



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G21C 9/016 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020136898, 10.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.11.2020

Дата регистрации:
24.06.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.11.2020

(45) Опубликовано: 24.06.2021 Бюл. № 18

Адрес для переписки:
127434, Москва, Дмитровское ш., 2, стр. 1, АО
ИК "АСЭ", Силаеву Дмитрию Вячеславовичу

(72) Автор(ы):

Сидоров Александр Стальевич (RU),
Сидорова Надежда Васильевна (RU),
Дзбановская Татьяна Ярополковна (RU),
Бадешко Ксения Константиновна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Атомэнергопроект"
(RU)

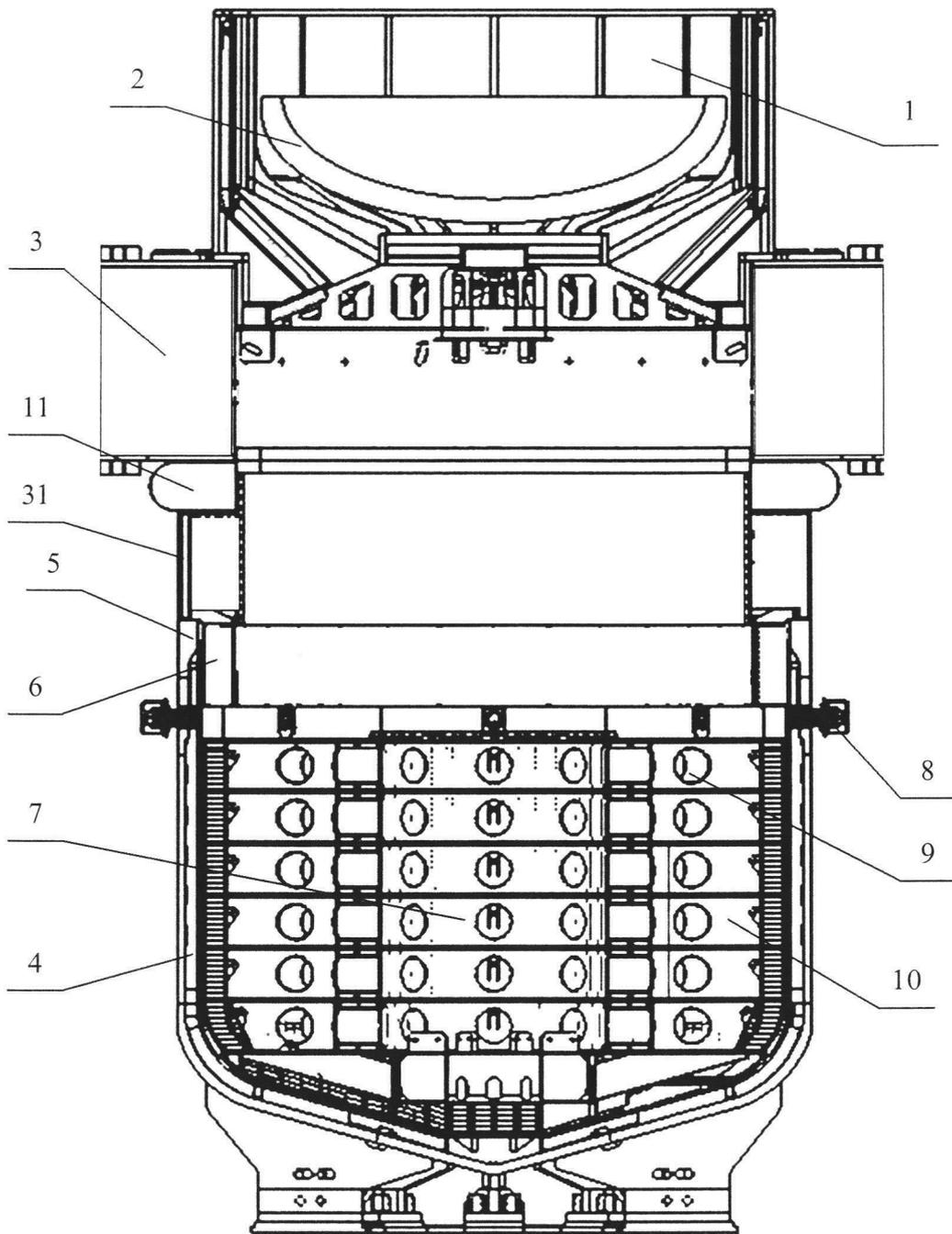
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2576516 C1, 10.03.2016. RU
2576517 C1, 10.03.2016. RU 2575878 C1,
20.02.2016. RU 2700925 C1, 24.09.2019. RU
2696619 C1, 05.08.2019. RU 2253914 C2,
10.06.2005. US5307390 A1, 26.04.1994. US 4442065
A, 04.10.1984. KR 1020170126361 A, 17.11.2017.
CN 109273109 B, 31.01.2020. CN 105551540 B,
13.12.2019.

