

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

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
22 сентября 2022 (22.09.2022)



(10) Номер международной публикации
WO 2022/197205 A1

(51) Международная патентная классификация:
G21C 15/02 (2006.01) *G21C 1/32* (2006.01)

(21) Номер международной заявки: РСТ/RU2021/000419

(22) Дата международной подачи:
04 октября 2021 (04.10.2021)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

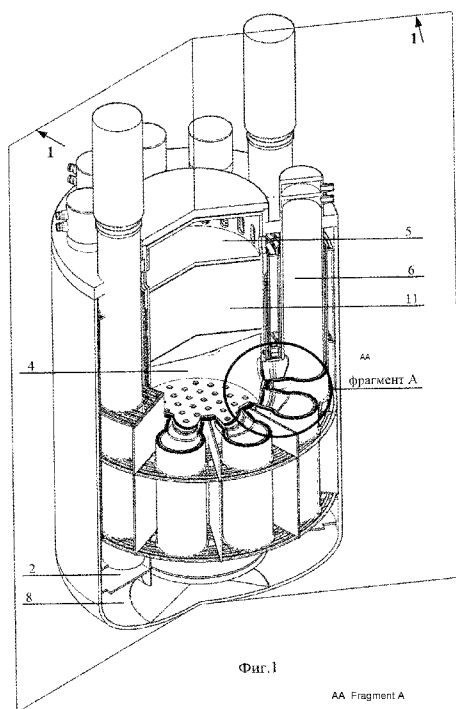
(30) Данные о приоритете:
2021106629 15 марта 2021 (15.03.2021) RU

(71) Заявитель: АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АКМЕ-ИНЖИНИРИНГ" ("AKME-ENGINEERING" JOINT STOCK COMPANY) [RU/RU]; ул. Пятницкая, дом 13, строение 1, Москва, 115035, Moscow (RU).

(72) Изобретатели: ДЕДУЛЬ, Александр Владиславович (DEDYL, Aleksandr Vladislavovich); ул. Пятницкая, 13, стр. 1, Москва, 115035, Moscow (RU). САМКОТРАСОВ, Сергей Владимирович (SAMKOTRYASOV, Sergei Vladimirovich); ул. Орджоникидзе, 21, г. Подольск, Московская область, 142103, Moskovskaya oblast, g. Podol'sk (RU). ТОШИНСКИЙ, Георгий Ильич (TOSHINSKII, Georgii Il'ich); ул. Пятницкая, 13, стр. 1, Москва, 115035, Moscow (RU). АРСЕНЬЕВ, Юрий Александрович (ARSEN'EV, Yuri Aleksandrovich); ул. Орджоникидзе, 21, г. Подольск, Московская область, 142103, Moskovskaya oblast, g. Podol'sk (RU). ВАХРУШИН, Михаил Петрович (VAHRUSHIN, Mihail Petrovich); ул. Орджоникидзе, 21, г. Подольск, Московская область, 142103, Moskovskaya oblast, Moscow (RU).

(54) Title: NUCLEAR REACTOR WITH A LIQUID METAL COOLANT

(54) Название изобретения: ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ



(57) Abstract: The invention relates to an integral-type nuclear reactor with a heavy liquid metal coolant. The reactor comprises a reactor vessel having a lower chamber, a core, a hot chamber, an upper chamber and heat exchangers. The housing of the hot chamber contains an inner cladding and at least one additional cladding mounted, with clearance, outside of and concentrically with said inner cladding to form at least one cooling duct of the hot chamber. Each branch pipe contains an inner cladding and at least one additional cladding mounted, with clearance, outside of and concentrically with said inner cladding to form at least one cooling duct of the branch pipe. The at least one cooling duct of the hot chamber and the at least one cooling duct of the branch pipe communicate with an outlet of the heat exchangers so that a flow of cooled coolant is directed into said cooling ducts. The technical result is that of reducing the heat load on elements of the hot chamber, primarily the entire housing thereof and the branch pipes for removing hot coolant, and, inter alia, smoothing and reducing the temperature gradient in said elements, and thus increasing the service life thereof.

(57) Реферат: Изобретение относится к ядерному реактору интегрального типа с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. Реактор содержит корпус реактора с нижней камерой, активной зоной, горячей камерой, верхней камерой и теплообменниками. Корпус горячей камеры содержит внутреннюю обечайку и по меньшей мере одну дополнительную обечайку, установленную с зазором снаружи и концентрично внутренней обечайке и формирующую по меньшей мере один охлаждающий канал горячей камеры. Каждый патрубок содержит внутреннюю обечайку патрубка и по меньшей мере одну дополнительную обечайку, установленную с зазором снаружи и концентрично внутренней обечайке и формирующую по меньшей мере один охлаждающий канал патрубка. По меньшей мере один охлаждающий канал горячей камеры и по меньшей мере один охлаждающий канал патрубка сообщаются с выходом теплообменников для направления потока охлажденного теплоносителя в указанные охлаждающие каналы. Техническим результатом является

(74) Агент: **ЧЕРНЫХ, Илья Владимирович**
(**SHERNYKH, Ilya Vladimirovich**); ул. Пятницкая, дом
13, строение 1, Москва, 115035, 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,
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)

снижение тепловой нагрузки на элементы горячей камеры, прежде всего корпуса горячей камеры и патрубков отвода горячего теплоносителя, в том числе сглаживание и снижение градиента температур в указанных элементах, и повышение срока их службы.

Ядерный реактор с жидкометаллическим теплоносителем

Область техники

Изобретение относится к ядерной энергетике, в частности, к
5 обеспечению безопасности ядерных реакторов (ЯР), прежде всего реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) на основе свинца или сплавов на основе свинца и висмута.

При выборе теплотехнических параметров ЯР, в частности
максимальной температуры теплоносителя, ограничивающими факторами
10 являются прежде всего коррозионная стойкость материалов и прочностные характеристики, связанные с особенностями нагружения конструкции. При этом максимальная температура теплоносителя в реакторах с жидкометаллическим охлаждением, как правило, достигается на выходе из активной зоны. Обычно подогрев теплоносителя в активной зоне носит
15 неравномерный характер, что связано с неравномерностью расхода теплоносителя по радиусу активной зоны и неравномерностью поля энерговыделения по объему активной зоны. Таким образом, элементы конструкции, располагающиеся в области выхода теплоносителя из активной зоны находятся под воздействием теплоносителя с максимальными
20 температурами и температурными неоднородностями.

Предпринимаются специальные меры по выравниванию нагрева
теплоносителя в активной зоне, однако эффективность этих мер ограничена, и неравномерность температуры теплоносителя на выходе из активной зоны
в реакторах с ТЖМТ может достигать нескольких десятков градусов. В
25 зависимости от типа теплоносителя второго контура ЯР, схемы циркуляции теплоносителя в камере над активной зоной и по пути к теплообменнику или парогенератору происходит перемешивание теплоносителя и постепенное выравнивание температуры теплоносителя. Повышению надежности и безопасности реакторной установки способствует применение специальных
30 конструктивных решений, ограничивающих воздействие неблагоприятных

факторов, таких как высокие значения локальных температур в камере на выходе из активной зоны или высоких градиентов температур в элементах конструкции, ограничивающих указанную камеру.

