

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042344**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.02.06

(51) Int. Cl. **G21C 19/30** (2006.01)

(21) Номер заявки
202291275

(22) Дата подачи заявки
2021.10.04

(54) **ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР С ТЯЖЕЛЫМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

(31) **2021123913**

(56) **RU-C1-2608596**

(32) **2021.08.11**

RU-C2-2595310

(33) **RU**

RU-C1-2521863

(43) **2023.02.02**

RU-C1-2713222

(86) **PCT/RU2021/000420**

RU-C1-2680836

CN-A-111739671

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АКМЭ-ИНЖИНИРИНГ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Дедуль Александр Владиславович,
Тошинский Георгий Ильич,
Самкотрясов Сергей Владимирович,
Арсеньев Юрий Александрович (RU)**

(74) Представитель:
Черных И.В. (RU)

(57) Изобретение относится к ядерной энергетике, в частности к обеспечению безопасности ядерных реакторов, прежде всего с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем на основе свинца или сплавов на основе свинца и висмута. Ядерный реактор на входе активной зоны содержит фильтр 5 с отверстиями 11, 12, расположенными на разной высоте фильтра 5, для прохода через них теплоносителя и улавливания частиц примесей. Размер отверстий 11 не превышает характерный размер минимального проходного сечения в активной зоне, и отверстия 11, 12 разнесены по высоте фильтра 5 таким образом, что никакая из частиц примесей не может одновременно перекрыть отверстия, расположенные на разной высоте. Технический результат - повышение степени очистки теплоносителя от частиц при незначительном снижении уровня естественной циркуляции теплоносителя.

B1

042344

042344

B1

Область техники

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

Особенностью всех жидкометаллических теплоносителей, используемых в реакторных установках, является потенциальная возможность формирования нерастворимых примесей в результате нарушений в работе систем, поддерживающих требуемое качество теплоносителя, или попадания в теплоноситель других рабочих сред. Например, попадание масла из подшипников циркуляционных насосов приводит к его крекингу и формированию твердых частиц, нерастворимых как в ТЖМТ, так и в щелочных металлах. Попадание воздуха в газовую систему контуров с ТЖМТ приводит к образованию избыточного количества оксидов свинца, который может как откладываться на поверхностях, так и присутствовать в теплоносителе в виде твердых частиц.

Появление твердых частиц в теплоносителе и на поверхностях с потенциальной возможностью срыва поверхностных загрязнений потоком теплоносителя является чрезвычайно опасным явлением, которое может привести к перекрытию проходного сечения по теплоносителю на входе в активную зону. Результатом таких событий может стать потеря или существенное снижение теплоотвода от тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) в активной зоне реактора, опасный перегрев ТВЭЛов с их последующим разрушением.

Возможным решением описанной выше проблемы является установка на входе в активную зону полнопоточного фильтра, который очищает весь поток теплоносителя, идущий на охлаждение активной зоны, от нерастворимых примесей. Однако задача не имеет простого решения, так как забивание фильтра также может стать причиной аварии с потерей охлаждения активной зоны. При этом традиционные конструкции фильтров, как правило, имеют достаточно большое гидравлическое сопротивление, что приводит к повышению затрат на прокачку теплоносителя и может существенно снижать уровень естественной циркуляции, ухудшая характеристики безопасности.

Уровень техники

Из уровня техники известны различные подходы к решению вопроса очистки жидкометаллического теплоносителя от примесей и частиц, которые, однако, в своем большинстве основаны на использовании химических реагентов либо нагреве теплоносителя.

Так, согласно ряду патентов РФ RU 2226723, RU 2247435, RU 44414, RU 120275 и других для очистки теплоносителя предлагается применять подачу в свинцовый теплоноситель восстановительной газовой смеси. В патенте США US 3854933 очистку натриевого теплоносителя осуществляют растворением примесей при температуре от 450 до 850°C и последующим охлаждением до температуры чуть выше температуры плавления теплоносителя. Еще в одном патенте США US 4928497 для очистки жидкометаллического теплоносителя от растворенных в нем кислороде и водороде, которые могут приводить к образованию частиц, используется охлаждаемая ловушка. Патент Германии DE 1813822 раскрывает очистку теплоносителя, в том числе содержащего свинец, путем его нагрева немного выше точки насыщения в рекуперативном теплообменнике. Далее теплоноситель поступает в охладитель, в котором дополнительно (помимо осаждения примесей на стенках) установлен циклонный сепаратор.

