

**(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 2022/103301 A1

(51) Международная патентная классификация:
G21C 9/016 (2006.01) *G21C 15/18* (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2021/000492

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

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:
2020136899 10 ноября 2020 (10.11.2020) RU

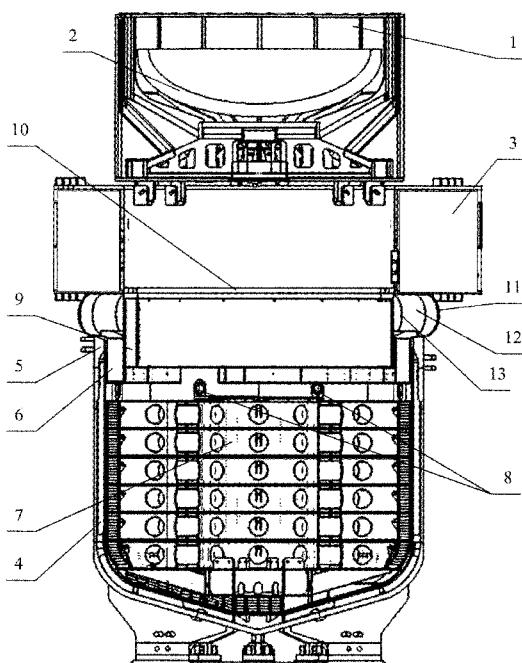
(71) Заявитель: АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АТОМ-ЭНЕРГОПРОЕКТ" (JOINT-STOCK COMPANY "ATOMENERGOPROEKT") [RU/RU]; ул. Бакунинская, д. 7, стр. 1, Москва, 107996, Moscow (RU).

(72) Изобретатели: СИДОРОВ, Александр Стальевич (SIDOROV, Aleksandr Stalevich); ул. Ключевая, д. 20, кв. 87, Москва, 115612, Moscow (RU). СИДОРОВА, Надежда Васильевна (SIDOROVA, Nadezhda Vasilevna); 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, Dmitrij Vyacheslavovich); АО "Атомэнергопроект", ул. Бакунинская, 7, стр. 1, Москва, 107996, Moscow (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 aim of the invention is to prevent a system for confining and cooling melt from being destroyed in the zone where a housing for receiving and distributing melt is connected to a cantilever truss in the event that melt escapes from the pressure vessel in an axially asymmetric fashion and fragments of the bottom of the pressure vessel fall into the multilayer housing in the initial stage of the water cooling of the melt, and thus to prevent cooling water intended for cooling the outside of the housing from entering same. This aim is achieved in that a system for confining and cooling melt from the core of a nuclear reactor additionally comprises a heat shield suspended from the cantilever truss, a membrane mounted between the cantilever truss and the housing, and banding plates mounted on the inner and outer sides of said membrane.

(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. Задачей изобретения, 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

-
- (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, 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)

многослойный корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и, следовательно, исключение попадания охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенный для охлаждения его внешней стороны. Поставленная задача решается за счет того, что в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора дополнительно установлены тепловая защита, подвешенная к ферме-консоли, мембрана, установленная между фермой- консолью и корпусом, и бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней сторон мембранны.

СИСТЕМА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Область техники

5 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.

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

15 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 20 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, 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 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, 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 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 15 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, предназначенней для охлаждения 20 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 25 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, предназначенней 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, 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 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, предназначенней 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 с фермой-консолью в условиях неосесимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса реактора в корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и следовательно, исключение попадания охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенный для охлаждения его внешней стороны.

15 Поставленная задача решается за счет того, что система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму-консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, согласно изобретению, дополнительно содержит тепловую защиту, подвешенную к фланцу фермы- 20 консоли, мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса соответственно, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней стороны мембранны таким образом, что их верхние концы жестко закреплены к верхнему фланцу мембранны, а нижние 25 концы закреплены к нижнему фланцу мембранны с возможностью продольного и вертикального перемещений относительно нижнего фланца мембранны.

Дополнительно, в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно изобретению, верхние концы бандажных

пластин закреплены к верхнему фланцу мембранны посредством сварных соединений.

Дополнительно, в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, согласно изобретению, в нижних концах бандажных 5 пластин и нижнем фланце мембранны выполнено отверстие, в котором установлен элемент закрепления, снабженный регулировочной гайкой и ограничителем.

Одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного 10 реактора тепловой защиты, подвешенной к фланцу фермы-консоли, что позволяет устранить прямое ударное воздействие со стороны расплава активной зоны и со стороны газодинамических потоков, вытекающих из корпуса реактора и действующих на зону соединения корпуса с фермой-консолью.

Ещё одним существенным признаком заявленного изобретения является наличие в системе мембранны выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса соответственно, бандажных пластин, установленных с внешней и внутренней стороны 20 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. Такое размещение мембранны позволяет обеспечить независимые радиально-азимутальные тепловые расширения фермы-консоли, 25 независимые перемещения фермы-консоли и корпуса при ударных механических воздействиях на элементы оборудования системы локализации и охлаждения расплава, аксиально-радиальные тепловые расширения корпуса, и следовательно, исключить попадание охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначенной для охлаждения его внешней стороны. Бандажные пластины,

в свою очередь, позволяют сохранить целостность мембранны при воздействии 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.

Краткое описание чертежей

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

На фиг. 2 изображена мембрана, выполненная в соответствии с заявленным изобретением.

На фиг. 3 изображена мембрана с установленными бандажными пластинами.

На фиг. 4 изображено крепление, обеспечивающее перемещение бандажных пластин и регулирование зазоров между бандажными пластинами и мембраной.

Варианты осуществления изобретения

Как показано на фиг. 1 - 4, система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора состоит из направляющей плиты (1), которая устанавливается 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. По периметру корпуса (4) в его верхней части (в зоне между наполнителем (7) и фланцем (5)) в патрубках установлены клапаны (8) подачи

воды. Между фланцем (5) многослойного корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) установлена мембрана (11) выпуклой формы. Выпуклая сторона мембранны (11) обращена за пределы корпуса (4). По обеим сторонам мембранны (11) установлены бандажные пластины (18), (19). Верхние концы 5 бандажных пластин (18), (19) жестко закреплены к верхнему фланцу (14) мембранны (11), например, с помощью сварных соединений (20), а нижние концы бандажных пластин (18), (19) закреплены к нижнему фланцу (15) мембранны (11) с возможностью продольного и вертикального перемещения относительно нижнего фланца (15) мембранны (11). Закрепление бандажных 10 пластин (18), (19) к нижнему фланцу (15) мембранны (11) выполняется посредством элементов (21), (22) закрепления, которые обеспечивают продольное и вертикальное перемещение бандажных пластин (18), (19) относительно нижнего фланца (15) мембранны (11), а также регулирование 15 зазоров между бандажными пластинами (18), (19) и мембранный (11). Элементы (21), (22) закрепления установлены таким образом, что позволяют сформировать страховочные бандажные зазоры (24), (25). Внутри корпуса (4) установленна тепловая защита (9). Тепловая защита (9) подвешивается к фланцу (10) фермы-консоли (3). Подвешивание может быть выполнено, например, 20 посредством термопрочных крепежных изделий. Тепловая защита (9) устанавливается таким образом, что перекрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4).

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

В момент разрушения корпуса (2) ядерного реактора расплав активной 25 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 происходит подплавление тепловой защиты (9). Частично разрушаясь, тепловая защита (9), с одной стороны, снижает тепловое воздействие расплава активной зоны на защищаемое оборудование, а с другой – уменьшает температуру и химическую активность самого расплава.

5 Тепловая защита (6) фланца (5) корпуса (4) обеспечивает защиту его верхней толстостенной внутренней части от теплового воздействия со стороны зеркала расплава активной зоны с момента поступления расплава в наполнитель (7) и до окончания взаимодействия расплава с наполнителем, то есть до момента начала охлаждения водой корки, расположенной на 10 поверхности расплава активной зоны. Тепловая защита (6) фланца (5) корпуса (4) устанавливается таким образом, что позволяет обеспечить защиту внутренней поверхности корпуса (4) выше уровня расплава активной зоны, образующегося в корпусе (4) в процессе взаимодействия с наполнителем (7), именно, той верхней части корпуса (4), которая имеет большую толщину по 15 сравнению с цилиндрической частью корпуса (4), обеспечивающей нормальную (без кризиса теплообмена в режиме «кипения в большом объёме») передачу тепла от расплава активной зоны к воде, находящейся с внешней стороны корпуса (4).