(54) Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора

(57) Реферат:

Изобретение относится к области атомной энергетики, в частности к системам, обеспечивающим безопасность атомных электростанций (АЭС), и может быть использовано при тяжелых авариях, приводящих к разрушению корпуса реактора и его герметичной оболочки. В системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора исключается разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса и фермы-консоли путем использования в составе системы мембраны с бандажными пластинами, устанавливаемой на барабан. Барабан установлен на фланце корпуса и выполнен в форме обечайки с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище, имеет

элементы натяжения, соединяющие барабан через приваренный к нему опорный фланец с фланцем корпуса. Используется мембрана выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и барабаном, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней сторон мембраны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембраны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембраны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембраны. Техническим результатом является повышение надежности системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора. 6 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G21C 9/016 (2021.02)

(21)(22) Application: **2020136898, 10.11.2020**

(24) Effective date for property rights:
10.11.2020

Registration date:
24.06.2021

Priority:

(22) Date of filing: **10.11.2020**

(45) Date of publication: **24.06.2021** Bull. № 18

Mail address:

**127434, Moskva, Dmitrovskoe sh., 2, str. 1, AO IK
"ASE", Silaevu Dmitriyu Vyacheslavovichu**

(72) Inventor(s):

**Sidorov Aleksandr Stalevich (RU),
Sidorova Nadezhda Vasilevna (RU),
Dzbanovskaya Tatyana Yaropolkovna (RU),
Badeshko Kseniya Konstantinovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo "Atomenergoproekt"
(RU)**

(54) **SYSTEM FOR LOCALIZATION AND COOLING OF CORE MELT OF NUCLEAR REACTOR**

(57) Abstract:

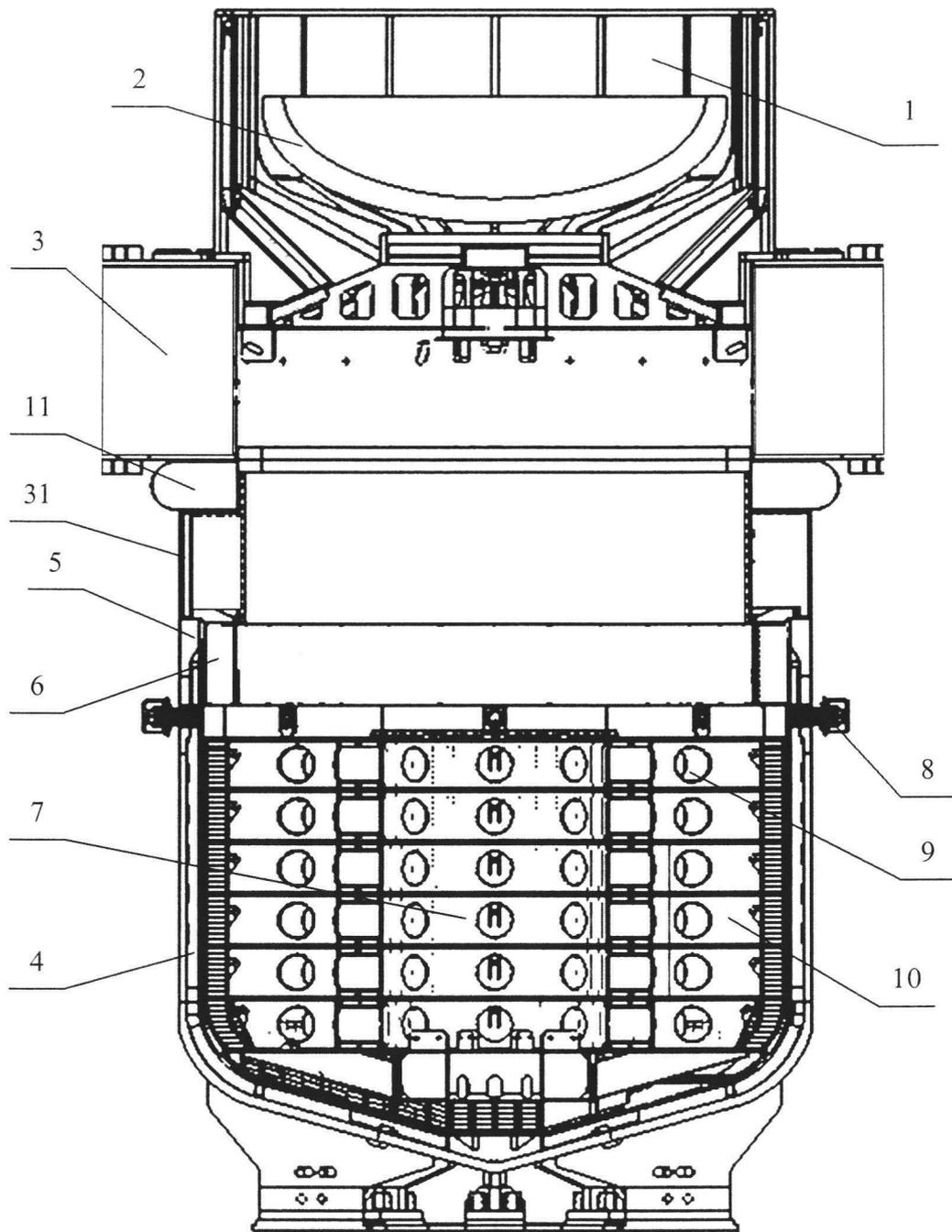
FIELD: nuclear energy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of nuclear energy, in particular to systems ensuring the safety of nuclear power plants (NPP), and can be used in severe accidents leading to the destruction of the reactor vessel and its sealed envelope. In the system of localization and cooling of the core melt of a nuclear reactor, the destruction of the system of localization and cooling of the melt in the zone of connection between the vessel and the truss-console is excluded by using a membrane with shroud plates installed on the drum as part of the system. The drum is mounted on the housing flange and is made in the form of a shell with reinforcing ribs located along its perimeter, resting on the cover and bottom, has tension elements connecting the drum through a support flange welded

to it with the housing flange. A convex membrane is used, the upper and lower flanges of which are connected to the upper and lower heat-conducting elements connected to the truss-console and the drum, shroud plates installed on the outer and inner sides of the membrane in such a way that their upper ends are rigidly fixed to the upper flange of the membrane, and the lower ends are fixed to the lower flange of the membrane with the possibility of longitudinal and vertical movements relative to the lower flange of the membrane.