В патенте РФ RU 2632814 упоминается возможность использования механических фильтров для теплоносителя. Использование пористых мембран для механической очистки теплоносителя предлагается в патентах Германии DE 1583891 и DE 1758953. А в заявке на патент Китая CN 111739671 для очистки от примесей теплоносителя на основе свинца предложено применять магнитный сепаратор.

В качестве прототипа настоящего изобретения может быть выбран ядерный реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем согласно патенту РФ RU 2608596. В активной зоне ядерного реактора, образованной тепловыделяющими сборками (ТВС), размещены горячие ловушки. Корпус горячей ловушки выполнен идентично корпусу ТВС, а внутри корпуса расположен патрон с материалом (геттером), предназначенным для поглощения примесей, находящихся в натриевом жидкометаллическом теплоносителе. Данное известное техническое решение позволяет упростить конструкцию реактора и его эксплуатацию, повысить надежность корпуса реактора, а также исключить необходимость использования дополнительного технологического оборудования.

Недостатками известных технических решений, направленных на очистку теплоносителя, включая прототип, является их сложность, приводящая к снижению надежности работы ядерного реактора, необходимость постоянного обслуживания, а также низкая эффективность очистки теплоносителя от частиц.

Задачей изобретения является устранение отмеченных недостатков аналогов и повышение безопасности работы ядерного реактора.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является повышение степени очистки теплоносителя от частиц при несущественном снижении уровня естественной циркуляции теплоносителя.

Краткое раскрытие сущности изобретения

С целью решения поставленной задачи и достижения указанных технических результатов предлагается в ядерном реакторе на входе в активную зону установить фильтр с отверстиями, расположенными на разной высоте фильтра, для прохода через них теплоносителя и улавливания частиц примесей. Размер

отверстий не превышает характерный размер минимального проходного сечения в активной зоне. При этом отверстия разнесены по высоте фильтра таким образом, что никакая из частиц примесей не может одновременно перекрыть отверстия, расположенные на разной высоте.

Для исключения проблемы забивания или существенного ухудшения проницаемости фильтра теплоносителем размер частиц, улавливаемых фильтром, должен быть больше минимального размера проходного сечения между твэлами и должен представлять из себя конструкцию с отверстиями указанных выше характерных размеров. Тогда частицы, которые потенциально могут перекрыть проходное сечение по теплоносителю между твэлами, будут улавливаться, а частицы, которые не представляют угрозы перекрытия проходного сечения в активной зоне, будут пропускаться фильтром. Другими словами, фильтр является ловушкой только тех частиц, которые представляют непосредственную угрозу для охлаждения активной зоны.

Таким образом решаются две важные технические задачи: во-первых, предотвращение потери охлаждения активной зоны в связи с перекрытием проходного сечения по теплоносителю в твэльной решетке; во-вторых, предотвращение потери охлаждения активной зоны за счет забивания фильтра мелкими частицами, которые не представляют опасности для теплосъема в активной зоне. Между фильтром и активной зоной, в которой фиксируются элементы активной зоны, образуется камера. При этом даже при забивании части проходных сечений фильтра в указанной камере происходит перераспределение потоков теплоносителя, так что расход на входе активной зоны выравнивается по всем каналам. Наличие указанной камеры обеспечивает повышенную надежность охлаждения активной зоны.

Кроме того, благодаря использованию не менее двух уровней по высоте расположения отверстий в фильтре, крупные конгломераты частиц или крупные части отложений, срывающиеся с поверхности, в минимальной степени перекрывают проходные сечения такого фильтра-ловушки, не оказывая существенного влияния на поток теплоносителя.

Поставленная задача решается, а заявленный технический результат достигается также в возможных вариантах реализации изобретения, которыми, однако, оно не ограничивается.

