

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 043116

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.04.26

(51) Int. Cl. G21C 5/06 (2006.01)

(21) Номер заявки
202291276

(22) Дата подачи заявки
2021.10.04

(54) УЗЕЛ КРЕПЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

(31) 2021122674

(32) 2021.07.29

(33) RU

(43) 2023.01.31

(86) PCT/RU2021/000421

(56) US-A1-20200027575
JP-A-2019056615
KR-B1-101663125
WO-A1-2013176789
US-A-4344915
GB-A-1425038

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

(72) Изобретатель:
Дедуль Александр Владиславович,
Тошинский Георгий Ильич,
Татаренко Юрий Владимирович (RU)

(74) Представитель:
Черных И.В. (RU)

(57) Предложен узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора, содержит хвостовик (1) тепловыделяющей сборки, выполненный в виде наконечника, закрепленный во втулке (7) посадочного отверстия (5) нижней опорной плиты (2) активной зоны. Хвостовик (1) снабжен внешним буртиком (3) с закругленным торцом (4), втулка (7) выполнена разрезной, при этом соприкасающиеся поверхности нижнего торца (13) втулки (7) и внешнего буртика (4) хвостовика (1) выполнены в виде фасок, расположенных под углом (32-40)° относительно плоскости опорной плиты (2). Узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора обеспечивает надежную фиксацию тепловыделяющей сборки в опорной плите (2) в условиях длительного воздействия жидкометаллического теплоносителя.

043116

B1

043116

B1

Изобретение относится к ядерным энергетическим установкам с преимущественным использованием в качестве теплоносителя первого контура жидкометаллического теплоносителя.

Известна тепловыделяющая сборка канального ядерного реактора (см. заявка RU 2006137687, заявитель ОАО "Машиностроительный завод", МПК G21C 3/00, опубл. 10.05.2008), содержащая хвостовик, корпус которого выполнен в виде обечайки и имеет цилиндрическую часть, на наружной поверхности которой расположено упругое кольцо, и заходную коническую часть, в которой выполнены отверстия для прохода теплоносителя. Упругое кольцо выполнено в виде втулки, средняя часть которой имеет бочкообразную форму, причем во втулке выполнены вырезы, направленные вдоль оси втулки.

Небольшая площадь контакта бочкообразной втулки не обеспечивает надежную фиксацию тепловыделяющей сборки.

Известна тепловыделяющая сборка ядерного реактора (см. патент RU 2129738, МПК G21C 3/30, G21C 3/32, опубликован 27.04.1999), содержащая тепловыделяющие элементы, соединяемые с нижней опорной решеткой посредством узла крепления. Узел крепления выполнен в виде цанги, которая имеет форму цилиндра. Цанга установлена в посадочном отверстии опорной решетки с радиальным зазором. В нижней части цанга имеет бурт, контактирующий с упорной поверхностью кольцевой канавки, выполненной соосно с посадочным отверстием ниже верхнего торца опорной решетки.

Недостатком известного узла крепления в нижней опорной решетке тепловыделяющей сборки является наличие радиального зазора между цилиндром и посадочным отверстием, приводящее к повышенному износу деталей узла.

Известна тепловыделяющая сборка для ядерного реактора с жидкометаллическим теплоносителем (см. патент RU 2594357, МПК G21C 3/32, G21C 3/12, опубл. 20.08.2016). Тепловыделяющая сборка включает тепловыделяющие элементы, которые установлены в каркасе, состоящем из направляющих труб, дистанционирующих решеток и хвостовика. Узел крепления тепловыделяющей сборки содержит цанговый фиксатор, который установлен внутри хвостовика, и механизм управления фиксатором. Механизм управления состоит из головки и распорной втулки, которые кинематически соединены тягами. Тяги размещены внутри направляющих труб. Головка выполнена в виде втулки с внутренней проточкой. Распорная втулка расположена внутри цангового фиксатора с возможностью взаимодействия с ним.

Узел крепления тепловыделяющей сборки обеспечивает повышение надежности фиксации тепловыделяющей сборки в опорной конструкции, но достигается это значительным усложнением его конструкции.

Известна тепловыделяющая сборка ядерного реактора (см. патент US 4344915, МПК G21C 3/32, 17.08.1982) содержащая тепловыделяющие элементы, соединяемые с нижней опорной решеткой узлами крепления, каждый из которых выполнен в виде упругого в поперечном сечении, по крайней мере на части его длины от нижнего торца, цилиндра.

