

**(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В  
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)**

(19) Всемирная Организация  
Интеллектуальной Собственности  
Международное бюро

(43) Дата международной публикации  
19 мая 2022 (19.05.2022)



(10) Номер международной публикации  
**WO 2022/103303 A1**

**(51) Международная патентная классификация:**  
*G21C 9/016 (2006.01)*

**(21) Номер международной заявки:** PCT/RU2021/000494

**(22) Дата международной подачи:**  
09 ноября 2021 (09.11.2021)

**(25) Язык подачи:** Русский

**(26) Язык публикации:** Русский

**(30) Данные о приоритете:**  
2020136898 10 ноября 2020 (10.11.2020) RU

**(71) Заявитель:** АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМ-ЭНЕРГОПРОЕКТ" (JOINT-STOCK COMPANY "ATOMENERGOPROEKT") [RU/RU]; ул. Бакунинская, 7, стр. 1 Москва, 107996, Moscow (RU).

**(72) Изобретатели:** СИДОРОВ, Александр Стальевич (SIDOROV, Aleksandr Stalevich); ул. Ключевая, д. 20, кв. 87, Москва, 115612, Moscow (RU). СИДОРОВА, Надежда Васильевна (SIDOROVA, Nadezhda Vasilievna); ул. Ключевая, д. 20, кв. 87, Москва, 115612, Moscow (RU). ДЗБАНОВСКАЯ, Татьяна Ярополковна (DZBANOVSAYA, Tatyana Yaropolkovna);

ул. Старослободская, д. 23, кв. 212, Москва, 107113, Moscow (RU). БАДЕШКО, Ксения Константиновна (BADESHKO, Kseniya Konstantinovna); ул. Мира, д. 21, кв. 29, г. Волгоград, 400066, Volgograd (RU).

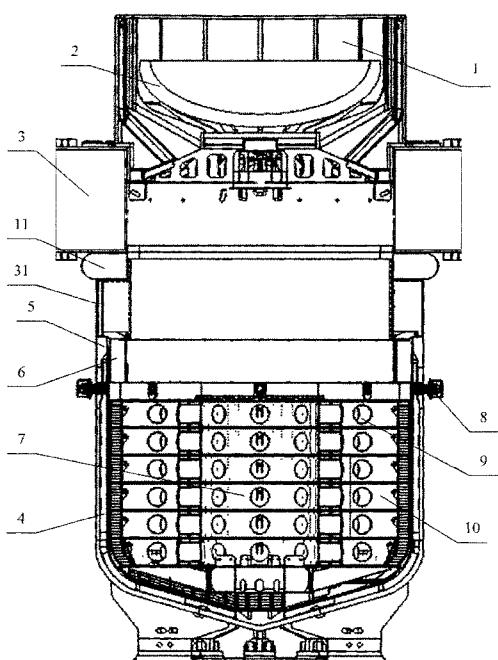
**(74) Агент:** СИЛАЕВ, Дмитрий Вячеславович (SILAEV, Dmitry Vyacheslavovich); АО "Атомэнергопроект", ул. Бакунинская, 7, стр. 1, Москва, 107996, Moscow (RU).

**(81) Указанные государства** (если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

**(84) Указанные государства** (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,

**(54) Title:** SYSTEM FOR CONFINING AND COOLING MELT FROM THE CORE OF A NUCLEAR REACTOR

**(54) Название изобретения:** СИСТЕМА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО ПЕАКТОРА



Фиг. 1

**(57) Abstract:** The invention relates to the field of nuclear power engineering, and more particularly to systems which provide for the safety of nuclear power plants, and can be used in the event of serious accidents leading to the destruction of the pressure vessel and sealed containment structure of a reactor. The technical result of the claimed invention is an increase in the reliability of a system for confining and cooling melt from the core of a nuclear reactor. This technical result is achieved by preventing a system for confining and cooling melt from being destroyed in the zone where a housing and a cantilever truss are connected by using in said system a membrane with banding plates, which is mounted on a drum.

**(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. Технический результат заявленного изобретения заключается в повышении надежности системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора. Технический результат достигается за счет исключения разрушения системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса и фермы-консоли путем использования в составе системы мембранны с бандажными пластинами, устанавливаемой на барабан.



TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Опубликована:**

— с отчётом о международном поиске (статья 21.3)

# СИСТЕМА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

## Область техники

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

Наибольшую радиационную опасность представляют аварии с расплавлением активной зоны, которые могут происходить при множественном отказе систем охлаждения активной зоны.

При таких авариях расплав активной зоны – кориум, расплавляя внутриреакторные конструкции и корпус реактора, вытекает за его пределы, и вследствие сохраняющегося в нем остаточного тепловыделения, может нарушить целостность герметичной оболочки АЭС – последнего барьера на пути выхода радиоактивных продуктов в окружающую среду.