5 Уровень техники

Из патента RU2461085 известен реактор с ТЖМТ бассейнового типа. Недостатком конструкции такого типа реакторов является большой объем горячего теплоносителя, температура которого соответствует температуре выхода из активной зоны. Как следствие, часть внутрикорпусных элементов, соединительные элементы между приводами органов системы управления и
10 защиты (СУЗ) и органами воздействия на реактивность (стержнями или сборками стержней СУЗ) находятся под воздействием высоких температур и/или больших градиентов температур.

Из патента RU2153708 известен реактор с ТЖМТ интегрального типа. Основным преимуществом реакторов такого типа является возможность
15 размещения в одном корпусе ЯР активной зоны, насоса, обеспечивающего циркуляцию теплоносителя в первом контуре ЯР, и теплообменника (парогенератора) для отвода генерируемого в активной зоне тепла.

Температурные градиенты в элементах конструкции, отделяющих горячий теплоноситель с температурой выхода из активной зоны от
20 холодного теплоносителя после выхода из теплообменника (парогенератора), играют существенную роль при разработке конструкции ЯР. С учетом того, что в современных конструкциях ЯР с ТЖМТ разность между максимальной температурой и минимальной температурой в первом контуре лежит, как
25 правило, в диапазоне 100-150°C, для создания благоприятных рабочих условий для внутрикорпусных элементов конструкции, разделяющих горячие и холодные потоки теплоносителя, требуется разработка специальных конструктивных решений.

Важной особенностью известных ЯР с ТЖМТ является необходимость
30 контроля концентрации кислорода в определенном диапазоне. Присутствие

кислорода в теплоносителе необходимо для формирования защитных оксидных покрытий на поверхности сталей, что предупреждает выход в теплоноситель металлических примесей, прежде всего железа, ввиду коррозионных и эрозионных процессов преимущественно в горячей части
5 первого контура. При выходе в первый контур значительных объемов примесей железа необходимо использовать специальные системы для их улавливания, что усложняет конструкцию ЯР.

Таким образом, максимальное ограничение площади поверхностей, контактирующих с горячим теплоносителем, позволит существенно снизить
10 тепловую нагрузку на внутрикорпусные элементы ЯР, и является задачей, которая должна быть решена применением специальных конструктивных решений.

Патент РФ RU2521863 раскрывает ядерный реактор с жидкометаллическим теплоносителем, содержащий корпус, внутри которого
15 установлена разделительная оболочка, образующая кольцевое пространство, и в котором размещают по меньшей мере один парогенератор и по меньшей мере один насос, установленные каждый в своей обечайке. Внутри разделительной оболочки, в ее верхней части, размещена защитная пробка, а в нижней части – активная зона, над которой расположен горячий коллектор,
20 сообщающийся с парогенератором по высоте в средней или верхней части парогенератора посредством входного патрубка для разделения потока жидкометаллического теплоносителя на восходящий и нисходящий потоки, омывающие соответственно верхнюю и нижнюю части парогенератора.

Ядерный реактор с жидкометаллическим охлаждением согласно
25 патенту РФ RU2408094 содержит горячий коллектор над активной зоной и холодный коллектор, окружающий горячий коллектор, разделенные разделяющей конструкцией, где циркулирует первичная текучая среда для охлаждения активной зоны. Реактор также включает по меньшей мере одну интегрированную сборку циркуляции и теплообмена, содержащую насос, по
30 меньшей мере один теплообменник и конвейерную конструкцию, через

которую первичная текучая среда проходит от насоса к теплообменнику, причем последние прочно соединены друг с другом для образования единой конструкции. Интегрированная сборка размещена полностью в холодном коллекторе и имеет впускное отверстие, присоединенное к горячему
5 коллектору, и по меньшей мере одну выпускную секцию в холодном коллекторе.

Недостатком указанных известных ЯР является значительный перепад температур в патрубке, через который горячий поток теплоносителя выходит в парогенератор или насос для последующего охлаждения, что влияет на
10 срок службы и надежность данного элемента конструкции.

Ближайшим аналогом заявленного изобретения является ЯР согласно патенту РФ RU2331939. В указанном патенте раскрыта конструкция ядерного реактора с преимущественным использованием в качестве теплоносителя первого контура жидкометаллического теплоносителя.
15 Тепловая защита корпуса реактора содержит корзину активной зоны, кольцевые стальные обечайки, установленные и закрепленные в корзине, и разделительную обечайку, закрепленную на днище корпуса. В состав теплового экрана входят блоки с карбидом бора; они расположены за разделительной обечайкой и образуют в плане многослойный кольцевой
20 экран по всей высоте активной зоны. Зазоры между указанными блоками одного слоя перекрываются блоками следующего слоя.

Недостатком ближайшего аналога является жесткое закрепление обечаек в корпусе реактора, что при соприкосновении обечаек с потоком горячего теплоносителя, выходящего из активной зоны, будет создавать
25 значительную тепловую нагрузку в узлах соединения элементов и может привести к возникновению протечек теплоносителя. Жесткое закрепление обечаек, соприкасающихся с потоком горячего теплоносителя, также усложняет проведение регламентных и ремонтных работ.

Техническими задачами, решаемыми в заявленном изобретении, являются сокращение объема и площади поверхностей внутрикорпусных конструкционных элементов реактора, контактирующих с потоком горячего теплоносителя, обеспечение теплоизоляции горячей камеры и благоприятного температурного режима для внутрикорпусных конструкционных элементов, при котором перепады температур ограничены величинами, при которых температурные напряжения не превышают предел текучести, а также обеспечение удобства сборки и контроль протечек теплоносителя в разъемных соединениях.

Техническим результатом заявленного изобретения является снижение тепловой нагрузки на элементы горячей камеры, прежде всего корпуса горячей камеры и патрубков отвода горячего теплоносителя, в том числе сглаживание и снижение градиента температур, возникающих в указанных элементах, и как следствие повышение срока их службы, а также всего ЯР.

Поставленные технические задачи решаются, а заявленный технический результат достигается тем, что ядерный реактор интегрального типа с жидкометаллическим теплоносителем содержит корпус реактора с нижней камерой, активной зоной, горячей камерой, верхней камерой и теплообменниками, причем горячая камера размещена над активной зоной и содержит корпус горячей камеры по существу цилиндрической формы с патрубками отвода горячего теплоносителя, поступающего из активной зоны в теплообменники. Корпус горячей камеры содержит внутреннюю обечайку горячей камеры и по меньшей мере одну дополнительную обечайку горячей камеры, установленную с зазором снаружи и концентрично внутренней обечайке горячей камеры, контактирующую с внешней стороны с холодным теплоносителем и формирующей по меньшей мере один канал сообщающийся с холодным теплоносителем. При этом каждый патрубок содержит внутреннюю обечайку патрубка и по меньшей мере одну дополнительную обечайку патрубка, установленную с зазором снаружи и концентрично внутренней обечайке патрубка, контактирующую с

внешней стороны с холодным теплоносителем и формирующую по меньшей мере один канал сообщающийся с холодным теплоносителем. В указанные по меньшей мере один канал горячей камеры и по меньшей мере один канал патрубка холодный теплоноситель поступает с выхода теплообменников.