В процессе взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7) 20 тепловая защита (6) фланца (5) корпуса (4) подвергается разогреву и частичному разрушению, экранируя тепловое излучение со стороны зеркала расплава. Геометрические и теплофизические характеристики тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4) выбираются таким образом, что при любых условиях 25 обеспечивают его экранирование со стороны зеркала расплава, благодаря чему, в свою очередь, обеспечивается независимость защитных функций от времени завершения процессов физико-химического взаимодействия расплава активной зоны с наполнителем (7). Таким образом, наличие тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4) позволяет обеспечить выполнение защитных функций до начала

подачи воды на корку, расположенную на поверхности расплава активной зоны.

Тепловая защита (9), подвешенная к ферме-консоли (3) выше верхнего уровня тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), своей нижней частью 5 закрывает верхнюю часть тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), обеспечивая защиту от воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны не только нижней части фермы-консоли (3), но и верхней части тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4). Геометрические 10 характеристики, такие как расстояние между наружной поверхностью тепловой защиты (9) и внутренней поверхностью тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4), а также высота перекрытия указанных тепловых защит (9) и (6) выбраны таким образом, чтобы образовавшийся в результате такого перекрытия щелевой зазор, препятствовал прямому ударному воздействию на 15 зону герметичного соединения корпуса (4) с фермой-консолью (3) как со стороны движущегося расплава активной зоны, так и со стороны газодинамических потоков, выходящих из корпуса (2) реактора.

Конструктивно, тепловая защита (9) может быть выполнена из различных элементов, например, обечаек, стержней, листов и других элементов, позволяющих создать кольцевую конструкцию, обеспечивающую защиту от 20 воздействия теплового излучения со стороны зеркала расплава активной зоны.

Как показано на фиг. 1 и 2, мембрана (11) выпуклой формы состоит из вертикально ориентированных секторов (12), которые соединены друг с другом посредством сварных соединений (13). Мембрана (11) установлена между фланцем (5) корпуса (4) и нижней поверхностью фермы-консоли (3) в 25 пространстве, расположенном за наружной поверхностью тепловой защиты (9) и обеспечивает герметизацию корпуса (4) от затопления водой, поступающей для охлаждения его внешней поверхности.

Кроме того, 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.

5 Для сохранения мембраной (11) своих функций на начальной стадии поступления расплава активной зоны из корпуса (2) реактора в корпус (4) и связанного с этим повышения давления, мембрана (11) размещается в защищённом пространстве, образованном тепловой защитой (6) фланца (5) корпуса (4) и тепловой защитой (9), подвешенной к ферме-консоли (3).

10 До начала подачи охлаждающей воды внутрь корпуса (4) на корку происходит постепенное разрушение тепловой защиты (6) фланца (5) корпуса (4) и тепловой защиты (9), постепенно уменьшается зона перекрытия тепловых 15 защит (6), (9) до полного разрушения зоны перекрытия. С этого момента начинается воздействие теплового излучения на мембрану (11) со стороны зеркала расплава активной зоны. Мембрана (11) начинает нагреваться с

внутренней стороны, однако, в связи с небольшой толщиной, лучистый тепловой поток не может обеспечить разрушение мембраны (11), если мембрана (11) находится под уровнем охлаждающей воды. В этот же период 20 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) из клапанов (8) подачи воды на корку, находящуюся на поверхности расплава, мембрана (11) продолжает выполнение своих функций по герметизации 25 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 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 динамическому воздействию расплава на тепловую защиту (6) фланца (5) корпуса (4) и на сам фланец (5), и приведёт к подъёму давления в результате взаимодействия расплава с водой. Взаимодействие расплава с водой возможно в условиях, при которых прочная корка на 5 поверхности зеркала расплава ещё не сформировалась, а на днище корпуса (2) реактора находятся остатки расплава активной зоны (который ещё не успел застыть в результате начавшегося парового охлаждения), что возможно только в небольшой промежуток времени, не более 30 минут, при практическом отсутствии стабильного слоя воды на поверхности шлаковой шапки, 10 закрывающей поверхность тонкой корки над зеркалом расплава, в самом начале водяного охлаждения зеркала расплава. В этих условиях, весь объем охлаждающей воды, поступающей сверху на шлаковую шапку, испаряется, охлаждая вышерасположенные конструкции. В тот момент, когда начинается накопление воды на шлаковой шапке, то есть расход воды на испарение 15 начинает отставать от поступления воды внутрь корпуса (4), корка на поверхности расплава начинает быстро расти. Рост корки происходит неравномерно: наиболее толстая корка образуется около внутренней поверхности корпуса (4), а тонкая корка формируется на поверхности зеркала расплава в центральной части корпуса (4). В этих условиях падение обломков 20 днища корпуса (2) реактора может пробить тонкую корку, а расплав, выброшенный в результате удара на поверхность корки может прореагировать с водой, создав ударную волну, либо обрушение элементов днища корпуса (2) реактора не произойдёт, но остатки расплава выльются на корку расплава, покрытую водой, что также может привести к образованию ударной волны 25 вследствие парового взрыва.