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

## Предшествующий уровень техники

Известна система [1] локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, установленную под корпусом ядерного реактора, и опирающуюся на ферму-консоль, установленный на закладные детали в основании бетонной шахты

многослойный корпус, фланец которого снабжен тепловой защитой, наполнитель, установленный внутри многослойного корпуса, состоящий из набора кассет, установленных друг на друге.

Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими 5 недостатками:

- при неосесимметричном истечении расплава из корпуса реактора (при боковом проплавлении корпуса) под действием внутреннего давления в корпусе реактора происходит секторное разрушение расплавом направляющей плиты, фермы-консоли и тепловых защит, а ударная волна газа, вытекающего 10 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 15 к разрушению системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью, в результате чего произойдет поступление охлаждающей воды, предназначенней 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 20 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-25 консолью и поступление охлаждающей воды, предназначенней 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 5 набора кассет, установленных друг на друге.

Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

- при неосесимметричном истечении расплава из корпуса реактора (при боковом проплавлении корпуса) под действием внутреннего давления в 10 корпусе реактора происходит секторное разрушение расплавом направляющей плиты, фермы-консоли и тепловых защит, а ударная волна газа, вытекающего вместе с расплавом активной зоны из корпуса реактора, распространяется внутри объема многослойного корпуса и внутри периферийных объемов, расположенных между многослойным корпусом, наполнителем и фермой- 15 консолью, и воздействует на периферийное оборудование, что может привести к разрушению системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью, в результате чего произойдет поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, 20 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 25 результате чего может произойти разрушение системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения многослойного корпуса с фермой-консолью и поступление охлаждающей воды, предназначенной для охлаждения многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы.

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

Данная система имеет низкую надежность, обусловленную следующими недостатками:

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

многослойного корпуса с внешней стороны, внутрь многослойного корпуса, что может привести к паровому взрыву и разрушению системы.

### Раскрытие изобретения

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

Задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является устранение разрушения системы локализации и охлаждения расплава 10 в зоне соединения корпуса для приема и распределения расплава с фермой-консолью в условиях неосимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса реактора в корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и, следовательно, исключение 15 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-консоль, корпус с наполнителем, 20 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 её периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище, имеющий элементы натяжения, соединяющие барабан через 25 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 поверхностью фланца корпуса и 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 мембранны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембранны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембранны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембранны.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора мембранны выпуклой формы, установленной на барабан между фланцем корпуса и нижней поверхностью фермы-консоли таким образом, что выпуклая сторона обращена за пределы корпуса, при этом вдоль внешней поверхности мембранны установлены внешние бандажные пластины с внешними элементами закрепления, обеспечивающими внешний страховочный бандажный зазор, а вдоль внутренней поверхности мембранны установлены внутренние бандажные пластины с внутренними элементами закрепления, 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, предназначеннй для охлаждения его внешней стороны ввиду исключения разрушения зоны между корпусом и фермой-консолью. Бандажные пластины, в свою очередь, позволяют сохранить целостность мембранны при воздействии 5 ударной волны со стороны корпуса реактора при его разрушении, а также сохранить целостность мембранны 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.

10       Ещё одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие барабана, установленного на фланце корпуса. Барабан выполнен в форме обечайки с расположеными по её периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище. Барабан имеет элементы натяжения, соединяющие барабан через приваренный к нему опорный фланец с фланцем 15 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, 20 соединяющая верхнюю поверхность фланца корпуса и внутреннюю поверхность барабана, образуя при этом пространство, в котором размещен защитный бетон. Это позволяет сохранить герметичность мембранны и увеличить её прочность за счет уменьшения высоты мембранны, и, как следствие, площади воздействия на неё ударных волн от паровых взрывов, без 25 увеличения жесткости мембранны и уменьшения её компенсаторных способностей при разнонаправленных изменениях положения фермы-консоли и корпуса.

#### Краткое описание чертежей

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

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

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

На фиг. 4 изображены места крепления мембранны с бандажными пластинаами, выполненные в соответствии с заявленным изобретением.

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

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

## 15 Варианты осуществления изобретения

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 её 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) 5 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 мембранны (11) обращена за пределы корпуса (4). В верхней 10 части мембранны (11) выпуклой формы в зоне соединения с нижней частью фермы-консоли (3) формируется, своего рода, карман (23) конвективного теплообмена с верхним теплопроводящим элементом (16), соединённым с верхним фланцем (14) мембранны (11), а в нижней части мембранны (11) выполнен нижний теплопроводящий элемент (17), соединённый с нижним 15 фланцем (15) мембранны (11).