5 Описанная конструкция горячей зоны ЯР позволяет равномерно распределить температуру по корпусу горячей камеры и патрубку, а также снизить тепловую нагрузку на указанные элементы конструкции ЯР, что положительно сказывается на их надежности и сроке службы.

10 Возможны также частные варианты исполнения изобретения, в которых также решаются поставленные задачи и достигается заявленный технический результат.

15 Так, для дополнительного обеспечения равномерного распределения температуры по корпусу горячей камеры и патрубку по меньшей мере в одной дополнительной обечайке горячей камеры и/или по меньшей мере в одной дополнительной обечайке патрубка выполняют сквозные отверстия. Указанные сквозные отверстия обеспечивают дополнительный проток теплоносителя в тех случаях, когда протяженность каналов, замыкающихся на камеры с холодным теплоносителем значительна и препятствует потоку теплоносителя в них. Проток теплоносителя необходим, в том числе, для

20 поддержания необходимой концентрации растворенного в теплоносителе кислорода в каналах. Форма отверстий может быть произвольной и определяется только функциональным назначением этих отверстий. Требования к уровню концентрации кислорода определяются известными соотношениями.

25 Интенсивность потока теплоносителя, проходящего в зазорах между обечайками, регулируется, в том числе, шириной зазоров между обечайками и отверстиями в дополнительных обечайках. Указанная интенсивность подбирается таким образом, чтобы обеспечить равномерное распределение перепада температур между внутренней обечайкой и соответствующими

30 дополнительными обечайками, предпочтительно по линейному закону.

Для обеспечения удобства и надежности сборки, компенсации температурных перемещений элементов, сопряжения пробки, внутренней обечайки горячей камеры и внутренней обечайки патрубка, а также для исключения попадания горячего теплоносителя в полости между
5 дополнительными обечайками и/или внутренними обечайками и соответствующими дополнительными обечайками, в конструкции горячей камеры могут быть предусмотрены уплотнения с поршневыми кольцами. В частности, является предпочтительным, если между внутренней обечайкой горячей камеры и пробкой размещено по меньшей мере одно первое
10 уплотняющее поршневое кольцо, между внутренней обечайкой горячей камеры и соседней с ней дополнительной обечайкой горячей камеры размещено по меньшей мере одно второе уплотняющее поршневое кольцо, и между внутренней обечайкой патрубка и соседней с ней дополнительной обечайкой патрубка размещено по меньшей мере одно третье уплотняющее
15 поршневое кольцо.

Поршневые кольца предпочтительно изготавливают из высокопрочного и коррозионностойкого материала, например, серого чугуна с пластинчатым графитом, легированного хромом и кремнием.

В вертикальном направлении, выше активной зоны, горячая камера
20 ограничена пробкой. Предпочтительная форма пробки – конусовидная трапеция, что позволяет сгладить направление потока горячего теплоносителя, выходящего из активной зоны, и повернуть поток ориентировочно на 90°, чтобы облегчить его прохождение из горячей камеры в патрубок отвода горячего теплоносителя, что положительно сказывается на
25 распределении тепловой нагрузки, приходящейся на компоненты горячей камеры. В частности, пробка может состоять по меньшей мере из двух дисковых элементов, установленных с зазором один над другим и выполненных из стали.

Далее возможные варианты осуществления изобретения более
30 подробно раскрываются со ссылками на фигуры.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлен 3-D вид реактора интегрального типа согласно изобретению.

5 На фиг. 2 представлен фрагмент А 3-D вида реактора.

На фиг. 3 приведен разрез 1-1 реактора интегрального типа согласно изобретению.

На фиг. 4 приведен разрез 2-2 реактора интегрального типа согласно изобретению.

10 На фиг. 5 приведена область патрубка отвода потока горячего теплоносителя в разрезе.

Ни фиг. 6 приведен вариант реализации отвода горячего теплоносителя только вверх.

Позициями на фигурах показаны:

- 15 1 – корпус реактора;
2 – нижняя камера;
3 – активная зона;
4 – горячая камера;
5 – верхняя камера;
20 6 – теплообменник (парогенератор);
7 – насос;
8 – канал подачи теплоносителя;
9 – патрубок;
10 – корпус горячей камеры;
25 11 – пробка;
12 – внутренняя обечайка горячей камеры;
13 – дополнительная обечайка горячей камеры;
14 – охлаждающий канал горячей камеры;
15 – внутренняя обечайка патрубка;
30 16 – дополнительная обечайка патрубка;

17 – охлаждающий канал патрубка;

18 – выход теплообменника;

19 – первое уплотняющее поршневое кольцо;

20 – третье уплотняющее поршневое кольцо;

5 21 – дисковый элемент пробки.

В общем случае ядерный реактор, упрощенно показанный на фиг. 3, включает корпус 1 реактора, в котором размещены нижняя камера 2, активная зона 3, горячая камера 4, верхняя камера 5 и теплообменники (парогенераторы) 6. Назначение каждого из указанных компонентов ЯР
10 хорошо известно специалисту в данной области техники и не требует дополнительных пояснений, поэтому далее будут описаны только особенности исполнения отдельных компонентов ЯР, относящиеся к настоящему изобретению.

Стрелками на фигурах показаны направления потоков теплоносителя.

15 Холодный теплоноситель посредством насоса 7 подается в нижнюю камеру 2, откуда по каналам 8 подачи теплоносителя поступает на вход в активную зону 3. В активной зоне 3 теплоноситель нагревается и поступает в горячую камеру 4, размещенную над активной зоной 3, с температурой выхода из активной зоны. Далее горячий теплоноситель направляется в
20 патрубки 9 отвода горячего теплоносителя, которые обеспечивают подачу потока горячего теплоносителя в теплообменники (парогенераторы) 6.

Горячая камера 4 (фиг. 2) содержит корпус 10 горячей камеры по существу цилиндрической формы с патрубками 9 отвода горячего теплоносителя, поступающего из активной зоны в теплообменники 6, и
25 пробку 11.

Согласно изобретению, корпус 10 горячей камеры содержит внутреннюю обечайку 12 горячей камеры и по меньшей мере одну дополнительную обечайку 13 горячей камеры. Дополнительные обечайки 13 горячей камеры установлены с зазором снаружи от внутренней обечайки 12

горячей камеры и concentрично ей, таким образом формируя по меньшей мере один охлаждающий канал 14 горячей камеры.

Согласно изобретению, каждый патрубок 9 также содержит внутреннюю обечайку 15 патрубка и по меньшей мере одну дополнительную обечайку 16 патрубка, установленную с зазором снаружи и concentрично внутренней обечайке 15 патрубка и формирующую по меньшей мере один охлаждающий канал 17 патрубка.

Охлаждающие каналы 14 горячей камеры и охлаждающие каналы 17 патрубка сообщаются с выходами 18 (фиг.3) теплообменников для направления потока охлажденного теплоносителя в указанные охлаждающие каналы 14, 17.

На фиг. 3 показано, что после входа горячего теплоносителя в теплообменник 6 поток разделяется на две части: Первая часть потока горячего теплоносителя, движущаяся вверх, охлаждается теплоносителем второго контура и поступает в верхнюю камеру 5. Вторая часть потока горячего теплоносителя, движущаяся вниз, также охлаждается теплоносителем второго контура и поступает на выход 18 теплообменника, где разворачивается и движется в направлении вверх по охлаждающим каналам 14, 17.

