоящее не менее чем из двух каналов в виде колодцев, трубопроводов, радиальных щелей, соединяющее верхнюю часть бетонной шахты 9 и боксы парогенераторов 3, в подреакторном помещении 10 установлена корзина 19, причем цилиндрическая часть корзины 19 установлена с зазором не менее 50 мм к стенам подреакторного помещения 10, выполненная из листов, труб, швеллеров, двутавров, коробчатых конструкций с помощью сварных, болтовых соединений между элементами корзины, вверху и внизу цилиндрической части установленной корзины 19 выполнена перфорация высотой не менее 300 мм, на днище корзины 19 установлен дренаж 20 в виде перфорированных труб, перфорированных швеллеров, двутавров, перфорированных коробчатых конструкций, на установленном дренаже 20 установлена опорная конструкция 21 в виде решетки или перфорированного листа, на днище корзины 19 установлено не менее двух независимых коллекторов подачи газа 22, в выполненных каналах устройства для подвода теплоносителя 17 в бетонную шахту 9 установлены трубопроводы 23, соединенные с коллекторами подачи газа 22, на установленных коллекторах подачи газа 22 установлены патрубки 24 подачи газа в нижнюю часть корзины 19, на установленную опорную конструкцию 21, вплотную к цилиндрической части корзины 19, вплотную друг к другу, занимая весь объем корзины 19, установлены тугоплавкие элементы 25 с пустотами в виде вертикальных глухих отверстий 26, сквозных вертикальных отверстий 27 и горизонтальных канавок 28 для прохода охлаждающего теплоносителя, причем, тугоплавкие элементы 25 в виде Т-образных, прямоугольных, П-образных кирпичей установлены слоями с образованием в совокупности каналов в горизонтальном и вертикальном направлении, на установленные в корзину 19 тугоплавкие элементы 25, вплотную к цилиндрической стене бетонной шахты 9, с ограниченным зазором до наружной поверхности днища корпуса реактора 2, в пределах 150-450 мм и с повторением его профиля, установлена герметичная по воде крышка-ограничитель 29, выполненная из листов, труб, швеллеров, двутавров, коробчатых конструкций с помощью сварных, болтовых соединений между элементами крышки-ограничителя 29, с центральным отверстием в крышке-ограничителе 29, выполненным в пределах 0,5-5 м², для прохода теплоносителя, внутри установленной крышки-ограничителя 29 с зазором не менее 50 мм до внутренней стороны поверхности крышки-ограничителя 29, обращенной к днищу корпуса реактора 2, установлен воздушный компенсатор паровых и водородных взрывов 30, герметичный по воде

со стороны, обращенной к днищу корпуса реактора 2 и со стороны, обращенной к цилиндрической стене бетонной шахты 9, на полу люка-лаза 11, между наружной 12 и внутренней 13 гермодверьми с конструктивным зазором к ним вплотную к стенам и потолку люка-лаза 11 установлены термостойкие тугоплавкие элементы 31 в виде прямоугольных или профилированных элементов.

2. Система по п.1, отличающаяся тем, что на днище корзины 19 между днищем и полом подреакторного помещения 10 установлены противоударные упругопластичные амортизаторы 32, выполненные из гнутых профилей, торOIDальных колец.

3. Система по п. 1, отличающаяся тем, что дренаж 20 в виде перфорированных труб, перфорированных швейлеров, двутавров, перфорированных коробчатых конструкций выполнен с ограничителями 33 в виде сварных болтовых соединений между элементами дренажа 20.

4. Система по п.1, отличающаяся тем, что установленная опорная конструкция 21 жестко связана с цилиндрической стеной и днищем корзины 19 с помощью сварных болтовых соединений.

5. Система по п. 1, отличающаяся тем, что в выполненном зазоре между корзиной 19 и стенами подреакторного помещения 10 установлены упругопластичные ребра-ограничители 34 в виде труб, коробчатых конструкций, гнутых профилей.