Как показано на фиг. 3, для защиты мембранны (11) от разрушения при подъёме давления внутри корпуса (4) с внешней и внутренней стороны мембранны (11) установлены внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19), обеспечивающие фиксированное изменение геометрических

характеристик мембранны (11) в пределах внешнего и внутреннего зазоров (24), (25). В связи с тем, что ударная волна при подъёме давления относительно оси корпуса (4) распространяется неосесимметрично, а зазор (разрыв в результате разрушения или проплавления) между разрушенными тепловой защитой (9) и тепловой защитой (6) фланца (5) корпуса (4) в азимутальном направлении изменяется произвольно (например, по площади, по глубине, по структуре), то воздействие ударной волны на мембрану (11) будет содержать как прямые, так и обратные волны давления, чему противостоят внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19), соответственно. Для того, чтобы существенно уменьшить пучности в мембране (11) при воздействии прямых и обратных волн давления, внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) располагаются симметрично с каждой стороны мембранны (11), препятствуя развитию колебательных процессов и резонансных явлений в мембране (11).

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

При поступлении расплава активной зоны в наполнитель (7) корпус (4) постепенно нагревается, оказывая сжимающее давление на мембрану (11). Для того чтобы мембрана (11) могла выполнять свои 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

жёсткости мембранные (11) и жёсткости внешней и внутренней бандажных пластин (18), (19), что обусловлено необходимостью защиты мембранные (11) от воздействия ударных волн. Практическая независимость движений достигается, например, установкой внешних и внутренних элементов (21), (22) закрепления, 5 обеспечивающих свободное перемещение внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) на нижнем фланце (15) мембранные (11) с внешним и внутренним страховочными бандажными зазорами (24), (25).

Страховочные бандажные зазоры (24), (25) обеспечивают свободные перемещения мембранные (11) при термических расширениях корпуса (4) и 10 фермы-консоли (3), механические перемещения мембранные (11) при мембранных колебаниях фермы-консоли (3) и азимутально-радиальных колебаниях фланца (5) корпуса (4), блокирование радиальных знакопеременных перемещений мембранные (11) при воздействии ударной волны со стороны корпуса (2) реактора при разрушении расплавом днища корпуса реактора, 15 блокирование радиальных знакопеременных перемещений мембранные (11) при воздействии ударной волны, образующейся на начальной стадии охлаждения зеркала расплава при падении в корпус (4) обломков днища корпуса (2) реактора или остатков расплава активной зоны.

Как показано на фиг. 4, диапазон перемещения нижних концов 20 бандажных пластин ограничивается наличием в элементах (21), (22) закрепления ограничителей (26) перемещения регулировочных гаек (27), (28). Ограничители (26) обеспечивают фиксацию регулировочных гаек (27), (28) при их откручивании в процессе установки в проектное положение регулировочных зазоров (29), (30) между регулировочными гайками (27), (28) и бандажными 25 пластинами (18), (19). Фиксированные регулировочные зазоры (29), (30) обеспечивают возможность мембранные (11) двигаться независимо от бандажных пластин (18), (19) в зоне допустимых механических и тепловых перемещений. В случае выхода перемещений мембранные за допустимые значения, например, при воздействии прямой ударной волны, внешние бандажные пластины (18)

полностью выбирают регулировочный зазор (29), двигаясь вдоль внешних элементов закрепления (21), и упираются во внешнюю регулировочную гайку (27), а мембрана (11), выбрав внешний страховочный бандажный зазор (24), упирается в внешние бандажные пластины (18), предохраняющие её от 5 разрушения. При воздействии на мембрану (11) обратной ударной волны, внутренние бандажные пластины (19) полностью выбирают регулировочный зазор (29), двигаясь вдоль внутренних элементов закрепления (22), и упираются во внутреннюю регулировочную гайку (28), а мембрана (11), выбрав внутренний страховочный бандажный зазор (25), упирается в внутренние 10 бандажные пластины (19), предохраняющие её от разрушения.