EFFECT: invention is aimed at increasing reliability of the system for localizing and cooling the core melt of a nuclear reactor.

1 cl, 6 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к области атомной энергетики, в частности, к системам, обеспечивающим безопасность атомных электростанций (АЭС), и может быть использовано при тяжелых авариях, приводящих к разрушению корпуса реактора и его герметичной оболочки.

5 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 внутрореакторные конструкции и корпус реактора, вытекает за его пределы, и вследствие сохраняющегося
10 в нем остаточного тепловыделения, может нарушить целостность герметичной оболочки АЭС - последнего барьера на пути выхода радиоактивных продуктов в окружающую среду.

Для исключения этого необходимо локализовать вытекший из корпуса реактора расплав активной зоны (кориум) и обеспечить его непрерывное охлаждение, вплоть
15 до полной кристаллизации. Эту функцию выполняет система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, которая предотвращает повреждения герметичной оболочки АЭС и тем самым защищает население и окружающую среду от радиационного воздействия при тяжелых авариях ядерных реакторов.

Известна система [1] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного
20 реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, установленный внутри многослойного корпуса, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге.

25 Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

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

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

Известна система [2] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного

реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в основании бетонной шахты многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, установленный внутри многослойного корпуса, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге.

5 Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

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

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

Известна система [3] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в
30 основании бетонной шахты многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, установленный внутри многослойного корпуса, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге.

Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

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

- при падении обломков днища корпуса реактора или при падении остатков расплава активной зоны из корпуса реактора в многослойный корпус на начальной стадии

водяного охлаждения зеркала расплава происходит ударное повышение давления, действующее на периферийное оборудование, в результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью и поступление охлаждающей воды, 5 предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы.

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

10 Задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является устранение разрушения системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса для приема и распределения расплава с фермой-консолью в условиях неосесимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса реактора в корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, 15 и, следовательно, исключение незапланированного (несвоевременного) поступления охлаждающей воды внутрь корпуса из шахты реактора, что обеспечивает защиту от паровых взрывов и разрушений от воздействия ударной волны.

Поставленная задача решается за счет того, что система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму- 20 консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, фланец которого снабжен тепловой защитой, согласно изобретению, дополнительно содержит барабан, установленный на фланце корпуса, выполненный в форме обечайки с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище, имеющий элементы натяжения, соединяющие 25 барабан через приваренный к нему опорный фланец с фланцем корпуса, дистанцирующие элементы, установленные на верхней поверхности фланца корпуса, фиксирующую обечайку, закрепленную к верхней поверхности фланца корпуса и внешней поверхности барабана, пластину, соединяющую верхнюю поверхность фланца корпуса и 30 внутреннюю поверхность барабана, при этом пространство между платиной, фиксирующей обечайкой и тепловой защитой фланца корпуса заполнено защитным бетоном, мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и барабаном, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней стороны мембраны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу 35 мембраны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембраны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембраны.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембраны выпуклой формы, установленной на барабан между фланцем корпуса и нижней 40 поверхностью фермы-консоли таким образом, что выпуклая сторона обращена за пределы корпуса, при этом вдоль внешней поверхности мембраны установлены внешние бандажные пластины с внешними элементами закрепления, обеспечивающими внешний страховочный бандажный зазор, а вдоль внутренней поверхности мембраны установлены внутренние бандажные пластины с внутренними элементами закрепления, 45 обеспечивающими внутренний страховочный бандажный зазор, при этом внешние и внутренние бандажные пластины с одной стороны жестко закреплены к верхнему фланцу с помощью сварных соединений, а с другой стороны к нижнему фланцу выполнено плавающее закрепление внешними и внутренними элементами закрепления,

регулирующими внешний и внутренний страховочные бандажные зазоры, перемещение которых ограничено ограничителями. Такая конструкция позволяет обеспечить независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли, независимые перемещения фермы-консоли и корпуса при ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава, аксиально-радиальные тепловые расширения корпуса, и, следовательно, исключить попадание охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенной для охлаждения его внешней стороны ввиду исключения разрушения зоны между корпусом и фермой-консолью.

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

Еще одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие барабана, установленного на фланце корпуса. Барабан выполнен в форме обечайки с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище. Барабан имеет элементы натяжения, соединяющие барабан через приваренный к нему опорный фланец с фланцем корпуса. Кроме того, на верхней поверхности фланца корпуса установлены дистанцирующие элементы, обеспечивающие регулировочный зазор между барабаном и фланцем корпуса, и фиксирующая обечайка, которая соединяет верхнюю поверхность фланца корпуса и внешнюю поверхность барабана.

Дополнительно, на верхней поверхности фланца корпуса установлена платина, соединяющая верхнюю поверхность фланца корпуса и внутреннюю поверхность барабана, образуя при этом пространство, в котором размещен защитный бетон. Это позволяет сохранить герметичность мембраны и увеличить ее прочность за счет уменьшения высоты мембраны, и, как следствие, площади воздействия на нее ударных волн от паровых взрывов, без увеличения жесткости мембраны и уменьшения ее компенсаторных способностей при разнонаправленных изменениях положения фермы-консоли и корпуса.

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

На фиг. 2 изображен барабан, установленный на фланце корпуса, выполненный в соответствии с заявленным изобретением.