6. Система по п.1, отличающаяся тем, что оси вертикальных отверстий 27 на смежных кирпичах 25 смешены друг относительно друга.

7. Система по п.1, отличающаяся тем, что кирпичи выполнены из диоксидциркониевого гидратационного твердения бетона с введенным в него поглотителем нейтронов.

8. Система по п.1, отличающаяся тем, что установленная крышка-ограничитель 29 жестко связана с цилиндрической стеной корзины 19 с помощью сварных болтовых соединений.

9. Система по п.1, отличающаяся тем, что установленная крышка-ограничитель 29 выполнена с радиальными ребрами 35, расположенными вдоль днища корпуса реактора 2 и повторяющими его профиль, с зазором до наружной поверхности днища в пределах 50-150 мм.

10. Система по п.1, отличающаяся тем, что в зазоре между внутренней стороной поверхности установленной крышки-ограничителя 29, обращенной к днищу корпуса реактора 2, и наружной стороной поверхности установленного воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 выполнены ребра жесткости 36, препятствующие перекрытию зазора или повреждению воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 при упругих формоизменениях обращенной к днищу корпуса реактора 2

поверхности крышки-ограничителя 29.

11. Система по п.1, отличающаяся тем, что по периметру верхней образующей установленной крышки-ограничителя 29, обращенной в сторону фермы опорной 4 и расположенной вблизи цилиндрической стены корзины 19, симметрично установлено не менее двух мембран 37, рассчитанных на избыточное давление не более 0,5 МПа суммарным проходным сечением не менее 0,2 м².

12. Система по п.1, отличающаяся тем, что по периметру верхней образующей установленного воздушного компенсатора паровых и водородных взрывов 30 симметрично установлено не менее двух мембран 38, рассчитанных на избыточное давление не более 0,5 МПа суммарным проходным сечением не менее 0,2 м².

13. Система по п.1, отличающаяся тем, что воздушный компенсатор паровых и водородных взрывов 30 выполнен в форме симметрично расположенных герметичных упругих цилиндрических секторов, выполненных с учетом общего количества установленных на воздушном компенсаторе паровых и водородных взрывов 30 мембран 38.

14. Система по п.1, отличающаяся тем, что в установленном воздушном компенсаторе паровых и водородных взрывов 30 установлено не менее одного гидродинамического гасителя 39, выполненного в виде перфорированного листа, гибких мембран, упругоразмыкаемых пластин.