При выполнении транспортно-технологических операций внешние и внутренние бандажные пластины (18), (19) жёстко зафиксированы внешними и внутренними регулировочными гайками (27), (28) для исключения повреждения мембранны (11), а при установке в проектное положение внешние 15 и внутренние регулировочные гайки (27), (28) откручиваются до упора в ограничители (26). При этом образуются внешний и внутренний регулировочные зазоры (29), (30) обеспечивающие свободное перемещение нижнего фланца (15) мембранны (11) вверх при тепловых расширениях корпуса (4) за счёт скольжения внешних и внутренних бандажных пластин (18), (19) по 20 нижнему фланцу (15) мембранны (11).

При воздействии на мембрану (11) ударной волны необходимо обеспечить надёжное крепление мембранны (11) к ферме-консоли (3) и к корпусу (4). С этой целью верхний фланец (14) установлен на верхнем теплопроводящем элементе (16), закреплённом на ферме-консоли (3), с которой 25 верхний фланец (14) и верхний теплопроводящий элемент (16) образуют, своего рода, карман (23) (изображен на фиг. 3), обеспечивающий эффективный теплообмен с внешней средой (охлаждающей водой или пароводянной смесью). Карман (23) для конвективного теплообмена необходим верхнему фланцу (14) 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 в составе системы локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора тепловой защиты, установленной в зоне фермы-консоли и тепловой защиты фланца корпуса, а 10 также мембранны с бандажными пластинаами позволило повысить её надежность за счет устранения разрушения системы локализации и охлаждения расплава в зоне соединения корпуса с фермой-консолью в условиях неосесимметричного истечения расплава из корпуса реактора и падения обломков днища корпуса 15 реактора в корпус на начальной стадии водяного охлаждения расплава, и следовательно, исключения попадания охлаждающей воды внутрь корпуса, предназначеннай для охлаждения его внешней стороны.

Источники информации:

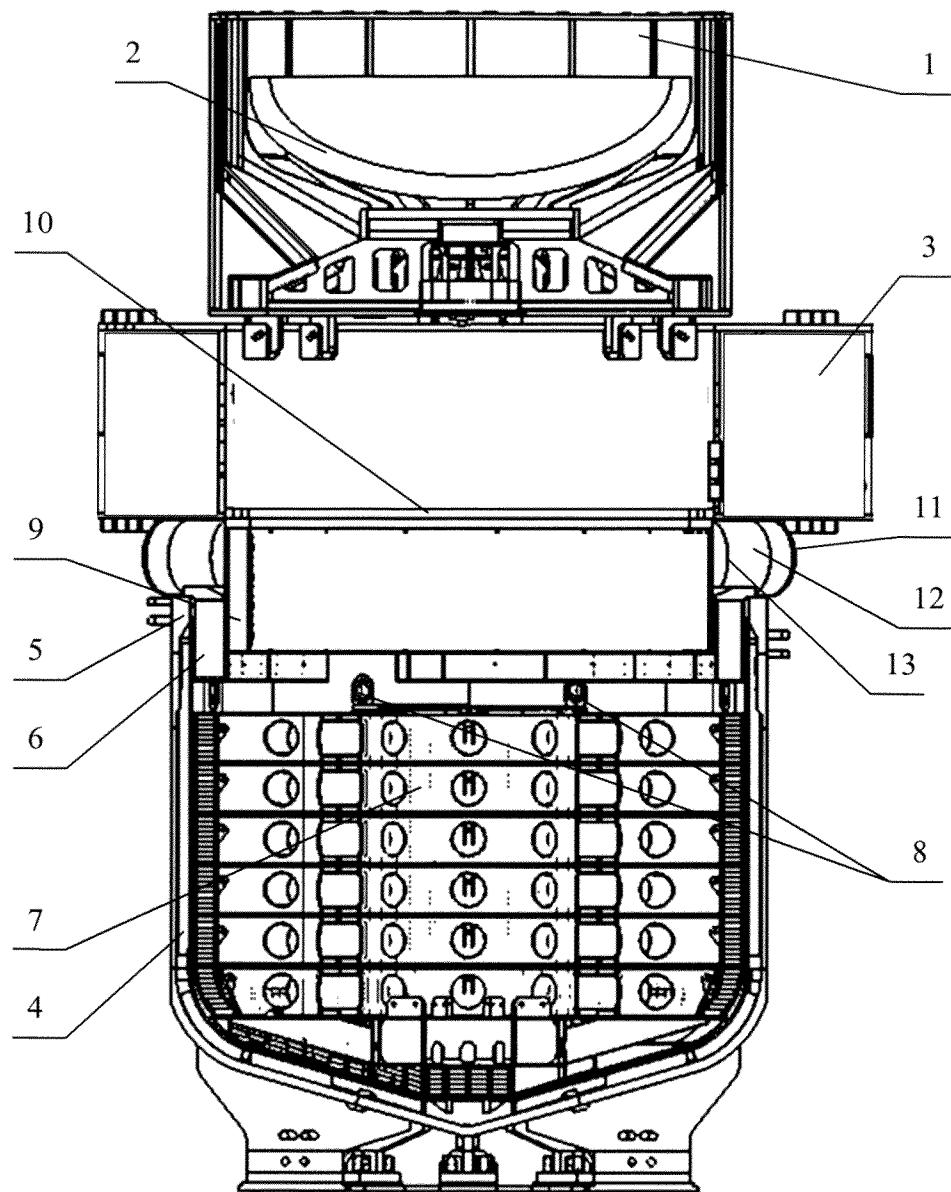
1. Патент РФ № 2575878, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.;
2. Патент РФ № 2576516, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.;
- 20 3. Патент РФ № 2576517, МПК G21C 9/016, приоритет от 16.12.2014 г.