Такое движение теплоносителя, включающее его прохождение по охлаждающим каналам 14, 17, способствует выравниванию температуры по поперечному сечению корпуса 10 горячей камеры и патрубка, снижению на них тепловой нагрузки и возникающих термических напряжений, что сказывается на надежности работы и сроке службы данных конструктивных элементов ЯР.

Величину зазоров между внутренними обечайками 12, 15 и соответствующими дополнительными обечайками 13, 16, а также между соответствующими дополнительными обечайками 13, 16 подбирают таким образом, чтобы в результате температурных расширений и перемещений элементов конструкции ЯР не возникало прямого контакта между

указанными обечайками, т.е. чтобы в любом случае между указанными обечайками оставался гарантированный зазор для циркуляции теплоносителя в охлаждающих каналах 14, 17.

Расход теплоносителя, подаваемого в охлаждающие каналы 14, 17 рассчитывают таким образом, чтобы теплопередача вдоль охлаждающих каналов 14, 17 была существенно меньше теплопередачи между внутренними обечайками 12, 15 и соответствующими дополнительными обечайками 13, 16, а также между соответствующими дополнительными обечайками 13, 16.

Кроме того, согласно настоящему изобретению, по меньшей мере в одной дополнительной обечайке 13 горячей камеры и/или по меньшей мере в одной дополнительной обечайке 16 патрубка (Фиг. 5б, 5в) могут быть выполнены сквозные отверстия. Указанные сквозные отверстия обеспечивают проток горячего теплоносителя, как это показано стрелками на рисунках. Форма отверстий может быть произвольной и определяется только функциональным назначением этих отверстий. Интенсивность потока теплоносителя, проходящего по охлаждающим каналам 14, 17, регулируется, в том числе, и указанными сквозными отверстиями в дополнительных обечайках. Эта интенсивность подбирается таким образом, чтобы обеспечить равномерное распределение перепада температур между внутренней обечайкой 12, 15 и соответствующими дополнительными обечайками 13, 16, предпочтительно по линейному закону.

Для исключения возникновения больших напряжений при перемещениях конструктивных элементов ЯР в результате температурного расширения внутренние обечайки 12, 15 не имеют прочного соединения соответствующими ответными компонентами ЯР. При этом должны быть предусмотрены подвижные уплотнения, предпочтительным вариантом которых являются уплотнения типа поршневых колец.

Так, между внутренней обечайкой 12 горячей камеры и пробкой 11 может размещено по меньшей мере одно первое уплотняющее поршневое кольцо 19; между внутренней обечайкой 13 горячей камеры и соседней с ней

дополнительной обечайкой горячей камеры может быть размещено по меньшей мере одно второе уплотняющее поршневое кольцо (на фигурах не показано); между внутренней обечайкой 16 патрубка и соседней с ней дополнительной обечайкой патрубка может быть размещено по меньшей мере одно третье уплотняющее поршневое кольцо 20.

Наиболее предпочтительным материалом указанных поршневых колец является высокопрочный и коррозионностойкий материал, в частности, серый чугун с пластинчатым графитом, легированный хромом и кремнием.

Пробка 11 ограничивает горячую камеру 4 в вертикальном направлении, выше активной зоны. Предпочтительной формой пробки 11 является конусовидная трапеция, что позволяет сгладить направление потока горячего теплоносителя, выходящего из активной зоны 3, и повернуть поток ориентировочно на 90°, чтобы облегчить его прохождение из горячей камеры 4 в патрубок 9 отвода горячего теплоносителя, что положительно сказывается на распределении тепловой нагрузки, приходящейся на компоненты горячей камеры 4. В частности, пробка 11 может состоять по меньшей мере из двух дисковых элементов 21, установленных с зазором один над другим и выполненных из стали.

Таким образом, настоящее изобретение позволяет сократить объем и площадь поверхностей внутрикорпусных конструктивных элементов ядерного реактора, контактирующих с потоком горячего теплоносителя, обеспечить теплоизоляцию горячей камеры и благоприятный температурный режим для указанных элементов, обеспечить удобство сборки и контроль протечек теплоносителя в разъемных соединениях. Как следствие, перепады температур в указанных элементах ограничены величинами, при которых температурные напряжения не превышают предел текучести, снижается тепловая нагрузка на них, прежде всего на корпус горячей камеры и патрубки отвода горячего теплоносителя, повышается срок их службы.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ядерный реактор интегрального типа с жидкометаллическим теплоносителем, содержащий корпус реактора с нижней камерой, активной зоной, горячей камерой, верхней камерой и теплообменниками, причем горячая камера размещена над активной зоной и содержит корпус горячей камеры по существу цилиндрической формы с патрубками отвода горячего теплоносителя, поступающего из активной зоны в теплообменники, и пробку, а упомянутые патрубки омываются снаружи холодным теплоносителем с выхода теплообменников, отличающийся тем, что корпус горячей камеры содержит внутреннюю обечайку горячей камеры и по меньшей мере одну дополнительную обечайку горячей камеры, установленную с зазором снаружи и концентрично внутренней обечайке горячей камеры и формирующую по меньшей мере один канал горячей камеры, каждый патрубок содержит внутреннюю обечайку патрубка и по меньшей мере одну дополнительную обечайку патрубка, установленную с зазором снаружи и концентрично внутренней обечайке патрубка и формирующую по меньшей мере один канал патрубка, и по меньшей мере один канал горячей камеры и по меньшей мере один канал патрубка сообщаются с выходом теплообменников для направления потока холодного теплоносителя в указанные каналы.

2. Ядерный реактор по п. 1, в котором по меньшей мере в одной дополнительной обечайке горячей камеры и/или по меньшей мере в одной дополнительной обечайке патрубка выполнены сквозные отверстия.

3. Ядерный реактор по п. 1, в котором между внутренней обечайкой горячей камеры и пробкой размещено по меньшей мере одно первое уплотняющее поршневое кольцо,

между внутренней обечайкой горячей камеры и соседней с ней дополнительной обечайкой горячей камеры размещено по меньшей мере одно второе уплотняющее поршневое кольцо, и между внутренней обечайкой патрубка и соседней с ней дополнительной обечайкой патрубка размещено по меньшей мере одно третье уплотняющее поршневое кольцо.