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

На фиг. 4 изображены места крепления мембраны с бандажными пластинами, выполненные в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 5 изображено плавающее крепление, выполненное в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 6 изображен барабан, установленный на мембране в соответствии с заявленным изобретением

Как показано на фиг. 1-6, система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора содержит направляющую плиту (1), установленную под корпусом (2) ядерного реактора. Направляющая плита (1) опирается на ферму-консоль (3). Под фермой-консолью (3) в основании бетонной шахты расположен корпус (4), установленный на закладные детали. Фланец (5) корпуса (4) снабжен тепловой защитой (6). Внутри корпуса (4) размещен наполнитель (7), предназначенный для приема и

распределения расплава. Наполнитель (7), например, может состоять из набора кассет (10) с выполненными в них различного рода отверстиями (9). По периметру корпуса (4) в его верхней части (в зоне между наполнителем (7) и фланцем (5)) расположены клапаны (8) подачи воды, установленные в патрубках. Как показано на фиг. 1 и 2, на фланце (5) корпуса (4) установлен барабан (31), выполненный в форме обечайки (32) с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами (33), опирающимися на крышку (34) и днище (35), имеющий элементы (36) натяжения, соединяющие барабан (31) через приваренный к нему опорный фланец (37) с фланцем (5) корпуса (4). Кроме того, барабан (31) относительно фланца (5) корпуса (4) установлен с регулировочным зазором (38) с помощью дистанционирующих элементов (39) и загерметизирован с помощью фиксирующей обечайки (41), а пустоты в регулировочном зазоре (38) заполнены слоем защитного бетона (40).

Как показано на фиг. 1-3 и 5 между барабаном (31) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) установлена мембрана (11) выпуклой формы. Выпуклая сторона мембраны (11) обращена за пределы корпуса (4). В верхней части мембраны (11) выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли (3) формируется, своего рода, карман (23) конвективного теплообмена с верхним теплопроводящим элементом (16), соединенным с верхним фланцем (14) мембраны (11), а в нижней части мембраны (11) выполнен нижний теплопроводящий элемент (17), соединенный с нижним фланцем (15) мембраны (11).

Как показано на фиг. 5, вдоль внешней поверхности мембраны (11) установлены внешние бандажные пластины (18) с внешними элементами (21) закрепления, обеспечивающими внешний страховочный бандажный зазор (24), а вдоль внутренней поверхности мембраны (11) установлены внутренние бандажные пластины (19) с внутренними элементами (22) закрепления, обеспечивающими внутренний страховочный бандажный зазор (25).

Внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) с одной стороны жестко закреплены к верхнему фланцу (14) мембраны (11) с помощью сварных соединений (20), а с другой стороны к нижнему фланцу (15) мембраны (11) выполнено плавающее закрепление посредством внешних и внутренних элементов (21), (22) закрепления, регулирующих внешний и внутренний страховочные бандажные зазоры (24), (25), перемещение которых ограничено ограничителями (26).

Заявленная система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора работает следующим образом.

В момент разрушения корпуса (2) ядерного реактора расплав активной зоны, под действием гидростатического давления расплава и остаточного избыточного давления газа внутри корпуса (2) ядерного реактора, начинает поступать на поверхность направляющей плиты (1), удерживаемой фермой-консолью (3). Расплав, стекая по направляющей плите (1), попадает в корпус (4) и входит контакт с наполнителем (7). При секторном неосесимметричном стекании расплава при повышенном давлении в корпусе реактора (2) происходит секторное разрушение направляющей плиты (1) и секторное разрушение фермы-консоли (3), в результате чего повышенное давление из корпуса реактора (2) непосредственно воздействует на мембрану (11) и барабан (31).

Как показано на фиг. 3 и 5, мембрана (11) выпуклой формы, установленная между фланцем (5) корпуса (4) и барабаном (31), обеспечивает герметизацию корпуса (4) от затопления водой, поступающей для охлаждения его наружной поверхности. Как показано на фиг. 4, мембрана (11) состоит из вертикально ориентированных секторов (12), соединенных сварными соединениями (13). В нижней части мембраны (11) выполнен

нижний фланец (15), а в верхней части мембраны (11) выполнен верхний фланец (14).

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

До начала подачи охлаждающей воды внутрь корпуса (4) на шлаковую шапку и тонкую корку, образовавшуюся над зеркалом расплава, происходит увеличение теплового воздействия на барабан (31) и мембрану (11) со стороны зеркала расплава активной зоны. Барабан (31) позволяет уменьшить высоту мембраны, что связано со следующими процессами. Для обеспечения герметичности мембраны (11) в условиях быстрого подъема давления, действующего на всю поверхность мембраны (11), и при воздействии паровых взрывов, секторно воздействующих на мембрану (11), необходимо минимизировать площадь ее поверхности. В условиях заданного диаметра мембраны (11) уменьшение ее площади достигается уменьшением ее высоты. Тем не менее, уменьшение высоты мембраны (11) ограничено увеличением ее жесткости и уменьшением компенсаторных способностей при разнонаправленных изменениях положения фермы-консоли (3) и корпуса (4), при которых фланец (5) корпуса (4) в процессе нагрева/охлаждения может двигаться снизу вверх и обратно, радиус фланца (5) корпуса (4) может увеличиваться и уменьшаться, причем, эти изменения могут происходить неравномерно как по высоте, так и по радиусу в направлении азимутальной оси. Аналогично ведет себя и ферма-консоль (3), неравномерно изгибаясь по направлению азимутальной оси, что еще больше увеличивает величину аксиальных отклонений расстояний между корпусом (4) и фермой-консолью (3) вдоль азимутальной оси. Отклонение фланца (5) корпуса (4) в радиальном направлении приводит к сдвигу мембраны (11) в плоскости фланца (5) корпуса (4), что, в совокупности с аксиальными отклонениями расстояний между корпусом (4) и фермой-консолью (5) вдоль азимутальной оси, приводит к значительным напряжениям в мембране (11), ограничивающим уменьшение ее высоты. В этих условиях для обеспечения устойчивости мембраны (11) к быстрому подъему давления и к паровым взрывам высота мембраны (11) выбирается минимальной с учетом необходимых компенсаторных функций при изменении относительного положения фланца (5) корпуса (4) и фермы-консоли (3).