Формула изобретения

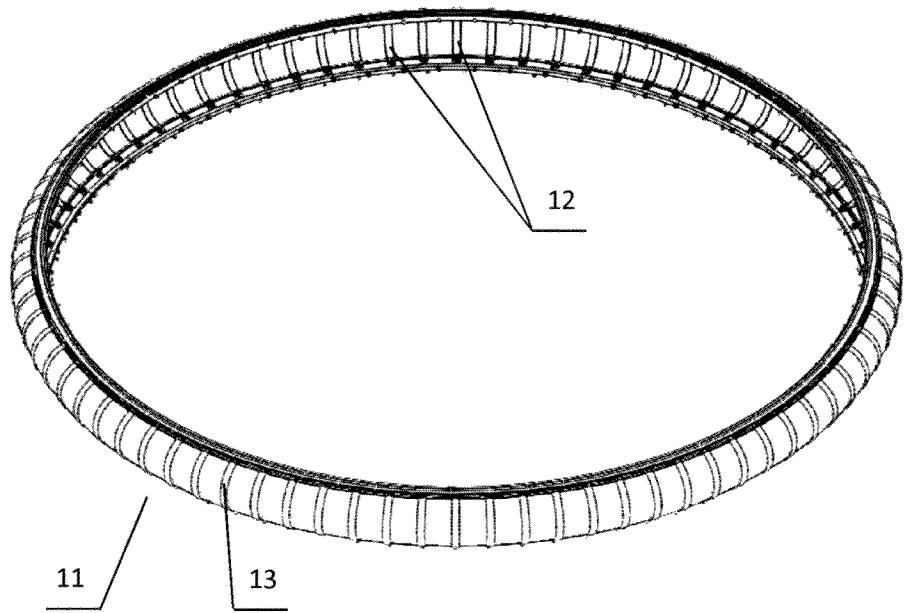
1. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного реактора, содержащая направляющую плиту, ферму-консоль, корпус с наполнителем, предназначенный для приема и распределения расплава, 5 отличающаяся тем, что дополнительно содержит тепловую защиту, подвешенную к фланцу фермы-консоли, мембрану выпуклой формы, верхний и нижний фланцы которой соединены с верхним и нижним теплопроводящими элементами, соединенными с фермой-консолью и фланцем корпуса соответственно, бандажные пластины, установленные с внешней и внутренней 10 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.

2. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного 15 реактора по п. 1, отличающаяся тем, что верхние концы бандажных пластин закреплены к верхнему фланцу мембранны посредством сварных соединений.