Как показано на фиг. 5, вдоль внешней поверхности мембранны (11) установлены внешние бандажные пластины (18) с внешними элементами (21) закрепления, обеспечивающими внешний страховочный бандажный зазор (24), а вдоль внутренней поверхности мембранны (11) установлены внутренние 20 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) мембранны (11) с помощью сварных соединений (20), а с другой стороны к нижнему фланцу (15) мембранны (11) 25 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 мембранны (11) выполнен нижний фланец (15), а в верхней части мембранны (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 мембранны, что связано со следующими процессами. Для обеспечения герметичности мембранны (11) в условиях быстрого подъёма давления, действующего на всю поверхность мембранны (11), и при воздействии паровых взрывов, секторно действующих на мембранны (11), необходимо минимизировать площадь её поверхности. В условиях заданного диаметра мембранны (11) уменьшение её площади достигается уменьшением её высоты. Тем не менее, уменьшение высоты мембранны (11) ограничено увеличением её жёсткости и уменьшением компенсаторных способностей при 10 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, причём, эти изменения могут происходить неравномерно как по высоте, так и по радиусу в направлении азимутальной 15 оси. Аналогично ведёт себя и ферма-консоль (3), неравномерно изгинаясь по направлению азимутальной оси, что ещё 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 мембранны (11) в плоскости фланца (5) корпуса 20 (4), что, в совокупности с аксиальными отклонениями расстояний между корпусом (4) и фермой-консолью (5) вдоль азимутальной оси, приводит к значительным напряжениям в мембранны (11), ограничивающим уменьшение её высоты. В этих условиях для обеспечения устойчивости мембранны (11) к быстрому подъёму давления и к паровым взрывам высота мембранны (11) 25 выбирается минимальной с учётом необходимых компенсаторных функций при изменении относительного положения фланца (5) корпуса (4) и фермы-консоли (3).

Как показано на фиг. 2 и 3, рёбра (33) барабана (31), нагреваясь под действием теплового излучения, передают тепловую нагрузку обечайке (32)

барабана (31), которая передаёт тепловую энергию, полученную от рёбер (33) барабана (31) и непосредственно со стороны зеркала расплава, охлаждающей воде. Элементы (36) натяжения, расположенные между рёбрами (33) барабана (31), обеспечивают экранирование обечайки (32) барабана (31) от воздействия теплового излучения, перераспределяя его за счёт вторичного переизлучения на рёбра (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 объёма корпуса (4) и разделения внутренних и наружных сред. В режиме устойчивого водяного охлаждения наружной поверхности корпуса (4) мембрана (11) не разрушается, охлаждаясь водой или пароводянной 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 внутрь корпуса (4), что приведёт к диническому воздействию расплава на тепловую защиту (6) фланца (5) корпуса (4) и приведёт к подъёму давления в результате взаимодействия расплава с водой. Взаимодействие расплава с водой возможно в условиях, при которых прочная корка на поверхности зеркала расплава ещё не сформировалась, а на днище корпуса (2) реактора находятся остатки расплава активной зоны, 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, охлаждая вышерасположенные конструкции. В тот момент, когда начинается накопление воды на шлаковой шапке, то есть расход воды на испарение 5 начинает отставать от поступления воды внутрь корпуса (4), корка на поверхности расплава начинает быстро расти. Рост корки происходит неравномерно: наиболее толстая корка образуется около внутренней поверхности корпуса (4), а тонкая корка формируется на поверхности зеркала расплава в центральной части корпуса (4).

10 Для того, чтобы защитить мембрану (11) от разрушения при подъёме давления внутри корпуса (4) используются внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19), установленные с внешней и внутренней стороны мембранны (11), обеспечивающие фиксированное изменение геометрических характеристик мембранны (11) в пределах внешнего и внутреннего 15 страховочных бандажных зазоров (24), (25). В связи с тем, что ударная волна при подъёме 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 20 того, чтобы существенно уменьшить пучности в мембрани (11) при воздействии прямых и обратных волн давления, внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) располагаются симметрично с каждой стороны мембрани (11), препятствуя развитию колебательных процессов и резонансных явлений в мембрани (11).

25 Особенностью движения ударной волны является её направление снизу вверх. В этих условиях первыми ударную нагрузку принимают нижний фланец (15) мембрани (11), нижняя часть мембрани (11) и нижние части внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19). Формоизменение мембрани (11) увеличивается снизу вверх. Для предотвращения разрушения мембрани (11)

верхние концы внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) неподвижно крепятся, например, сварными соединениями (20), к верхнему фланцу (14) мембранные (11) с фиксированными внешним и внутренним страховочными зазорами (24), (25), что обеспечивает уменьшение амплитуды 5 формоизменений мембранные (11) при движении ударной волны снизу вверх.