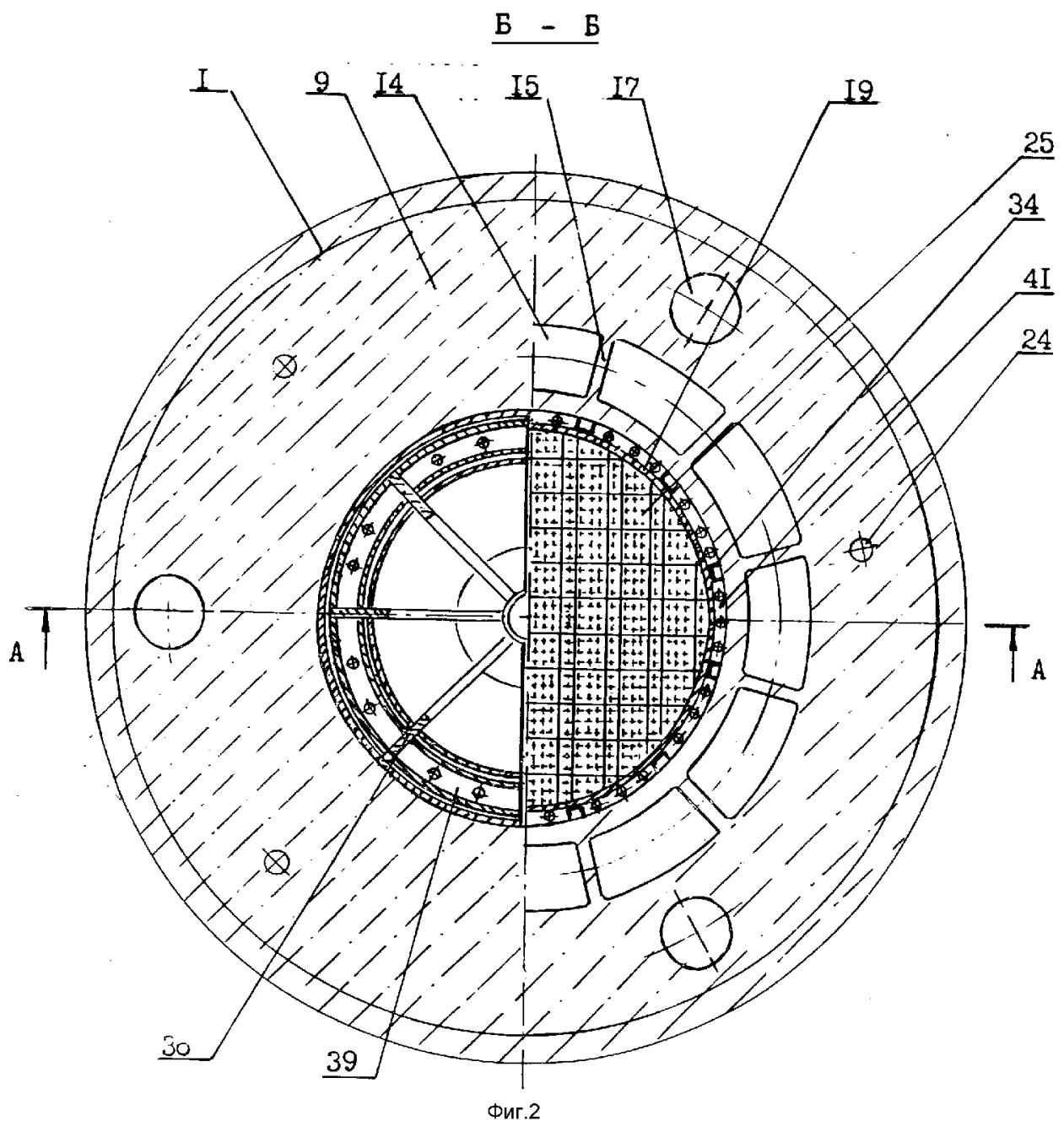
15. Система по п.1, отличающаяся тем, что днище установленной крышки-ограничителя 29 выполнено под углом наклона к центру крышки-ограничителя 29 не менее 15°, при этом поверхность контакта крышки-ограничителя 29 с тугоплавкими элементами 25 есть наклоненная к центру крышки-ограничителя 29 воронка, нижнее сечение которой расположено на оси симметрии крышки-ограничителя 29, а верхнее сечение на расстоянии радиуса от ее оси.

16. Система по п.1, отличающаяся тем, что в верхние части каналов устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9 установлены водяные контейнеры нейтронной защиты 40, выполненные в виде тонкостенных герметичных по воде оболочек.

17. Система по п.1, отличающаяся тем, что между стеной бетонной шахты 9 выше широкопрофильных проходок 16 и стеной корзины 19 по всему периметру корзины 19 установлен дросселирующий элемент 41.