Узел крепления известной тепловыделяющей сборки не обеспечивает достаточно надежное ее закрепление в условиях длительной эксплуатации.

Известна тепловыделяющая сборка для ядерного реактора с жидкометаллическим теплоносителем (см. патент RU 2594357, МПК G21C 3/32, G21C 3/12, опубликован 20.08.2016), содержащая тепловыделяющие элементы, которые установлены в каркасе, состоящем из направляющих труб, дистанционирующих решеток и хвостовика. Узел крепления тепловыделяющей сборки содержит цанговый фиксатор, который установлен внутри хвостовика, и механизм управления фиксатором. Механизм управления состоит из головки и распорной втулки, которые кинематически соединены тягами. Головка выполнена в виде втулки с внутренней проточкой. Распорная втулка расположена внутри цангового фиксатора с возможностью взаимодействия с ним.

Узел крепления тепловыделяющей сборки обеспечивает повышение надежности фиксации тепловыделяющей сборки в опорной конструкции, однако это достигается значительным усложнением его конструкции.

Известен узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора (см. заявка JP 2019056615, МПК G21C 5/00, G21C 1/02, G21C 3/33, опубликована 11.04.2019), в которой тепловыделяющая сборка закреплена в опорной конструкции подпружиненным толкателем, снабженным расцепляющим механизмом и установленным в пазу на боковой поверхности опорной конструкции.

Недостатком известного узла крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора является усложненная и ненадежная фиксация тепловыделяющей сборки к опорной конструкции.

Известен узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора с жидкометаллическим теплоносителем (см. заявка US 20200027575, МПК G21C 1/02, G21C 7/08, G21C 9/027, G21C 19/20, G21C 5/06, опубликована 23.01.2020), выполненный в виде клинового механизма, соединенного трансмиссией с приводом, закрепляющего тепловыделяющую сборку в корпусе реактора.

Недостатком узла крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора является его усложненная конструкция.

Известен узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора (см. заявка WO 2006119140, МПК G21C 15/00, опубликована 09.11.2006) совпадающий с настоящим техническим решением по наибольшему числу существенных признаков и принятый за прототип. Узел крепления тепловыделяющей

сборки ядерного реактора-прототипа включает хвостовик тепловыделяющей сборки, выполненный в виде наконечника с двумя лепестками, закрепленными во втулке посадочного отверстия нижней опорной плиты активной зоны, при этом диаметр втулки посадочного отверстия меньше диаметра хвостовика. Лепестки хвостовика являются сжимаемыми в радиальном направлении для обеспечения силы трения при закреплении во втулке посадочного отверстия нижней опорной плиты активной зоны.

Известный узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора не обеспечивает достаточную надежность фиксации хвостовика в посадочном отверстии нижней опорной решетки при длительной эксплуатации тепловыделяющей сборки, так как фиксация в посадочном отверстии происходит только силой трения упругих лепестков цангового хвостовика о стенку посадочного отверстия.

Задачей настоящего технического решения является разработка узла крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора, который бы обеспечивал надежное закрепление тепловыделяющей сборки в опорной плите в условиях длительного воздействия жидкометаллического теплоносителя.

Поставленная задача решается тем, что узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора, содержащий хвостовик тепловыделяющей сборки, выполненный в виде наконечника, закрепленный в первой втулке посадочного отверстия нижней опорной плиты активной зоны, при этом внутренний диаметр первой втулки меньше диаметра хвостовика. Новым в узле крепления является то, что хвостовик снабжен внешним буртиком с закругленным торцом, первая втулка выполнена разрезной, соприкасающиеся поверхности нижнего торца первой втулки и внешнего буртика хвостовика тепловыделяющей сборки выполнены в виде фасок, расположенных под углом $(32-40)^\circ$ относительно плоскости опорной плиты.

В первой разрезной втулке может быть выполнена кольцевая проточка, верхняя стенка которой расположена под углом $(32-40)^\circ$ относительно плоскости опорной плиты.

Верхний торец первой разрезной втулки может быть снабжен буртиком, обращенным наружу.

Над первой разрезной втулкой может быть установлена шайба.

С внешней стороны первой втулки может быть установлена вторая разрезная втулка, коаксиальная первой.

С внешней стороны второй втулки может быть установлена третья разрезная втулка, коаксиальная первой.