Так, фильтр может быть выполнен в виде первой плиты с отверстиями и содержать множество стаканов с доньшками, размещенных по существу перпендикулярно первой плите и выступающих из первой плиты доньшками вниз по потоку теплоносителя. При этом в доньшках выполнены отверстия. В такой конструкции фильтра поток теплоносителя разделяется на два: одна часть проходит через отверстия ниже по потоку через стаканы с доньшками, в которых имеются отверстия; вторая часть потока проходит через отверстия в расположенной выше по потоку первой плите, причем отверстия в первой плите предпочтительно имеют больший диаметр, чем диаметр отверстий в доньшках. При этом переносимые потоком крупные частицы либо разделяются на более мелкие в результате соударений со стаканами, либо проходят выше второго уровня отверстий через отверстия большего диаметра, либо прижимаются потоком к первой плите и не создают препятствия для течения теплоносителю через стаканы. Таким образом крупные частицы или отложения не могут одновременно перекрыть значительные площади, а выступающие элементы конструкции фильтра создают условия для дробления крупных частиц загрязнений.

Является предпочтительным, если фильтр содержит вторую плиту, расположенную со стороны первой плиты, противоположной расположению доньшек. Поток теплоносителя с более крупными частицами, пройдя через первую плиту попадает в камеру, образованную между первой плитой и второй плитой и проходящими через них стаканами. В стаканах могут быть выполнены отверстия в области между первой плитой и второй плитой, расположенные преимущественно в нижней части стаканов, ближе к первой плите. Размер этих отверстий, как и размер отверстий в доньшках стаканов, предпочтительно не больше минимального проходного сечения в активной зоне. Тогда более крупные частицы, попавшие в полость указанной камеры между первой и второй плитами и стаканами, либо дробятся в результате столкновений с элементами конструкции, либо застревают в этой камере. Так как отверстия для выхода теплоносителя расположены в нижней части камеры, скопление частиц в верхней части камеры не создает препятствий для протока теплоносителя до тех пор, пока не будут перекрыты указанные отверстия.

Форма отверстий в первой плите и стаканах может быть круглой. Альтернативно, все или часть отверстий минимального характерного размера можно выполнить в виде продольных щелей, в которых характерным минимальным размером является ширина щели. При этом щелевые отверстия, очевидно, обеспечивают достижение указанных выше технических результатов, но за счет увеличения проходных сечений дополнительно снижают гидравлическое сопротивление фильтра.

Еще в одном варианте исполнения изобретения, фильтр которого содержит вторую плиту, во второй плите могут быть размещены воздушники для удаления газа при установке в ядерный реактор блока выемного.

Дополнительно ядерный реактор может содержать средство перемешивания теплоносителя, размещенное перед фильтром вниз по потоку теплоносителя.

Далее со ссылками на прилагаемые чертежи более подробно поясняется заявленное устройство ядерного реактора, а также возможные варианты его осуществления, которыми настоящее изобретение не ограничивается.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематически изображен блок выемной ядерного реактора с фильтром.

На фиг. 2 показан вариант исполнения фильтра с первой плитой и второй плитой.

На фиг. 3 приведен увеличенный вид области А варианта исполнения фильтра согласно фиг. 2.

На фиг. 4а приведен поперечный разрез 1-1 стакана с фиг. 3. На фиг. 4б приведен поперечный разрез 2-2 стакана с фиг. 3.

На фигурах отмечены следующие элементы:

- 1 - решетка опорная;
- 2 - тепловыделяющая сборка (ТВС);
- 3 - чехол СУЗ;
- 4 - элемент бокового отражателя;
- 5 - фильтр;
- 6 - корпус фильтра;
- 7.1 - первая плита;
- 7.2 - вторая плита;
- 8 - стакан;
- 9 - воздушник;
- 10 - доньшко стакана;
- 11 - отверстие в доньшке стакана;
- 12 - отверстие в первой плите;
- 13 - отверстие в корпусе стакана.

Стрелками условно показано движение теплоносителя.

Подробное описание вариантов осуществления изобретения

В общем случае ядерный реактор (ЯР) содержит корпус реактора, активную зону, систему управления и защиты, по меньшей мере один циркуляционный насос, по меньшей мере один теплообменник и другие компоненты, хорошо известные специалисту в данной области техники. Поскольку данные компоненты не являются предметом защиты настоящего изобретения, они подробно не поясняются.