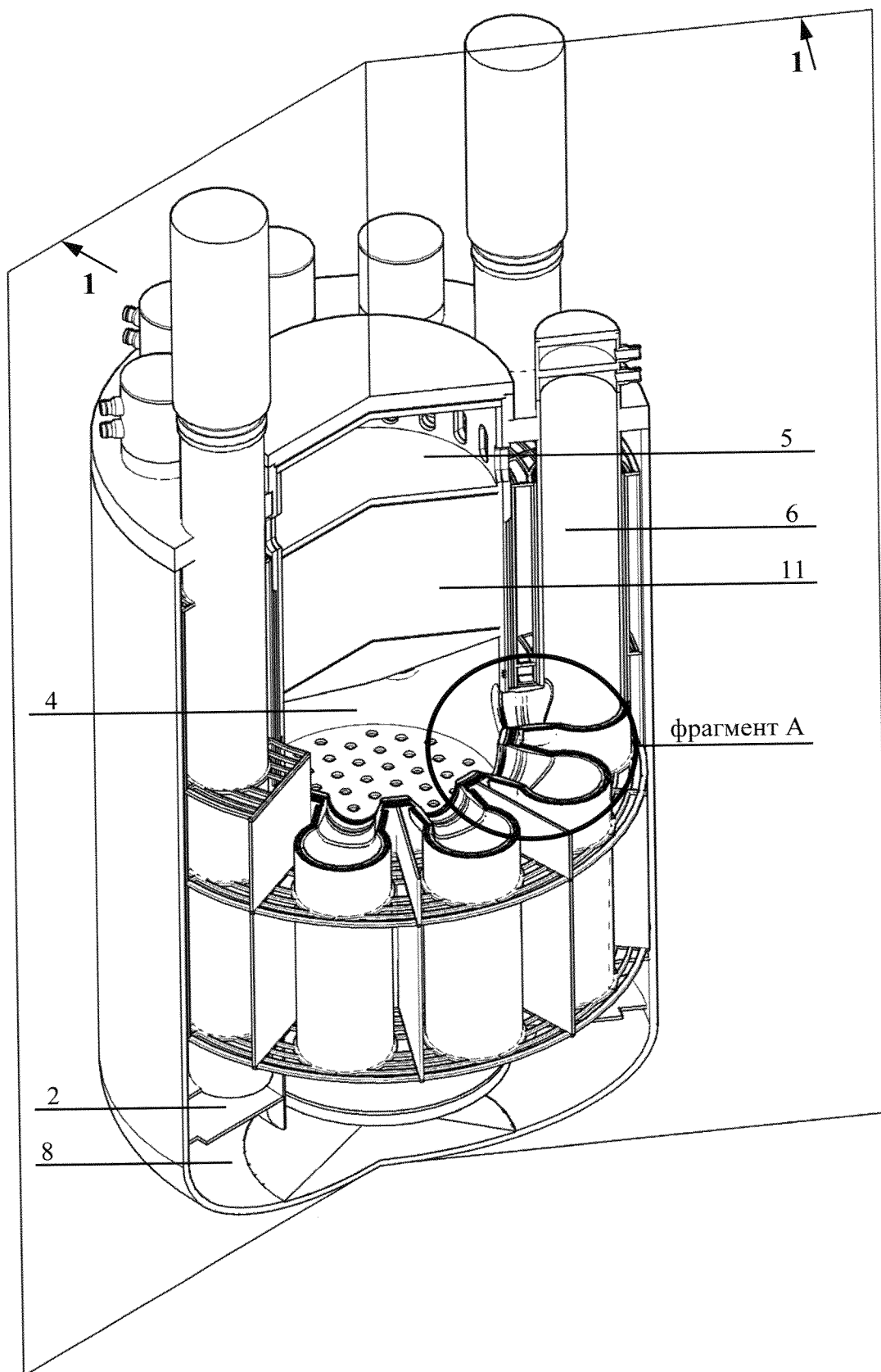
4. Ядерный реактор по п. 3, в котором указанные уплотняющие поршневые кольца и/или пробка выполнены из высокопрочного и коррозионностойкого материала.

10

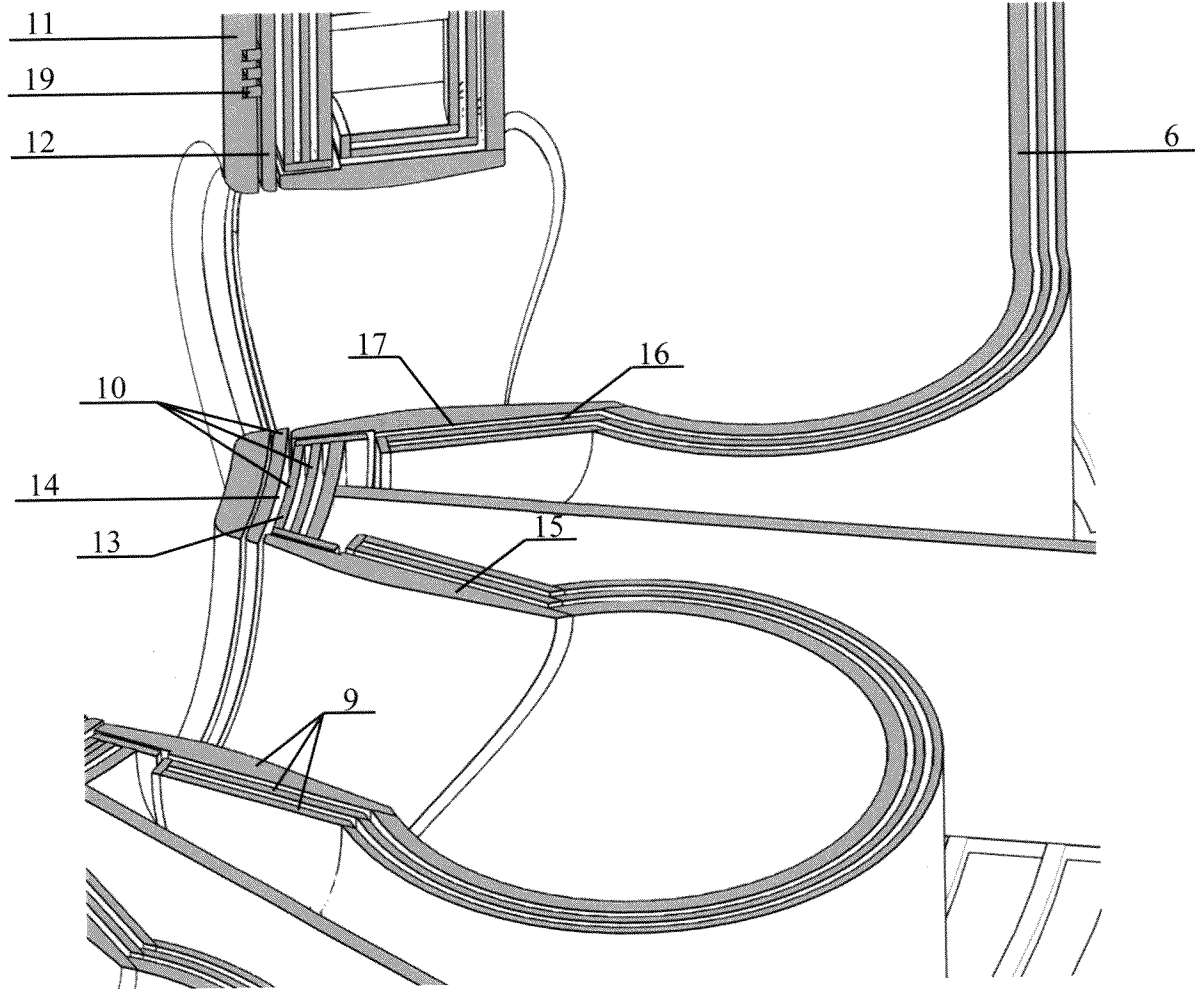
5. Ядерный реактор по п. 4, в котором указанным материалом является серый чугун с пластинчатым графитом легированный хромом и кремнием.

6. Ядерный реактор по любому из предыдущих пунктов, в котором пробка содержит по меньшей мере два дисковых элемента.