Верхний торец третьей разрезной втулки может быть снабжен буртиком, обращенным внутрь.

Высота буртика третьей разрезной втулки может быть выполнена меньшей высоты буртика первой разрезной втулки.

Нижний торец второй разрезной втулки может выступать за нижние торцы первой и третьей разрезных втулок.

В проточку посадочного отверстия снизу может быть вставлена фиксирующая втулка, соединенная с нижней опорной плитой активной зоны с помощью сварки.

Верхняя торцевая поверхность фиксирующей втулки может иметь кольцевой выступ диаметром, меньшим внутреннего диаметра второй разрезной втулки.

Настоящий узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора обеспечивает фиксацию тепловыделяющей сборки в нижней опорной плите активной зоны в рабочем положении и в промежуточном положении в дополнительной кольцевой проточке, в случае несанкционированного расцепления тепловыделяющей сборки из штатного положения, при которых необходимое для ее извлечения усилие превышает усилия, возникающие в результате действия сил Архимеда и гидродинамических усилий, действующих на тепловыделяющую сборку при протоке теплоносителя через активную зону, и в то же время не приводит к ее смятию или повреждению. Одновременно отсутствие затеснения внутреннего объема хвостовика тепловыделяющей сборки обеспечивает возможность установки чехла системы управления и защиты, гидравлического сопротивления или иных необходимых элементов, фиксируемых в нижней опорной плите по оси тепловыделяющей сборки.

Настоящая конструкция узла крепления тепловыделяющей сборки поясняется чертежом, где на фиг. 1 изображен в разрезе узел крепления тепловыделяющей сборки в нижней опорной плите;

на фиг. 2 приведено поперечное сечение по А-А узла крепления, показанного на фиг. 1;

на фиг. 3 изображено в разрезе в увеличенном масштабе область Б узла крепления, показанного на фиг. 1.

Узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора (см. фиг. 1) содержит хвостовик 1 тепловыделяющей сборки (ТВС), выполненный в виде наконечника цилиндрической формы, зафиксированный в опорной плите 2 активной зоны ядерного реактора. Хвостовик 1 снабжен внешним профилированным буртиком 3 с закругленным торцом 4, обеспечивающим минимальное контактное сопротивление при погружении хвостовика 1 тепловыделяющей сборки в посадочное отверстие 5 опорной плиты 2. В отверстии 5 выполнена цилиндрическая проточка 6, в которой коаксиально установлена первая профилированная втулка 7, вторая втулка 8 и третья втулка 9. Во втулках 7, 8 и 9 выполнены продольные разрезы 10 для обеспечения их сжатия и разжатия. Предотвращает угловые перемещения втулок 7, 8 и 9 штифт 11 (см. фиг. 3), входящий в разрезы 10 и установленный с натягом нижним концом в фиксирующей втулке 12, имеющей на верхней торцевой поверхности кольцевой выступ диаметром, меньшим внутреннего диаметра второй разрезной втулки 8, для размещения концов втулок 8 и 9. Фиксирующую

втулку 12 после сборки всего узла крепления приваривают к опорной плите 2, что фиксирует втулки 7, 8 и 9 от вертикальных и радиальных перемещений. Соприкасающиеся поверхности нижнего торца 13 втулки 7 и внешнего профилированного буртика 3 (см. фиг. 2) выполнены в виде фасок, расположенных относительно плоскости опорной плиты 2 под углом α (32-40)°, обеспечивающим требуемое усилие удержания и извлечения ТВС. Верхний торец втулки 7 снабжен обращенным наружу буртиком 14, а верхний торец втулки 9 снабжен обращенным внутрь буртиком 15. Буртики 14 и 15 обеспечивают установку и фиксацию втулок 7 и 9 на втулке 8, что упрощает предварительную сборку комплекта втулок 7, 8 и 9 и их последующий монтаж. При этом втулки 7 и 9 имеют высоту меньше, чем втулка 8, так что нижний торец втулки 8 выступает за нижние торцы разрезных втулок 7, 9, а буртик 14 на втулке 7 выше, чем буртик 15 на втулке 9. В результате, после монтажа комплекта втулок 7, 8 и 9 они верхним торцом контактируют с упорной шайбой 16 только торцевой поверхностью буртика 14 втулки 7, а с втулкой 12 только нижней торцевой поверхностью втулки 8. Втулка 9 свободна от контактов по ее торцевым поверхностям. Такая конструкция комплекта втулок 7, 8 и 9 обеспечивает отсутствие заеданий или зацепов по торцевым поверхностям втулок 7, 8 и 9 при их радиальных перемещениях, вызванных установкой и извлечением хвостовика 1. Расположенная в проточке 6 опорной плиты 2, между ней и пакетом втулок 7, 8 и 9 упорная шайба 16 разгружает верхнюю торцевую поверхность проточки 6 от повышенных локальных нагрузок, распределяя усилие от воздействия верхней торцевой поверхности буртика 14 втулки 7 на большую поверхность и, таким образом, защищает опорную плиту 2 от потенциальных коррозионных и механических повреждений. Пакет втулок 7, 8 и 9 с продольным разрезом 10 выполняет функцию пружинного элемента, который, разжимаясь в радиальном направлении, обеспечивает относительную свободу перемещения хвостовика 1 вниз. После размещения хвостовика 1 в нижнем положении, пакет втулок 7, 8 и 9 за счет пружинных свойств материала возвращается в исходное состояние, обеспечивая зацепление хвостовика 1 и втулки 7 по фаске с углом α .