Активная зона ЯР определяется блоком выемным, также являющимся хорошо известным специалисту компонентом ЯР и схематично показанным на фиг. 1. В частности, блок выемной содержит решетку 1 опорную, ТВС 2, чехлы 3 системы управления и защиты (СУЗ), элементы 4 бокового отражателя и другие компоненты.

Особенностью конструкции ядерного реактора согласно изобретению является размещение под активной зоной, в частности под решеткой 1 опорной, фильтра 5, предназначенного для фильтрации частиц в потоке жидкометаллического теплоносителя. Фильтр 5 является механическим фильтром, в котором фильтрация частиц производится посредством отверстий, выполненных в элементах конструкции фильтра 5: при прохождении теплоносителя через отверстия частицы, характерный размер которых превышает характерный размер отверстий, задерживаются в фильтре 5 и не поступают в активную зону ЯР.

Поскольку фильтр 5, с одной стороны, должен обеспечивать эффективную фильтрацию частиц, а с другой - оказывать малое сопротивление потоку теплоносителя, в настоящем изобретении предложено выполнить фильтр 5 таким образом, что отверстия расположены на разной высоте по крайней мере на двух отличающихся высотах. Отверстия разнесены по высоте фильтра таким образом, что никакая из частиц примесей не может одновременно перекрыть отверстия, расположенные на разной высоте. При этом размер отверстий (или характерный размер отверстий, если они выполнены сложной формы, например, вытянутой) не должен превышать характерный размер минимального проходного сечения в активной зоне, например расстояние между соседними твэлами в составе ТВС 2.

В частности, фильтр 5 предназначен для защиты активной зоны от механических частиц размером более 2,5 мм, что меньше размера межтвэльной ячейки, а также для выравнивания потока теплоносителя на входе в активную зону.

Вариант возможного выполнения фильтра 5 подробно показан на фиг. 2. Фильтр 5 представляет собой сборочную единицу, состоящую из цилиндрического корпуса 6 фильтра, внутри которого закреплена с помощью сварки первая плита 7.1. Дополнительно, но не обязательно, внутри корпуса 6 также может быть закреплена вторая плита 7.2, отстоящая от первой плиты 7.1.

На первой плите 7.1 закреплены (например, сваркой) фильтрующие стаканы 8.

Если фильтр 5 содержит также вторую плиту 7.2, является предпочтительным, когда часть стаканов 8 приварена только к одной из указанных плит, например, ко второй плите 7.2, а другая часть стаканов 8 приварена как к первой плите 7.1, так и ко второй плите 7.2 для обеспечения достаточной жесткости конструкции фильтра 5.

Кроме того, во второй плите 7.2, при ее наличии в составе фильтра 5, могут быть установлены воздушники 9 для удаления газа при установке блока выемного в ЯР.

Стаканы 8 имеют доньшки 10 стакана с выполненными в них отверстиями 11 доньшка (фиг. 3, 4а). Поток теплоносителя в сторону активной зоны фильтруется, проходя через указанные отверстия 11, а также отверстия 12, выполненные в первой плите 7.1 (фиг. 3). При этом отверстия 11 и отверстия 12 рас-

положены на разной высоте фильтра 5, как показано на фиг. 3. Поток теплоносителя разделяется на две части: одна часть потока теплоносителя проходит через отверстия 11 ниже по потоку через стаканы 8 с доньшками 10. Вторая часть потока теплоносителя проходит через отверстия 12 в расположенной выше по потоку первой плите 7.1.

Размер отверстий 11 (или характерный размер отверстий 11, если они выполнены сложной формы, например, вытянутой) не должен превышать характерный размер минимального проходного сечения в активной зоне, например, расстояние между соседними твэлами в составе ТВС 2. При этом является предпочтительным, если диаметр отверстий 12 в первой плите 7.1 больше диаметра отверстий 11 в доньшках 10.

Переносимые потоком крупные частицы либо разделяются на более мелкие в результате соударений со стаканами 8, либо проходят выше второго уровня отверстий через отверстия 12 большего диаметра, либо прижимаются потоком к первой плите 7.1 и не создают препятствия для течения теплоносителя. Таким образом крупные частицы или отложения не могут одновременно перекрыть значительные площади, а выступающие элементы конструкции фильтра 5 создают условия для дробления крупных частиц загрязнений.