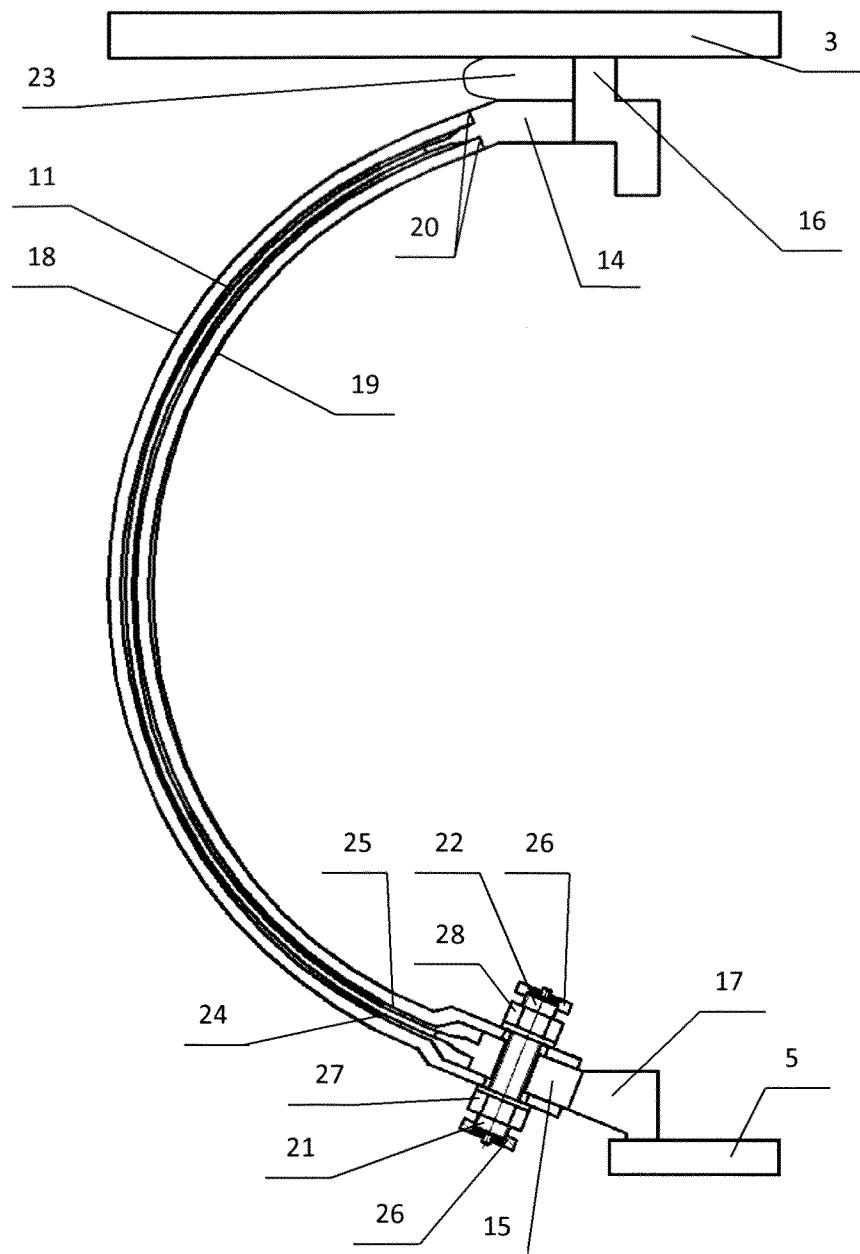
3. Система локализации и охлаждения расплава активной зоны ядерного 20 реактора по п. 1, отличающаяся тем, что в нижних концах бандажных пластин и нижнем фланце мембранны выполнено отверстие, в котором установлен элемент закрепления, снабженный регулировочной гайкой и ограничителем.