Выбор интервала значений угла α обусловлен тем, что при угле α , меньшем 32°, возможно смятие хвостовика 1 ТВС под воздействием усилий, возникающих при работе, установке и извлечении ТВС.

При угле α , большем 40°, не обеспечивается надежное удержание ТВС при эксплуатационных нагрузках.

В первой разрезной втулке 7 может быть выполнена кольцевая проточка 17 (см. фиг. 2), верхняя стенка 18 которой расположена под углом (32-40)° относительно плоскости опорной плиты 2, предназначенная для фиксации хвостовика 1 в промежуточном положении в случае несанкционированного расцепления ТВС из штатного положения.

Количество и общая толщина пакета втулок 7, 8 и 9 выбирается с помощью известных методов расчета. При этом увеличение общей толщины пакета втулок 7, 8 и 9 пропорционально увеличивает усилие обжатия и соответствующее усилие, необходимое для извлечения ТВС. Увеличение или уменьшение количества втулок 7, 8 и 9 в пакете обратно пропорционально уменьшает или увеличивает максимальные растягивающие (сжимающие) напряжения на внутренней (наружной) поверхности втулок 7, 8 и 9 при их радиальном растяжении в процессе погружения хвостовика 1 ТВС в нижнее рабочее положение. Стабильные характеристики коэффициента трения между стальными поверхностями определяются требуемым качеством теплоносителя, а именно поддержанием уровня контролируемых примесей в требуемом диапазоне. Для исключения эффектов локального отклонения качества теплоносителя в области контакта хвостовика 1 ТВС с элементами узла крепления ТВС в опорной плите 2 активной зоны в хвостовике 1 ТВС предусмотрены отверстия 19, которые обеспечивают байпасный проток теплоносителя между элементами пакета втулок 7, 8 и 9. Поток теплоносителя, направляемый на охлаждение активной зоны, разделяется на два основных потока. Основной поток теплоносителя направляется на охлаждение активной зоны через каналы 20, остальная его часть поступает в каналы охлаждения стержней СУЗ, которые заканчиваются хвостовиками 1 ТВС. На входе в хвостовики 1 ТВС часть теплоносителя направляется в упомянутый выше байпасный канал и через отверстия 19 возвращается в канал охлаждения СУЗ.

Пример. Для подтверждения работоспособности конструкции и определения оптимального угла зацепления были изготовлены и испытаны два макета хвостовиков и узлов фиксации ТВС с углами зацепления 30 и 35°. Макеты были испытаны путем многократного погружения и извлечения хвостовиков в рабочее положение. В процессе погружения и извлечения измеряли усилия погружения и извлечения при разных скоростях перемещений, усилия удержания хвостовиков в рабочем положении, исследовали состояние поверхностей хвостовиков и посадочных отверстий после испытаний. По результатам исследований была выполнена статистическая обработка полученных результатов, получена зависимость усилий погружения и извлечения от угла зацепления, оценена зависимость напряжений в конструкции от угла зацепления. В результате испытаний и анализа полученных результатов установлено, что наилучшие характеристики обеспечиваются при угле зацепления в диапазоне от 32 до 40°.

При большем 40° угле зацепления не обеспечивается надежное удержание хвостовика. При угле зацепления менее 32° усилие извлечения чрезмерно высокое и представляет опасность для целостности конструкции хвостовика.