Как показано на фиг. 2 и 3, ребра (33) барабана (31), нагреваясь под действием теплового излучения, передают тепловую нагрузку обечайке (32) барабана (31), которая передает тепловую энергию, полученную от ребер (33) барабана (31) и непосредственно со стороны зеркала расплава, охлаждающей воде. Элементы (36) натяжения, расположенные между ребрами (33) барабана (31), обеспечивают экранирование обечайки (32) барабана (31) от воздействия теплового излучения, перераспределяя его за счет вторичного переизлучения на ребра (33) и обечайку (32) барабана (31), тем самым, снижая локальные максимальные тепловые нагрузки на обечайку (32) барабана (31), связанные с пространственной неравномерностью теплового излучения со стороны зеркала расплава и с аксиальной неравномерностью охлаждения обечайки (32) барабана (31) при различном положении уровня воды, охлаждающей корпус (4).

В этот же период происходит дополнительный разогрев направляющей плиты (1) и удерживаемого ею днища корпуса (2) реактора с остатками расплава активной зоны. После начала поступления охлаждающей воды внутрь корпуса (4) на корку, находящуюся на поверхности расплава, мембрана (11) продолжает выполнение своих функций по герметизации внутреннего объема корпуса (4) и разделения внутренних и

наружных сред. В режиме устойчивого водяного охлаждения наружной поверхности корпуса (4) мембрана (11) не разрушается, охлаждаясь водой или пароводяной смесью с внешней стороны. Однако состояние днища корпуса (2) реактора и находящегося внутри него небольшого количества расплава активной зоны может измениться, что может привести к падению обломков днища корпуса (2) реактора с остатками расплава 5 внутри корпуса (4), что приведет к динамическому воздействию расплава на тепловую защиту (6) фланца (5) корпуса (4) и приведет к подъему давления в результате взаимодействия расплава с водой. Взаимодействие расплава с водой возможно в условиях, при которых прочная корка на поверхности зеркала расплава еще не сформировалась, а на днище корпуса (2) реактора находятся остатки расплава активной 10 зоны, что возможно только в небольшой промежуток времени при практическом отсутствии воды на поверхности шлаковой шапки, закрывающей поверхность тонкой корки над зеркалом расплава, в самом начале водяного охлаждения зеркала расплава. В этих условиях, вся вода, поступающая сверху на шлаковую шапку, испаряется, 15 охлаждая вышерасположенные конструкции. В тот момент, когда начинается накопление воды на шлаковой шапке, то есть расход воды на испарение начинает отставать от поступления воды внутрь корпуса (4), корка на поверхности расплава начинает быстро расти. Рост корки происходит неравномерно: наиболее толстая корка образуется около внутренней поверхности корпуса (4), а тонкая корка формируется на поверхности 20 зеркала расплава в центральной части корпуса (4).

Для того, чтобы защитить мембрану (11) от разрушения при подъеме давления внутри корпуса (4) используются внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19), установленные с внешней и внутренней стороны мембраны (11), обеспечивающие фиксированное изменение геометрических характеристик мембраны (11) в пределах 25 внешнего и внутреннего страховочных бандажных зазоров (24), (25). В связи с тем, что ударная волна при подъеме давления относительно оси корпуса (4) распространяется неосесимметрично, то воздействие ударной волны на мембрану (11) будет содержать как прямые, так и обратные волны давления, чему противостоят внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) соответственно. Для того, чтобы существенно уменьшить 30 пучности в мембране (11) при воздействии прямых и обратных волн давления, внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) располагаются симметрично с каждой стороны мембраны (11), препятствуя развитию колебательных процессов и резонансных явлений в мембране (11).

Особенностью движения ударной волны является ее направление снизу вверх. В этих 35 условиях первыми ударную нагрузку принимают нижний фланец (15) мембраны (11), нижняя часть мембраны (11) и нижние части внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19). Формоизменение мембраны (11) увеличивается снизу вверх. Для предотвращения разрушения мембраны (11) верхние концы внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) неподвижно крепятся, например, сварными соединениями 40 (20), к верхнему фланцу (14) мембраны (11) с фиксированными внешним и внутренним страховочными зазорами (24), (25), что обеспечивает уменьшение амплитуды формоизменений мембраны (11) при движении ударной волны снизу вверх.

В это же время ударные нагрузки наряду с мембраной (11) воспринимает барабан (31), расположенный ниже мембраны (11). Ударная волна, распространяясь снизу вверх, 45 воздействует в силу конструктивных особенностей барабана (31), главным образом, на его среднюю и верхнюю части. Барабан (31) выполнен в форме сложной регулярной структуры. Поверхности обечаек (32) и ребер (33) барабана (31) являются вертикальными и расположены перпендикулярно друг другу. Поверхности элементов (36) натяжения

параллельны поверхностям обечаек (32) и ребер (33) барабана (11). Поверхности крышки (34), днища (35) и опорного фланца (37) барабана (11) перпендикулярны поверхностям обечаек (32), ребер (33) и элементов (36) натяжения. Такое расположение конструктивных элементов обеспечивает частичное поглощение в барабане (31) энергии ударной волны, а также частичное ее отражение с целью обеспечить перераспределение поглощения энергии ударной волны между элементами барабана (31) и элементами фермы-консоли (3) и направляющей плиты (1). При воздействии неосесимметричной ударной волны в барабане (31) возникают радиально-азимутальные колебания обечайки (32) барабана (31), основная энергия которых гасится элементами (36) натяжения.