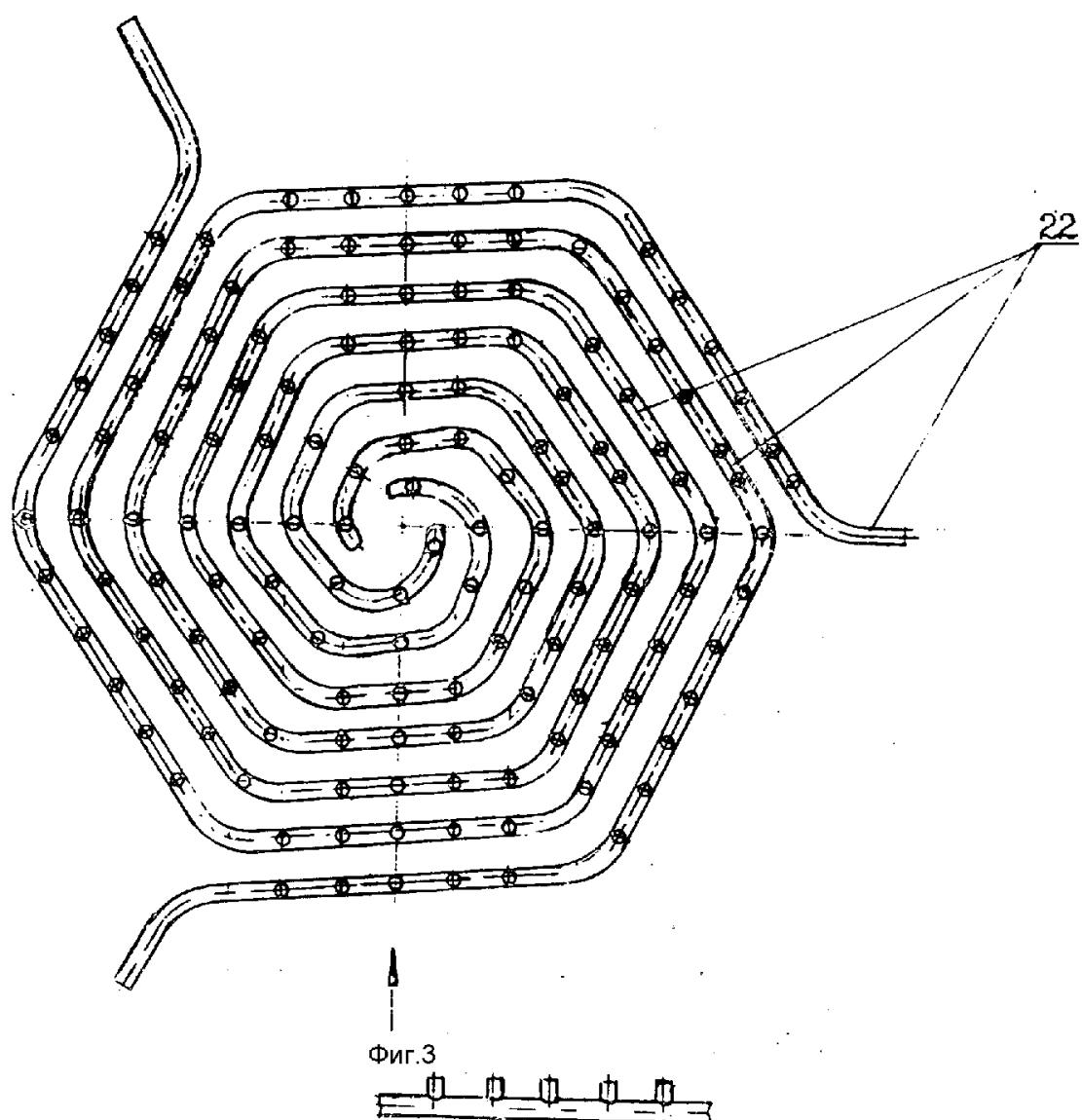
18. Система по п.1, отличающаяся тем, что напротив входов в каналы устройства для отвода теплоносителя 18 из бетонной шахты 9 установлены отбойные щитки 42, наклоненные к вертикальной оси под углом в пределах 5 - 15°, нижние концы которых направлены в сторону стены бетонной шахты 9.