Проведенные испытания макета узла крепления тепловыделяющей сборки показали, что надежная

фиксация тепловыделяющей сборки и ее безопасное извлечение из опорной плиты обеспечивается при угле соприкасающихся поверхностей фасок нижнего торца первой втулки и внешнего буртика хвостовика тепловыделяющей сборки $(32-40)^\circ$ относительно плоскости опорной плиты.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Узел крепления тепловыделяющей сборки ядерного реактора, содержащий хвостовик тепловыделяющей сборки, выполненный в виде наконечника, закрепленный в первой втулке, размещенной в проточке посадочного отверстия нижней опорной плиты активной зоны, при этом внутренний диаметр первой втулки меньше диаметра хвостовика, отличающийся тем, что хвостовик снабжен внешним буртиком с закругленным торцом, первая втулка выполнена разрезной, при этом соприкасающиеся поверхности нижнего торца первой втулки и внешнего буртика хвостовика тепловыделяющей сборки выполнены в виде фасок, расположенных под углом $(32-40)^\circ$ относительно плоскости опорной плиты.

2. Узел крепления по п.1, отличающийся тем, что в первой разрезной втулке выполнена кольцевая проточка, верхняя стенка которой расположена под углом $(32-40)^\circ$ относительно плоскости опорной плиты.

3. Узел крепления по п.1, отличающийся тем, что верхний торец первой разрезной втулки снабжен буртиком, обращенным наружу.

4. Узел крепления по п.1, отличающийся тем, что над первой разрезной втулкой установлена упорная шайба.

5. Узел крепления по п.1, отличающийся тем, что с внешней стороны первой втулки установлена вторая разрезная втулка, коаксиальная первой.

6. Узел крепления по п.5, отличающийся тем, что с внешней стороны второй разрезной втулки установлена третья разрезная втулка, коаксиальная первой.

7. Узел крепления по п.6, отличающийся тем, что верхний торец третьей разрезной втулки снабжен буртиком, обращенным внутрь.

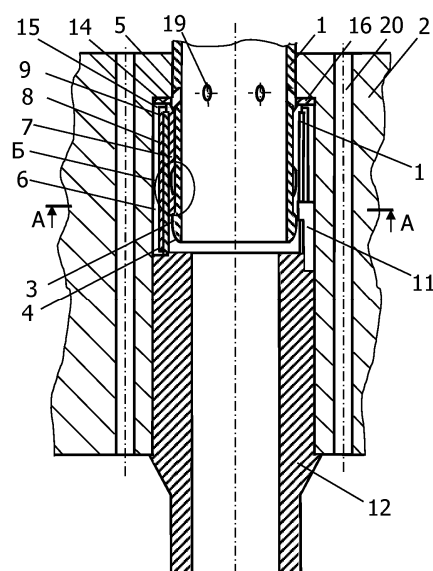
8. Узел крепления по п.7, отличающийся тем, что высота буртика третьей разрезной втулки меньше высоты буртика первой разрезной втулки.

9. Узел крепления по п.7 отличающийся тем, что нижний торец второй разрезной втулки выступает за нижние торцы первой и третьей разрезных втулок.

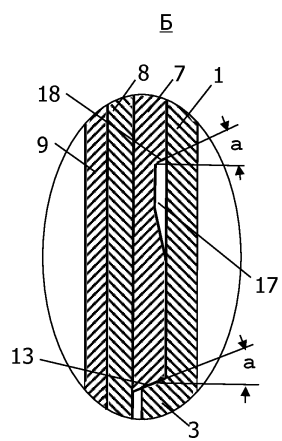
10. Узел крепления по п.1, отличающийся тем, что в проточку посадочного отверстия снизу вставлена фиксирующая втулка, соединенная с нижней опорной плитой активной зоны с помощью сварки.

11. Узел крепления по п.10, отличающийся тем, что верхняя торцевая поверхность фиксирующей втулки имеет кольцевой выступ диаметром, меньшим внутреннего диаметра второй разрезной втулки.

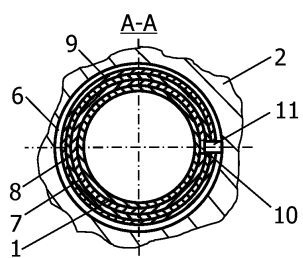
12. Узел крепления по п.1, отличающийся тем, что в хвостовике выполнены отверстия для протока теплоносителя во внутреннее пространство хвостовика.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