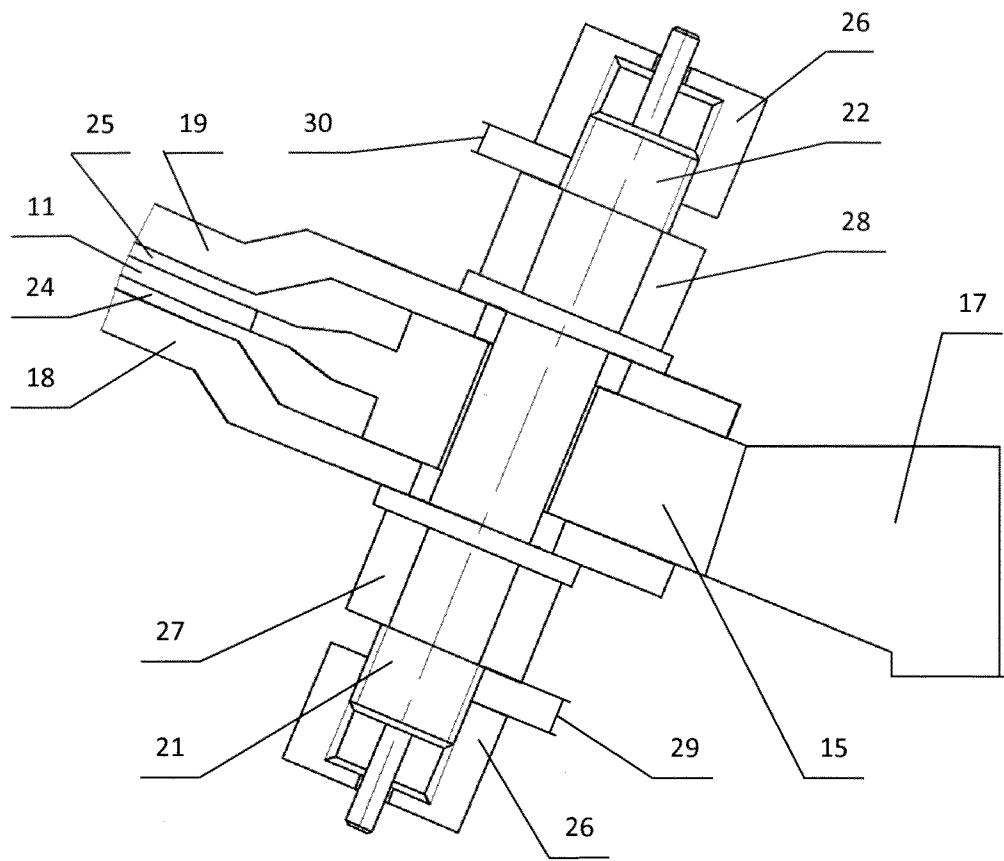
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



ФИГ. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2021/000492

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G21C 9/016 (2006.01); G21C 15/18 (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 9/00, 9/016, G21C 15/00, 15/18

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, K-PION, 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.
A	EA 035408 B1 (AO "ATOMENERGOPROEKT") 09.06.2020, the abstract, fig. 1	1-3
A	RU 2600552 C1 (STOLYAREVSKY ANATOLY YAKOVLEVICH) 20.10.2016	1-3
A	RU 2100853 C1 (TSENTR KOMPLEKSNOGO RAZVITIYA TEKHOLOGII I ENERGETICHESKIH SISTEM "KORTES") 27.12.1997	1-3
A	EP 928488 B1 (HWANG II SOON et al.) 05.06.2002	1-3
A	JP 2010261726 A (TOSHIBA CORP) 18.11.2010	1-3

 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

23 December 2021 (23.12.2021)

Date of mailing of the international search report

27 January 2022 (27.01.2022)

Name and mailing address of the ISA/
RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000492

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ**G21C 9/016 (2006.01)**
G21C 15/18 (2006.01)

Согласно Международной патентной классификации МПК

B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА

Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)

G21C 9/00, 9/016, G21C 15/00, 15/18

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, K-PION, Esp@cenet, Информационно-поисковая система ФИПС

C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	EA 035408 B1 (АО "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ") 09.06.2020, реферат, фиг. 1	1-3
A	RU 2600552 C1 (СТОЛЯРЕВСКИЙ АНАТОЛИЙ ЯКОВЛЕВИЧ) 20.10.2016	1-3
A	RU 2100853 C1 (ЦЕНТР КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ "КОРТЭС") 27.12.1997	1-3
A	EP 928488 B1 (HWANG II SOON и др.) 05.06.2002	1-3
A	JP 2010261726 A (TOSHIBA CORP) 18.11.2010	1-3

 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

23 декабря 2021 (23.12.2021)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске

27 января 2022 (27.01.2022)

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:
Кружалова А.
Телефон № 499-240-60-15