В это же время ударные нагрузки наряду с мембранные (11) воспринимает барабан (31), расположенный ниже мембранные (11). Ударная волна, распространяясь снизу вверх, действует в силу конструктивных особенностей барабана (31), главным образом, на его среднюю и верхнюю 10 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) 15 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 её отражение с целью обеспечить перераспределение поглощения 20 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 действующих на ферму-консоль (3) и направляющую плиту (1), что приводит к ослаблению 25 воздействия ударной волны на мембранные (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 5 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) 10 постепенно нагревается, оказывая сжимающее давление на мембрану (11). Для того, чтобы мембрана (11) могла выполнять свои компенсаторные функции, необходимо обеспечить независимое аксиально-радиальное движение мембранны (11) от движения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19). Требование независимости движений связано со значительной разницей в 15 жёсткости мембранны (11) и внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19), что обусловлено необходимостью защиты мембранны (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) 20 на нижнем фланце (15) мембранны (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) жёстко зафиксированы внешними и внутренними регулировочными гайками (27), (28) для исключения 25 повреждения мембранны (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 мембранны (11) вверх при тепловых расширениях корпуса (4) за счёт

скольжения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) по нижнему фланцу (15) мембранны (11), как показано на фиг. 5 и 6.

При воздействии на мембрану (11) ударной волны необходимо обеспечить надёжное крепление мембраны (11) к ферме-консоли (3) и к корпусу (4). С этой целью верхний фланец (14) мембранны (11) установлен на верхнем теплопроводящем элементе (16), закреплённым на ферме-консоли (3), с которой верхний фланец (14) мембранны (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) мембранны (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 мембранны (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 мембранны 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 мембранны от воздействия ударных волн при повышении давления парогазовой смеси во внутреннем объёме корпуса, то есть повысить надёжность 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.;
- 5 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.