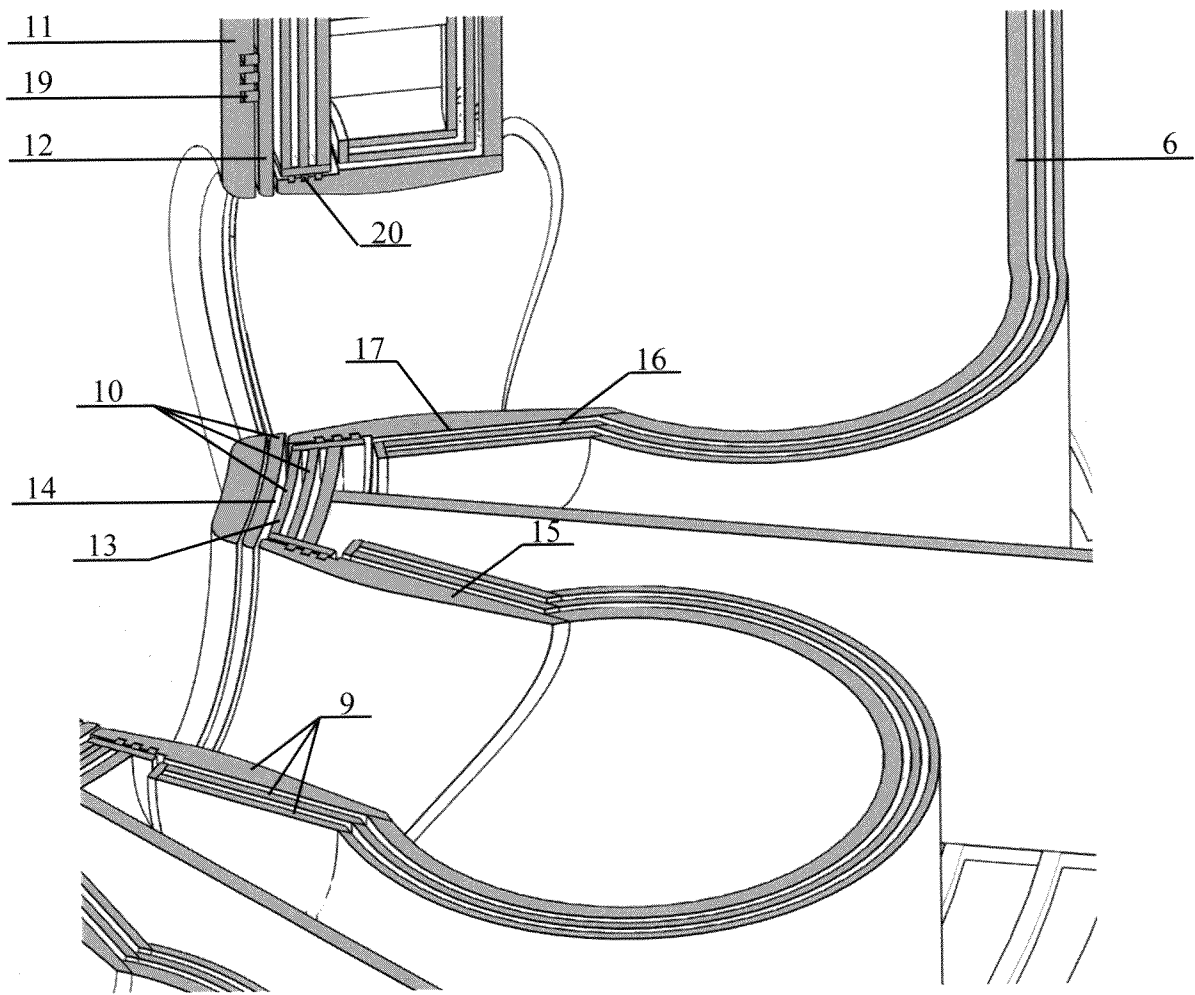
15



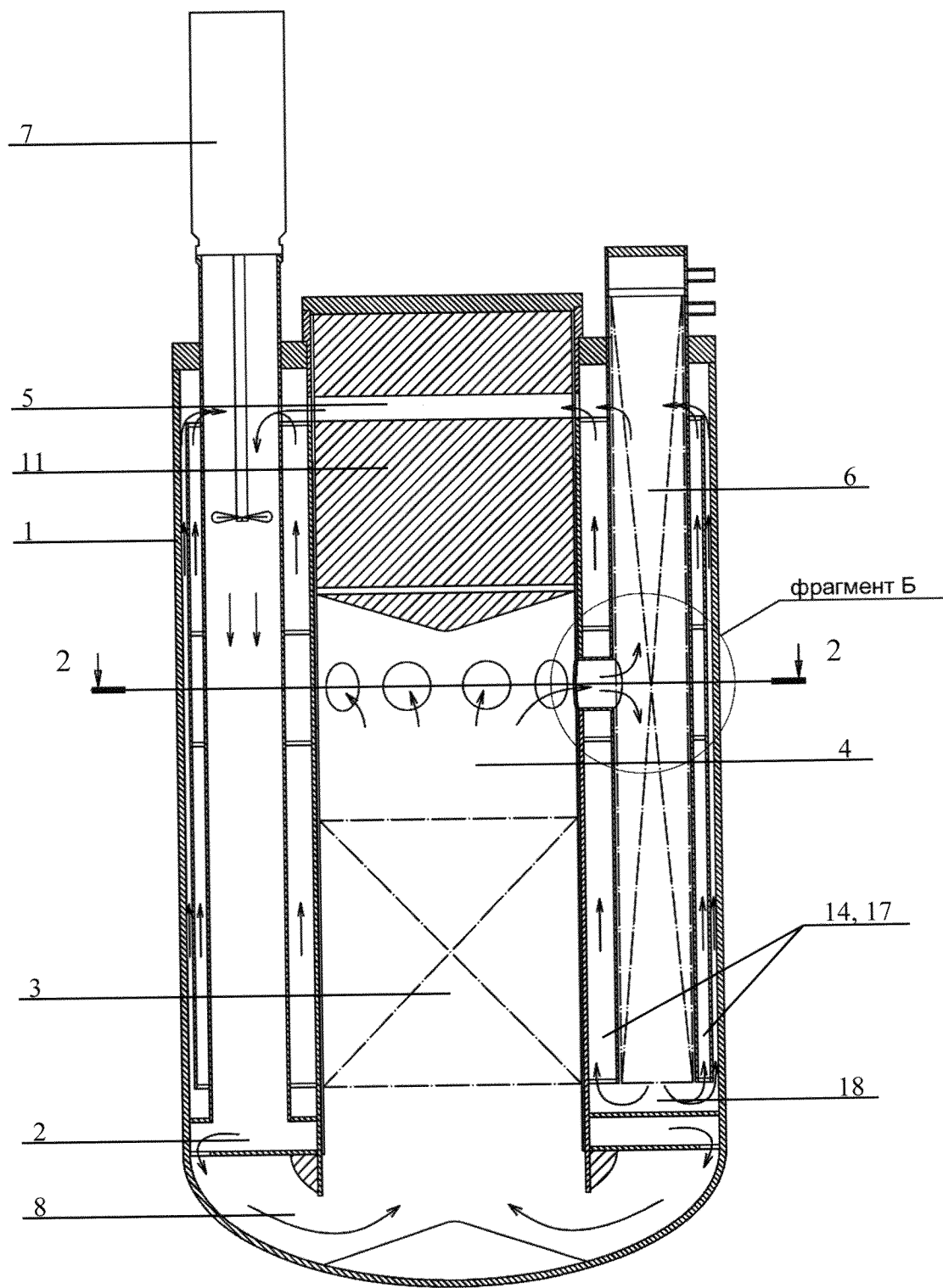
Фиг.1



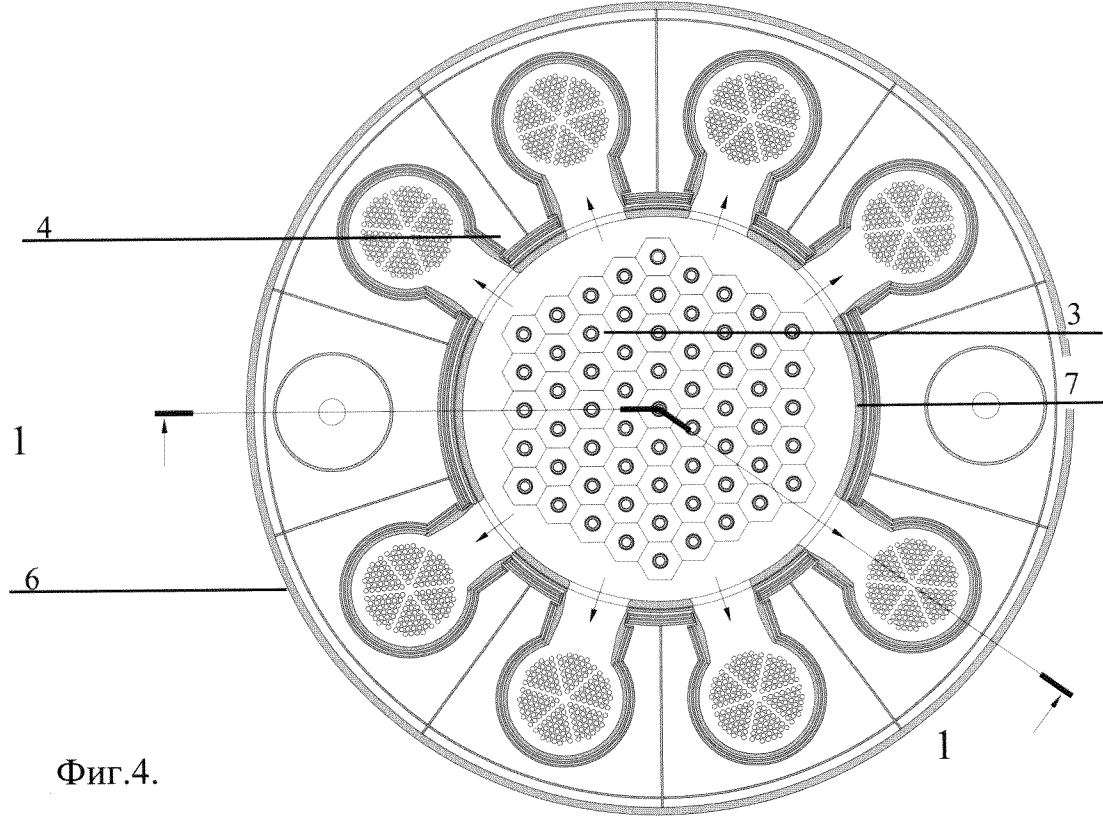