Если в состав фильтра 5 также входит вторая плита 7.2, в средней части стакана 8 предпочтительно выполняют отверстия 13 стакана (см. фиг. 3, 4b) для прохода теплоносителя через фильтр 5 в случае перекрытия проходного сечения в нижней части стаканов 8. Отфильтрованные частицы могут задерживаться между первой плитой 7.1 и второй плитой 7.2.

Размер отверстий 13, как и размер отверстий 11 в доньшках стаканов 8, предпочтительно не больше минимального проходного сечения в активной зоне. Тогда более крупные частицы, попавшие в полость между первой плитой 7.1 и второй плитой 7.2 и стаканами 8, либо дробятся в результате столкновений с элементами конструкции, либо застревают в этой полости.

Форма отверстий 11, 12, 13 в первой плите 7.1 и/или стаканах 8 может быть круглой. Альтернативно, все или часть указанных отверстий можно выполнить в виде продольных щелей, в которых характерным (минимальным) размером является ширина щели. При этом щелевые отверстия за счет увеличения проходных сечений снижают гидравлическое сопротивление фильтра 5.

Таким образом, заявленное изобретение обеспечивает повышение безопасности работы ядерного реактора, а также повышение степени очистки теплоносителя от частиц при несущественном снижении уровня естественной циркуляции теплоносителя.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ядерный реактор с тяжелым жидкотеплоносителем, содержащий корпус реактора, активную зону, систему управления и защиты, по меньшей мере один циркуляционный насос и по меньшей мере один теплообменник, отличающийся тем, что на входе активной зоны содержит фильтр, выполненный в виде первой плиты с отверстиями, расположенными на разной высоте фильтра, для прохода через них теплоносителя и улавливания частиц примесей, при этом характерный размер отверстий не превышает характерный размер минимального проходного сечения в активной зоне и отверстия разнесены по высоте фильтра таким образом, что никакая из частиц примесей не может одновременно перекрыть отверстия, расположенные на разной высоте, и содержащий множество стаканов с доньшками, размещенных, по существу, перпендикулярно первой плите и выступающих из первой плиты доньшками вниз по потоку теплоносителя, причем в доньшках выполнены отверстия.

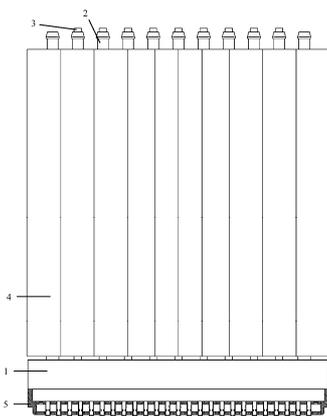
2. Ядерный реактор по п.1, в котором фильтр содержит вторую плиту, расположенную со стороны первой плиты, противоположной расположению доньшек.

3. Ядерный реактор по п.2, в котором в стаканах выполнены отверстия в области между первой плитой и второй плитой.

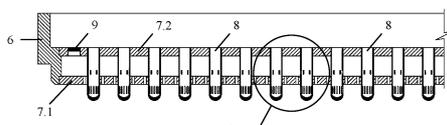
4. Ядерный реактор по любому из пп.1-3, в котором сечение по крайней мере части отверстий имеет, по существу, круглую форму.

5. Ядерный реактор по любому из пп.1-3, в котором сечение по крайней мере части отверстий имеет, по существу, вытянутую форму.

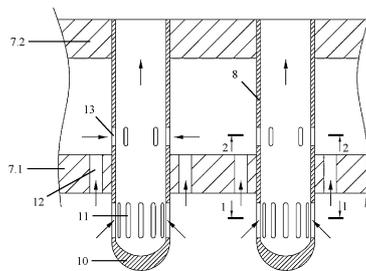
6. Ядерный реактор по п.2 или 3, в котором во второй плите размещены воздушники.



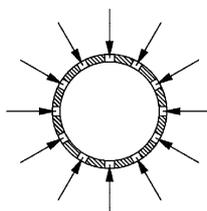
Фиг. 1



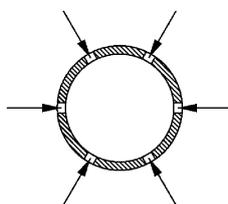
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4а



Фиг. 4b