10

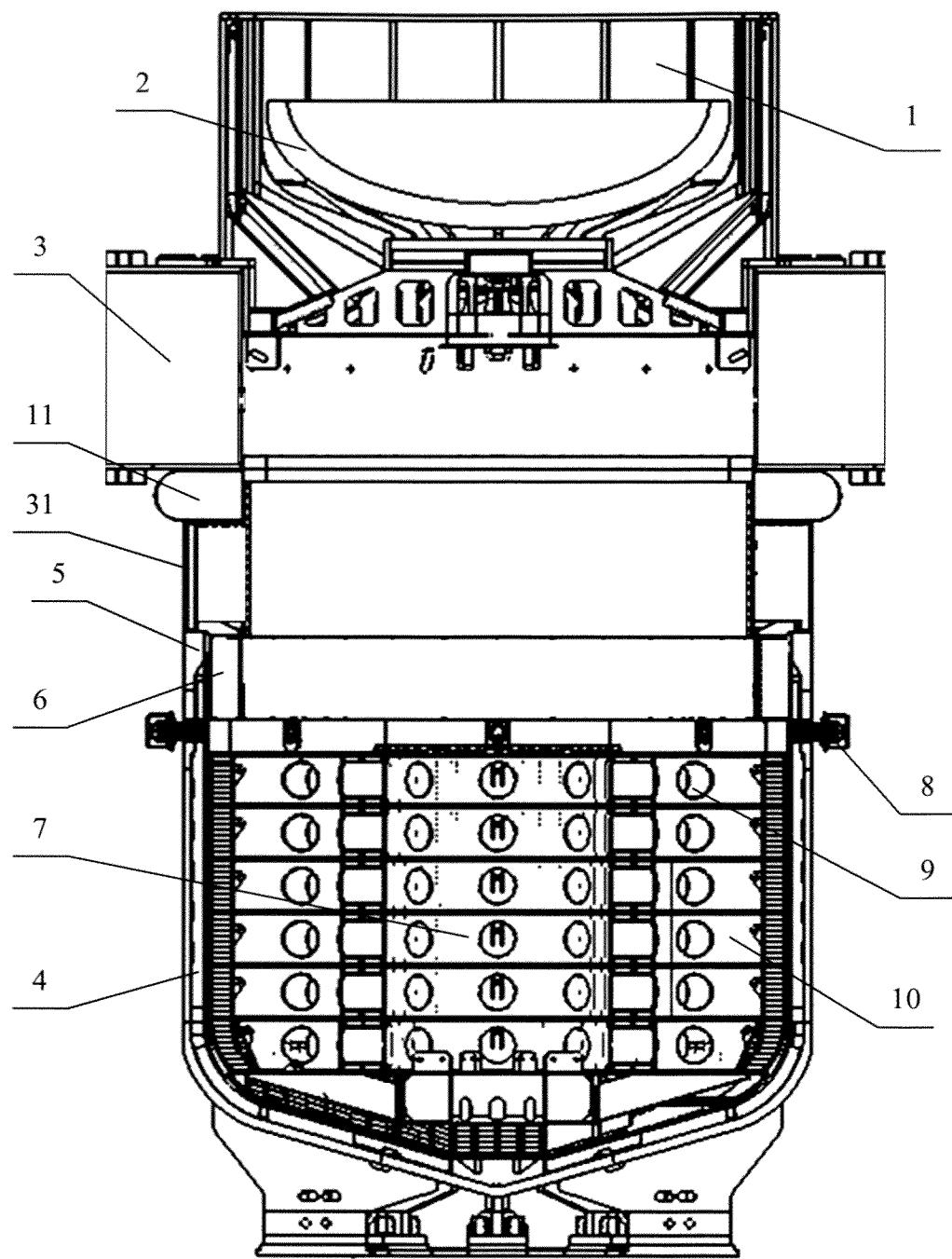
15

20

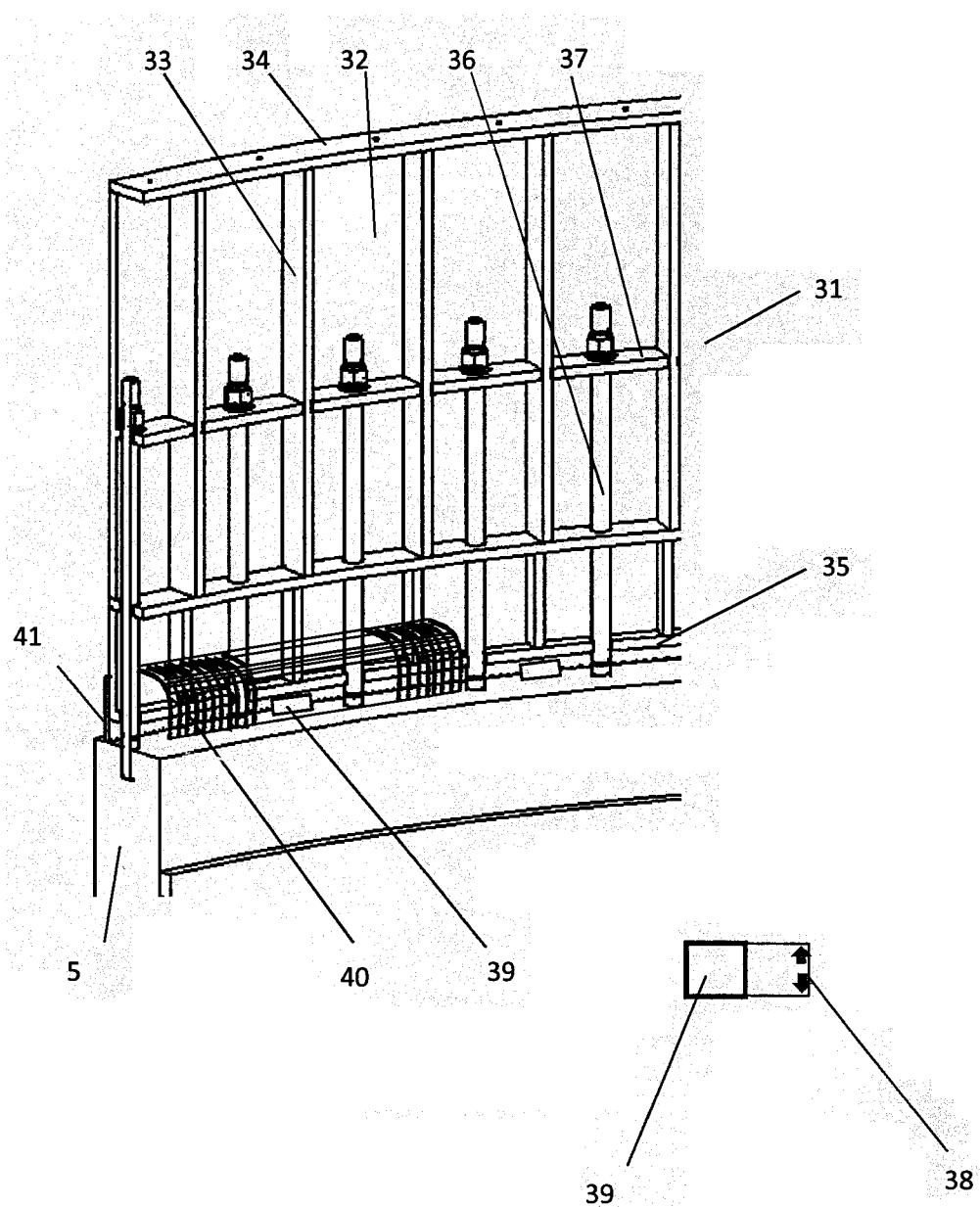
25

## Формула изобретения

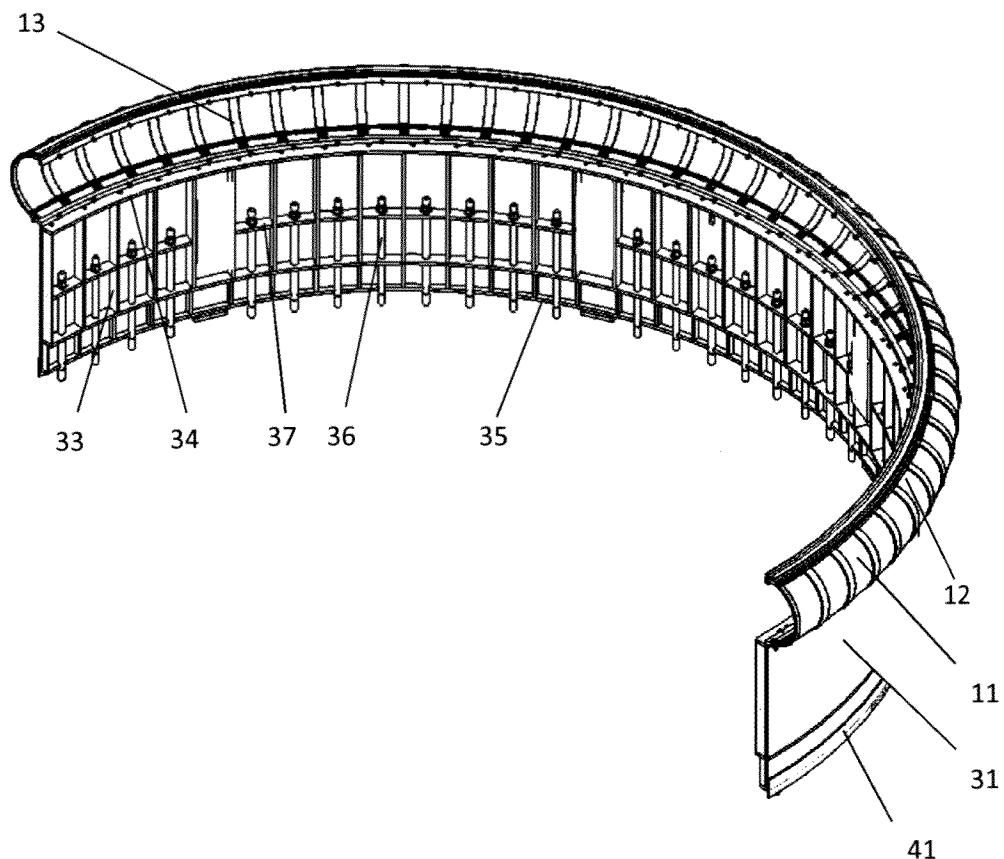
Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму-консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, фланец 5 которого снабжен тепловой защитой, отличающаяся тем, что дополнительно содержит барабан, установленный на фланце корпуса, выполненный в форме обечайки с расположенными по её периметру усиливающими ребрами, опирающимися на крышку и днище, имеющий элементы натяжения, соединяющие барабан через приваренный к нему опорный фланец с фланцем 10 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 15 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 20 внутренней стороны мембранны таком образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембранны, а нижние концы закреплены к нижнему фланцу мембранны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембранны.