Ударная волна частично отражается от средней и верхней частей барабана (31) во внутреннюю часть корпуса (4), а частично расщепляется на несколько волн,двигающихся в различных направлениях и воздействующих на ферму-консоль (3) и направляющую плиту (1), что приводит к ослаблению воздействия ударной волны на мембрану (11). Воздействие ударной волны на горизонтально расположенные крышку (34) и опорный фланец (37) барабана (31) приводит к отражению ударной волны преимущественно вниз, в сторону тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), что также ослабляет воздействие ударной волны на мембрану (11). Для уменьшения воздействия ударной волны на зону крепления барабана (31) к фланцу (5) корпуса (4), то есть для защиты элементов (36) натяжения и фиксирующей обечайки (41) от разрушения, зона крепления барабана (31) к фланцу (5) бетонируется защитным бетоном (40), фиксирующим обечайку (41) и элементы (36) натяжения, как показано на фиг. 2.

При поступлении расплава активной зоны в наполнитель (7) корпус (4) постепенно нагревается, оказывая сжимающее давление на мембрану (11). Для того, чтобы мембрана (11) могла выполнять свои компенсаторные функции, необходимо обеспечить независимое аксиально-радиальное движение мембраны (11) от движения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19). Требование независимости движений связано со значительной разницей в жесткости мембраны (11) и внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19), что обусловлено необходимостью защиты мембраны (11) от воздействия ударных волн. Практическая независимость движений достигается установкой внешних и внутренних элементов (21), (22) закрепления, обеспечивающих свободное перемещение внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) на нижнем фланце (15) мембраны (11) с внешним и внутренним страховочными бандажными зазорами (24), (25), как показано на фиг. 5 и 6.

При выполнении транспортно-технологических операций внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) жестко зафиксированы внешними и внутренними регулировочными гайками (27), (28) для исключения повреждения мембраны (11), а при установке в проектное положение внешние и внутренние регулировочные гайки (27), (28) откручиваются до упора в ограничители (26). При этом образуются внешний и внутренний регулировочные зазоры (29), (30), обеспечивающие свободное перемещение мембраны (11) вверх при тепловых расширениях корпуса (4) за счет скольжения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) по нижнему фланцу (15) мембраны (11), как показано на фиг. 5 и 6.

При воздействии на мембрану (11) ударной волны необходимо обеспечить надежное крепление мембраны (11) к ферме-консоли (3) и к корпусу (4). С этой целью верхний фланец (14) мембраны (11) установлен на верхнем теплопроводящем элементе (16), закрепленным на ферме-консоли (3), с которой верхний фланец (14) мембраны (11) и верхний теплопроводящий элемент (16) образуют, своего рода, карман (23), обеспечивающий эффективный теплообмен с внешней средой (охлаждающей водой

или пароводяной смесью). Карман (23), как показано на фиг. 5, для конвективного теплообмена необходим верхнему фланцу (14) мембраны (11) и верхнему теплопроводящему элементу (16) для защиты от перегрева до начала охлаждения зеркала расплава, что позволяет этим элементам сохранить прочностные характеристики для противодействия ударным нагрузкам.

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

Таким образом, применение мембраны с бандажными пластинами в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора позволило обеспечить герметизацию корпуса от затопления водой, поступающей для охлаждения наружной поверхности корпуса, независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли, независимые перемещения фермы-консоли и корпуса при сейсмических и ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава, а применение барабана позволило обеспечить дополнительный отвод тепла и дополнительную защиту мембраны от воздействия ударных волн при повышении давления парогазовой смеси во внутреннем объеме корпуса, то есть повысить надежность герметичного соединения корпуса с фермой-консолью, что, в совокупности, позволило повысить надежность системы в целом.

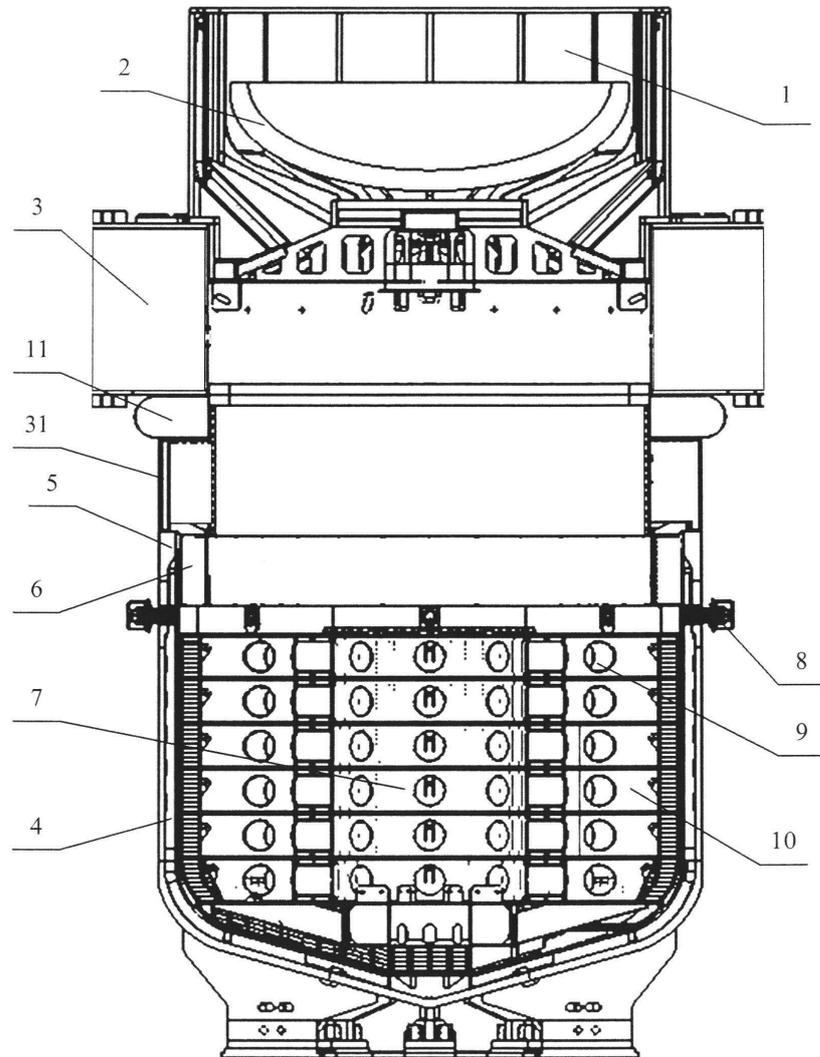
Источники информации:

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

(57) Формула изобретения

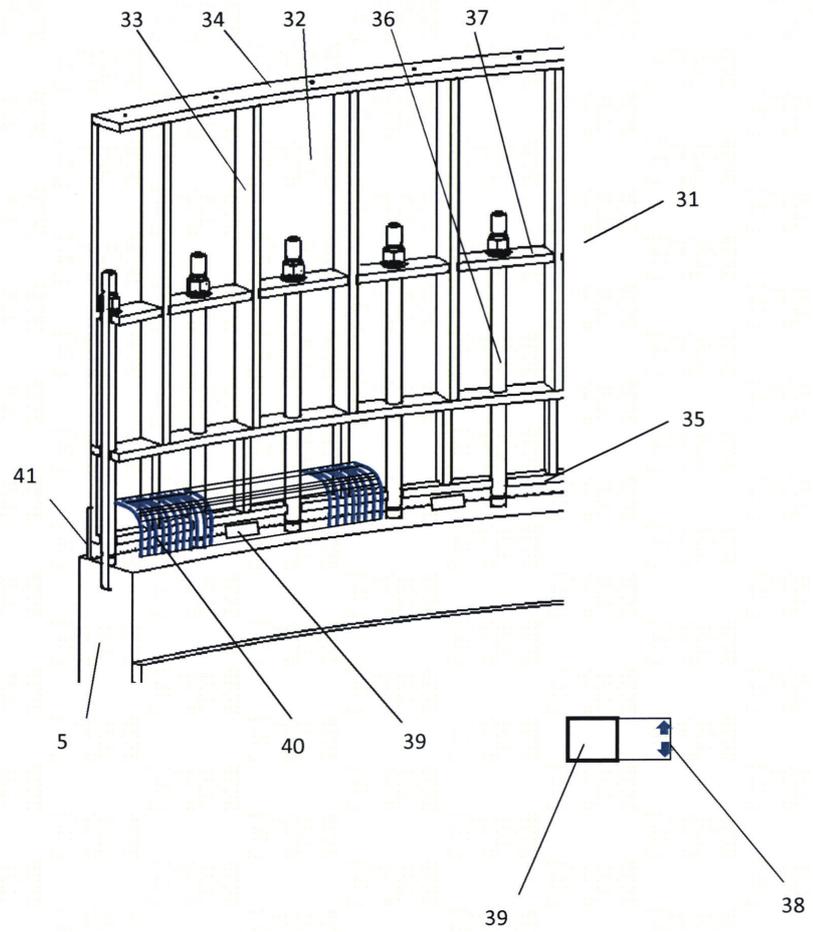
Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму-консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, фланец которого снабжен тепловой защитой, отличающаяся тем, что дополнительно содержит барабан, установленный на фланце корпуса, выполненный в форме обечайки с расположенными по ее периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище, имеющий элементы натяжения, соединяющие барабан через приваренный к нему опорный фланец с фланцем корпуса, дистанцирующие элементы, установленные на верхней поверхности фланца корпуса, фиксирующую обечайку, закрепленную к верхней поверхности фланца корпуса и внешней поверхности барабана, пластину, соединяющую верхнюю поверхность фланца корпуса и внутреннюю поверхность барабана, при этом пространство между пластиной, фиксирующей обечайкой и тепловой защитой фланца корпуса заполнено защитным бетоном, мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и барабаном, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней сторон мембраны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембраны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембраны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембраны.