R U 2 1 0 6 0 2 6 C 1

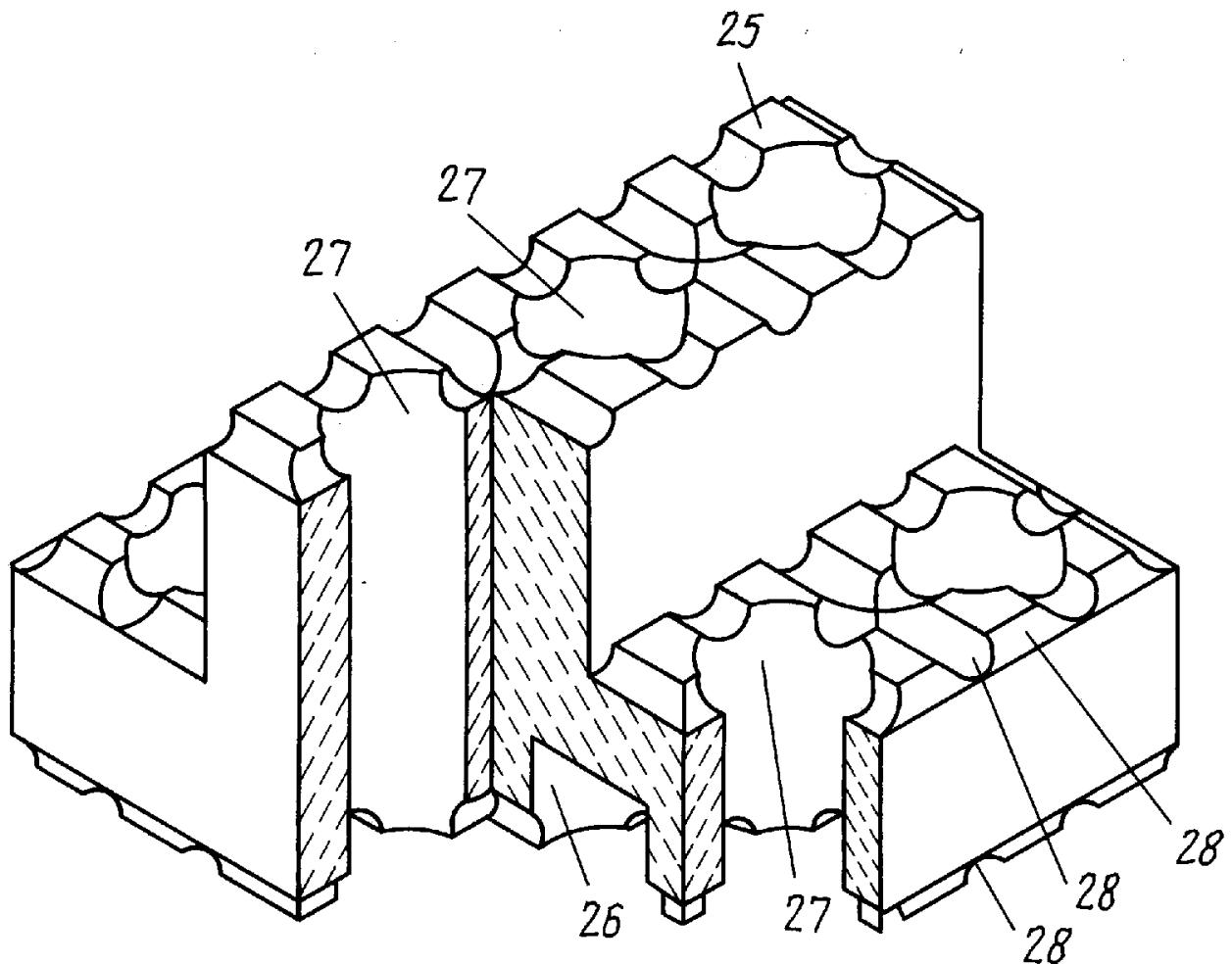


R U 2 1 0 6 0 2 6 C 1

R U 2 1 0 6 0 2 6 C 1



Фиг.4



Фиг. 5

R U ? 1 0 6 0 2 6 C 1

R U 2 1 0 6 0 2 6 C 1