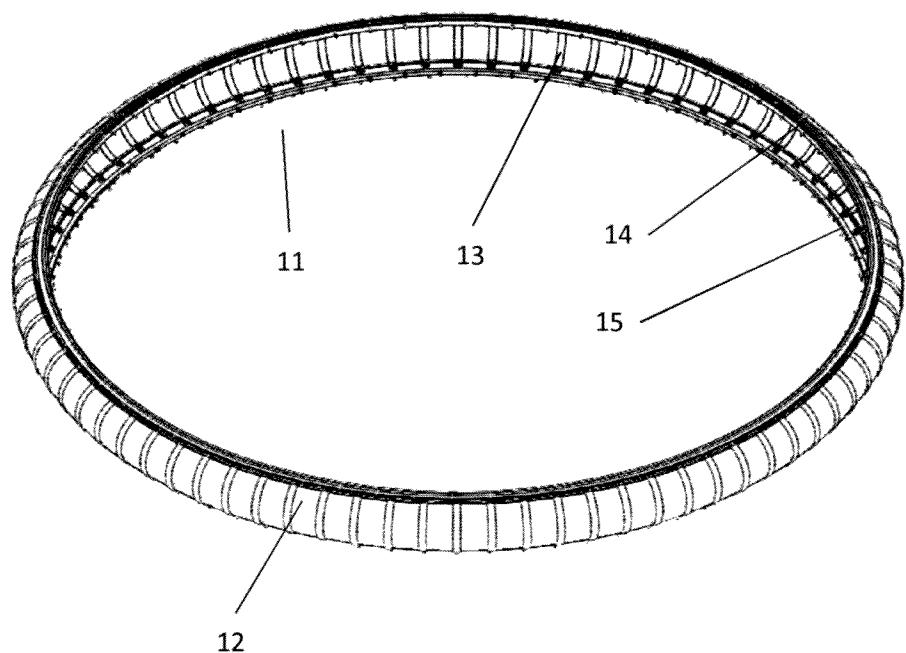
Фиг. 1



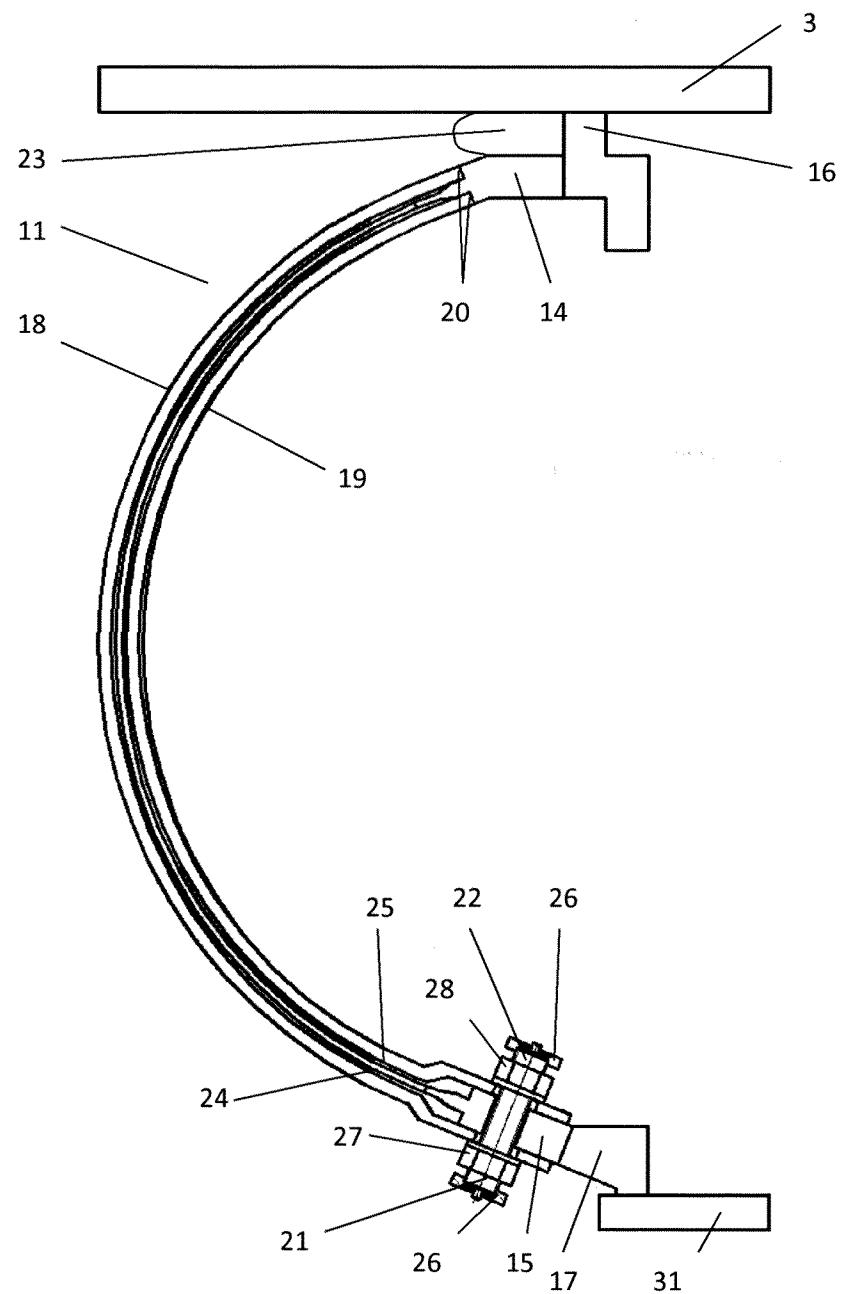
Фиг. 2



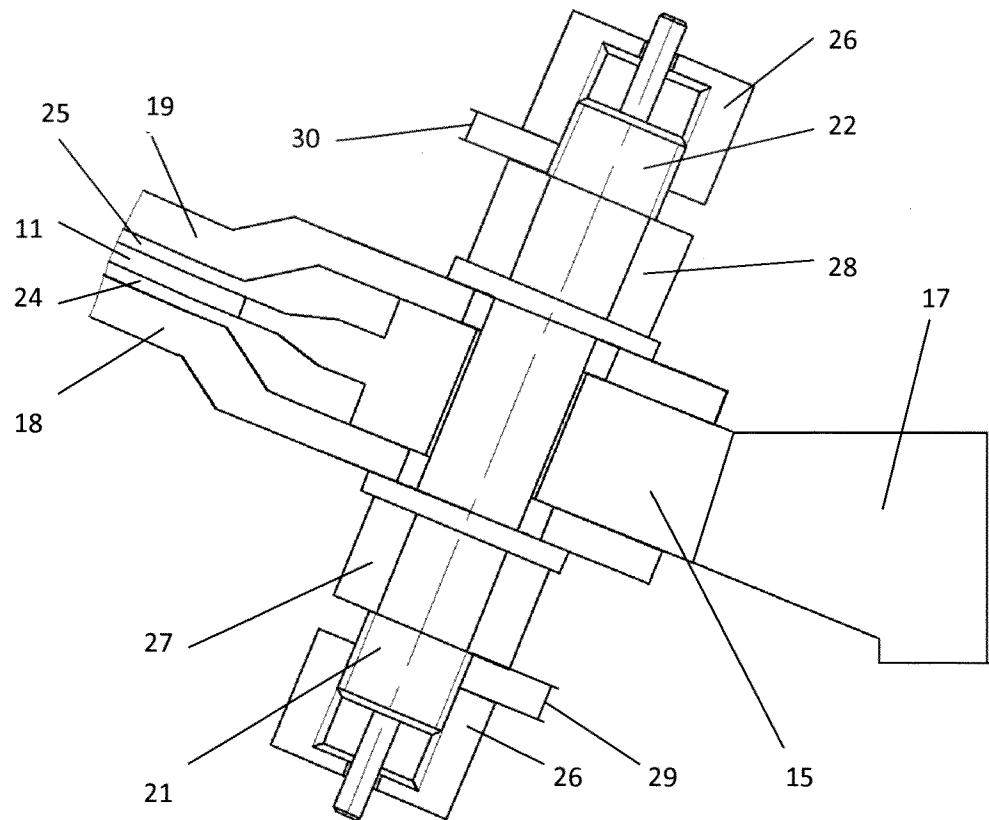
Фиг. 3



Фиг. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/RU 2021/000494

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G21C 9/016 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21C 9/016, 9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
**PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, Information Retrieval System of FIPS**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
D, A	RU 2576516 C1 (AKTSIONERNOE OBSCHESTVO "ATOMENERGOPROEKT") 10.03.2016, p. 7, line 6 - p. 8, line 11, p. 8, line 40 - p. 9, lines 2-3, fig. 1a	1
D, A	RU 2576517 C1 (AKTSIONERNOE OBSCHESTVO "ATOMENERGOPROEKT") 10.03.2016, points 1-5 of the claims, fig. 1-3, p. 7, lines 20-46	1
D, A	RU 2575878 C1 (AKTSIONERNOE OBSCHESTVO "ATOMENERGOPROEKT") 20.02.2016, p. 13, lines 23-28	1
A	RU 2700925 C1 (AKTSIONERNOE OBSCHESTVO "ATOMENERGOPROEKT") 24.09.2019	1
A	RU 2696619 C1 (AKTSIONERNOE OBSCHESTVO "ATOMENERGOPROEKT") 05.08.2019	1
A	RU 2253914 C2 (KHABENSKY VLADIMIR BENTSIANOVICH et al.) 10.06.2005	1

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 February 2022 (09.02.2022)

Date of mailing of the international search report

17 February 2022 (17.02.2022)

Name and mailing address of the ISA/  
RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/RU 2021/000494

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5307390 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 26.04.1994	1
A	US 4442065 A (R & D ASSOCIATES) 10.04.1984	1
A	KR 10-2017-0126361 A (POSTECH ACADEMY-INDUSTRY FOUNDATION) 17.11.2017	1

## ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000494

## A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ

*G21C 9/016 (2006.01)*

Согласно Международной патентной классификации МПК

## B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА

Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)

G21C 9/016, 9/00

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)

PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, Information Retrieval System of FIPS