Фиг.2.



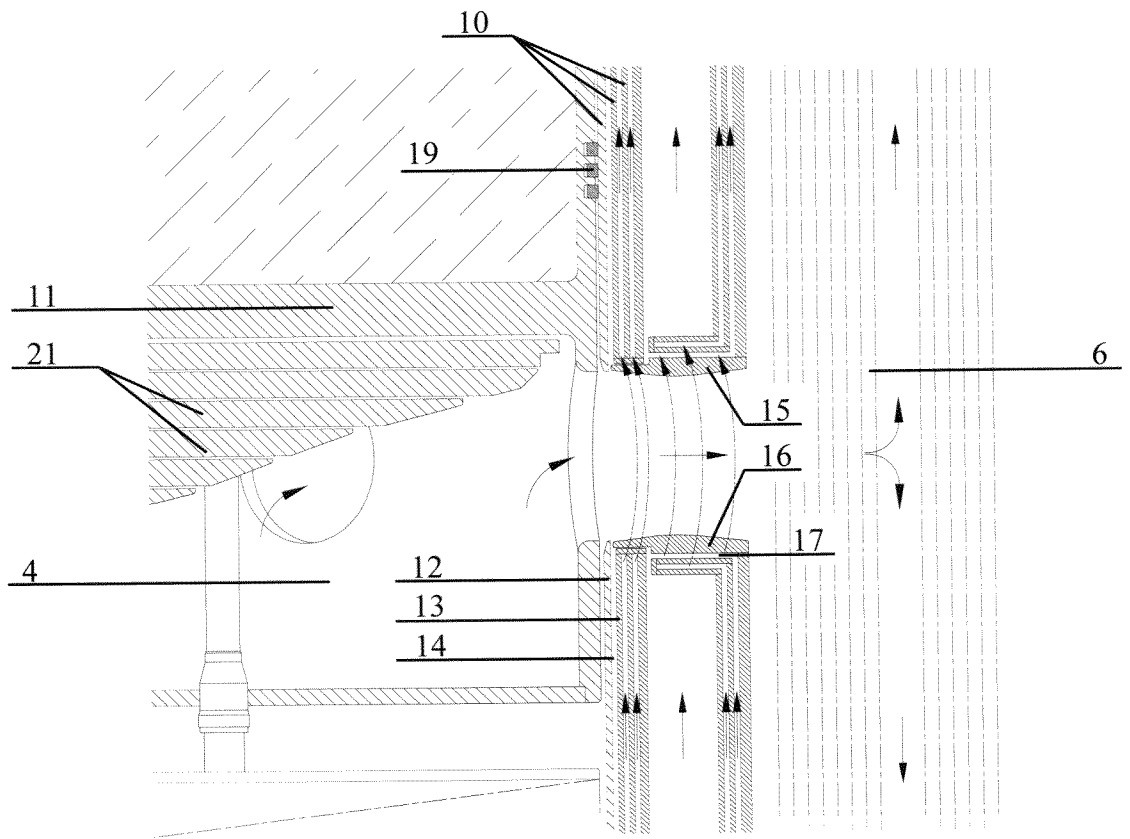
Фиг.2а.



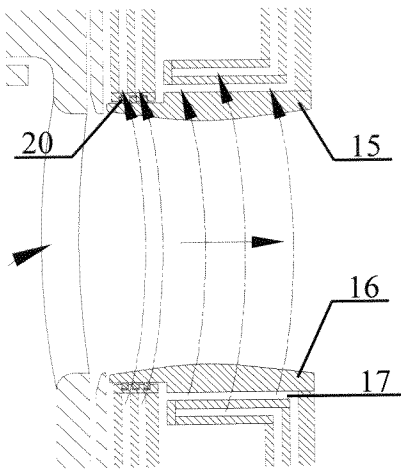
Фиг.3.