1

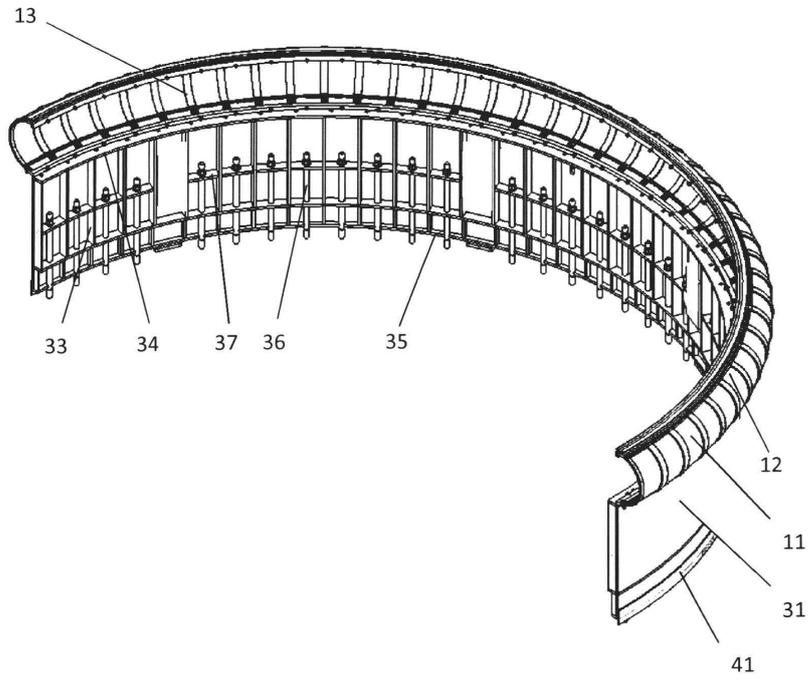


Фиг. 1

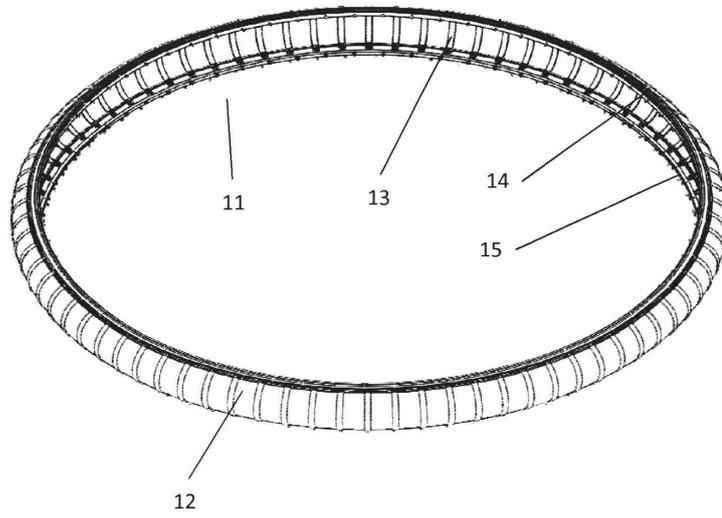
2



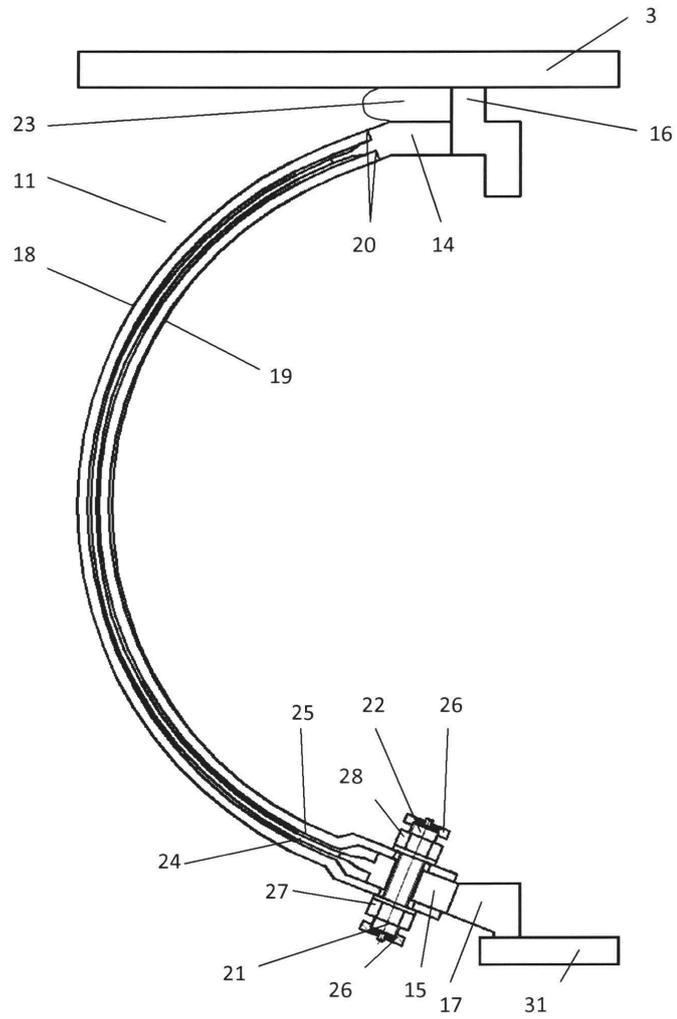
Фиг. 2



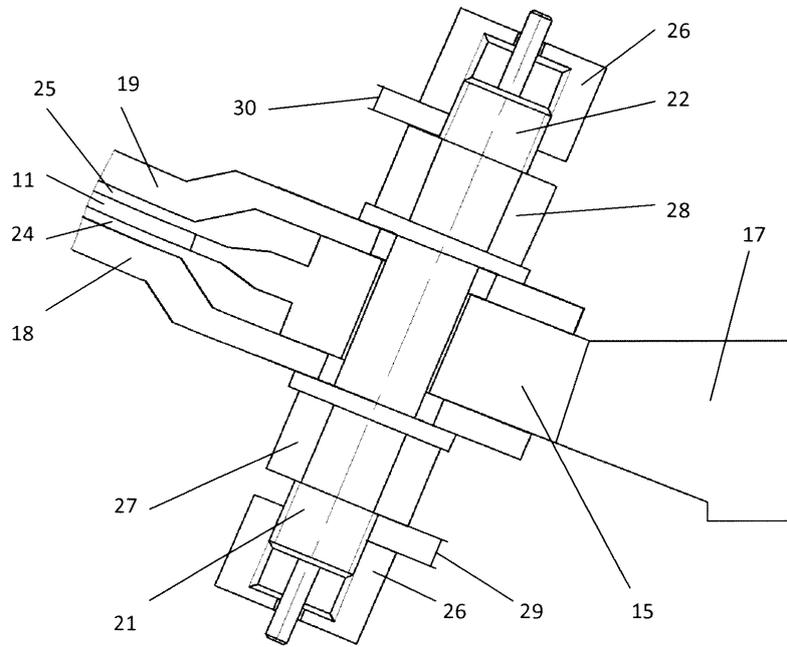
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6