## C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
D, A	RU 2576516 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ") 10.03.2016, с. 7, строка 6 - с. 8, строка 11, с. 8, строка 40 - с. 9, строки 2-3, фиг. 1а	1
D, A	RU 2576517 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ") 10.03.2016,пп. 1-5 формулы, фиг. 1-3, с. 7, строки 20-46	1
D, A	RU 2575878 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ") 20.02.2016, с. 13, строки 23-28	1
A	RU 2700925 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ") 24.09.2019	1
A	RU 2696619 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ") 05.08.2019	1
A	RU 2253914 C2 (ХАБЕНСКИЙ ВЛАДИМИР БЕНЦИАНОВИЧ и др.) 10.06.2005	1
A	US 5307390 A (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 26.04.1994	1

 последующие документы указаны в продолжении графы С. данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:	
"A"	документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным
"D"	документ, цитируемый заявителем в международной заявке
"E"	более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее
"L"	документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)
"O"	документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.
"P"	документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета
"T"	более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение
"X"	документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности
"Y"	документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста
"&"	документ, являющийся патентом-аналогом

Дата действительного завершения международного поиска  
09 февраля 2022 (09.02.2022)Дата отправки настоящего отчета о международном поиске  
17 февраля 2022 (17.02.2022)Наименование и адрес ISA/RU:  
Федеральный институт промышленной собственности,  
Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59,  
ГСП-3, Россия, 125993  
Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37Уполномоченное лицо:  
Иваненко Т.  
Телефон № (495) 531-64-81

**ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ**

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000494

**С. (Продолжение). ДОКУМЕНТЫ СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕВАЛЕНТНЫМИ**

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	US 4442065 A (R & D ASSOCIATES) 10.04.1984	1
A	KR 10-2017-0126361 A (POSTECH ACADEMY-INDUSTRY FOUNDATION) 17.11.2017	1