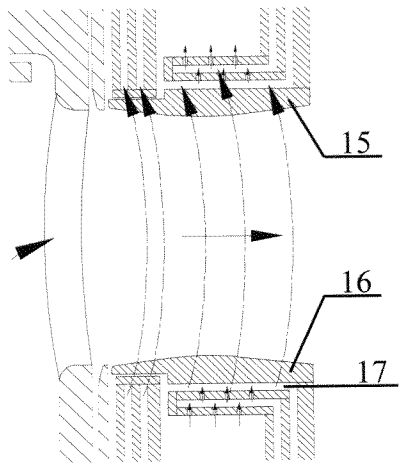
Фиг.4.



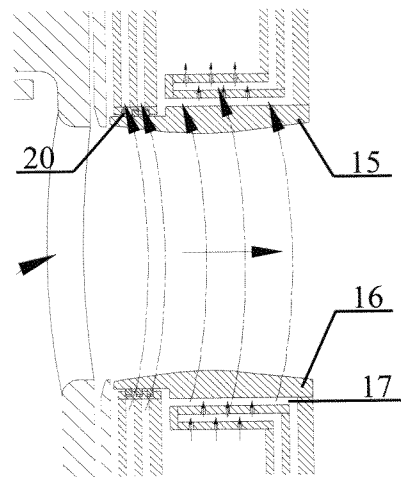
Фиг.5.



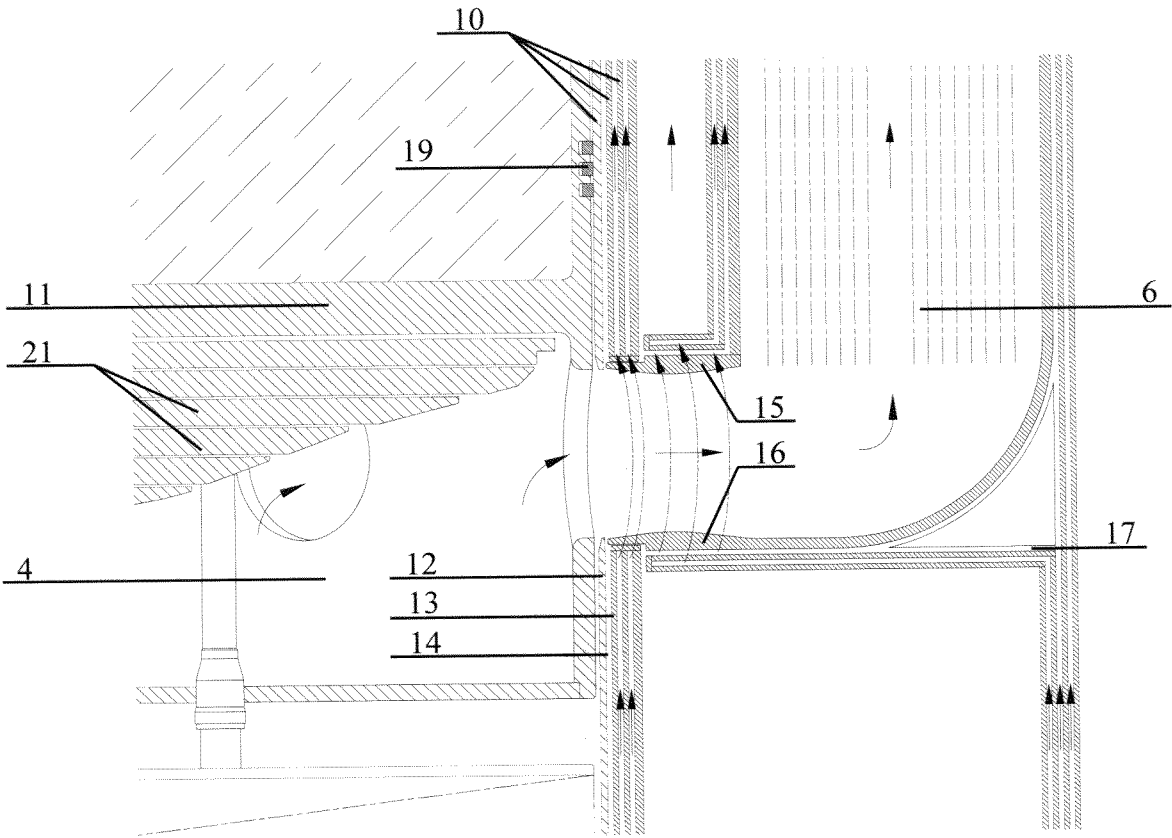
Фиг.5а.



Фиг.5б.



Фиг.5в.



Фиг.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2021/000419

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21C 15/02 (2006.01)

G21C 1/32 (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 1/00, 1/32

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 2331939 C1 (FGUP OPYTNOE KONSTRUKTORSKOE BJURO "GIDROPRESS") 20.08.2008, fig. 1, 2, abstract, the claims	1-6
A	RU 2034343 C1 (REPIN ALEKSANDR ILICH) 30.04.1995, p. 3, abstract	1-6
A	RU 2408094 C2 (ANSALDO NUKLEARE S.P.A.) 27.12.2010	1-6
D, A	RU 2153708 C2 (FRAMATOM) 27.07.2000	1-6
D, A	RU 2521863 C1 (OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHCHESTVO "AKME-INZHINIRING") 10.07.2014	1-6
A	EP 3338283 B1 (COPENHAGEN ATOMICS APS) 07.10.2020	1-6
A	WO 2020/214873 A1 (BWXT ADVANCED TECHNOLOGIES LLC) 22.10.2020	1-6



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

10 January 2022 (10.01.2022)

Date of mailing of the international search report

20 January 2022 (20.01.2022)

Name and mailing address of the ISA/

RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000419

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ <i>G21C 15/02 (2006.01)</i> <i>G21C 1/32 (2006.01)</i> Согласно Международной патентной классификации МПК		
B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации) G21C 1/00, 1/32 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 2331939 C1 (ФГУП ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "ГИДРОПРЕСС") 20.08.2008, фиг. 1, 2, реферат, формула	1-6
A	RU 2034343 C1 (РЕПИН АЛЕКСАНДР ИЛЬИЧ) 30.04.1995, с. 3, реферат	1-6
A	RU 2408094 C2 (АНСАЛЬДО НУКЛЕАРЕ С.П.А.) 27.12.2010	1-6
D, A	RU 2153708 C2 (ФРАМАТОМ) 27.07.2000	1-6
D, A	RU 2521863 C1 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АКМЭ-ИНЖИНИРИНГ") 10.07.2014	1-6
A	EP 3338283 B1 (COPENHAGEN ATOMICS APS) 07.10.2020	1-6
A	WO 2020/214873 A1 (BWXT ADVANCED TECHNOLOGIES LLC) 22.10.2020	1-6
☐ последующие документы указаны в продолжении графы C. ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Особые категории ссылочных документов: "А" 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 "Т" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение "Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности "У" 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 10 января 2022 (10.01.2022)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске 20 января 2022 (20.01.2022)
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) 243-33-37		Уполномоченное лицо: Иваненко Т.В. Телефон № (495) 531-64-81