

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042938**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.04.06

(51) Int. Cl. **G21C 3/04 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202291204

(22) Дата подачи заявки
2021.10.04

(54) **ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ СБОРКА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(31) **2021106693**

(56) **RU-C1-2551432**

(32) **2021.03.15**

RU-C1-2298848

(33) **RU**

RU-C2-2222059

(43) **2022.11.07**

RU-C2-2256243

(86) **PCT/RU2021/000418**

RU-C2-2174718

(87) **WO 2022/197204 2022.09.22**

CN-U-202650555

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

CN-A-101944395

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"АКМЭ-ИНЖИНИРИНГ" (RU)**

FR-A1-2921509

(72) Изобретатель:

**Дедуль Александр Владиславович,
Вахрушин Михаил Петрович,
Тошинский Георгий Ильич, Конюхов
Руслан Андреевич, Татаренко Юрий
Владимирович (RU)**

(74) Представитель:

Черных И.В. (RU)

(57) Изобретение относится к ядерной энергетике, а именно к тепловыделяющим сборкам ядерных реакторов (ЯР), и может быть использовано в ЯР, преимущественно с жидкометаллическими, в частности, с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ). Тепловыделяющая сборка активной зоны ядерного реактора квадратной или шестигранной формы содержит стержневые твэлы, на наружной поверхности оболочки которых, выполненной из коррозионно-стойкой в ТЖМТ стали феррито-мартенситного класса, равномерно размещены по периметру спиральные ребра, нижнюю и верхнюю решетки, шплинтующую проволоку, проходящую через отверстия в концевиках твэлов и пазах решетки ТВС, оси которых ориентированы параллельно одной из граней ТВС, в которой указанные твэлы жестко зафиксированы в одной из решеток ТВС таким образом, что для каждого твэла в ТВС угол между осью отверстия в концевике твэла, через которое проходит шплинтующая проволока, и серединой основания одного из ребер на торце оболочки твэла, в котором фиксируется концевик с отверстием, соответствует углу, при котором обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла.

B1

042938

042938

B1

Область техники

Изобретение относится к ядерной энергетике, а именно к тепловыделяющим сборкам ядерных реакторов (ЯР), и может быть использовано в ЯР, преимущественно с жидкометаллическими, в частности, с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ).

Уровень техники

Известна тепловыделяющая сборка активной зоны (ТВС) ядерного реактора (патент РФ № 2298848), которая содержит твэлы, нижнюю и верхнюю решетки, шплинтующую проволоку, шестигранную трубу с хвостовиком. Хвостовик имеет в своей цилиндрической части наружную резьбу и снабжен прижимной гайкой. Нижняя решетка снабжена перфорированным упорным кольцом и состоит по высоте из двух частей, скрепленных между собой. В нижней части решетки по осям отверстий профрезерованы пазы под шплинтующую проволоку крепления концевиков твэлов.

Недостатком данного технического решения являются отсутствие дистанционирования твэлов по длине ТВС между опорными решетками, что может привести к их изгибу, и соответственно, к увеличению или уменьшению сечения каналов охлаждения определенных стержней и образованию горячих участков, что в свою очередь снижает эксплуатационную надежность ТВС.

Известны оболочка твэла, твэл и ТВС (патент РФ № 2551432). Оболочка тепловыделяющего элемента для реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем представляет собой цельнокатанный трубчатый элемент со спирально закрученными ребрами, расположенными на наружной поверхности упомянутого элемента, выполненный из хромосилицистой стали ферритно-мартенситного класса, содержит четыре спирально закрученных ребра, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Твэл представляет собой упомянутую оболочку, герметизированную по торцам заглушками и размещенное внутри упомянутой оболочки ядерное топливо.

Для получения тепловыделяющей сборки в известном изобретении предлагается собранные твэлы устанавливать в силовой каркас с дистанционированием между собой по принципу "ребро к ребру" и фиксировать их в верхней, промежуточной и нижней решетках, установленных на силовом каркасе.

Однако в формуле и в описании к упомянутому патенту не раскрывается каким способом обеспечивается регулярное по высоте твэла дистанционирование "ребро-по-ребру".

Следует также отметить, что в упомянутом техническом решении отсутствует требование о необходимости определенной одинаковой угловой ориентации ребер каждого твэла в ТВС для достижения заявленной цели дистанционирования "ребро-по-ребру". В отсутствии такого требования угловая ориентация ребер каждого твэла в ТВС будет носить случайный характер. При этом, учитывая, что количество твэлов в активной зоне (АКЗ) исчисляется тысячами или десятками тысяч, могут сложиться условия, когда в какой-то межтвэльной ячейке расстояние между плоскостями, где твэлы касаются "ребро-по-ребру", будет достаточно большим. В результате появится возможность для прогибов твэлов навстречу друг другу, затеснения проходного сечения, уменьшения локального расхода и перегрева твэла. Кроме того, образовавшийся зазор, будет способствовать вибрационному износу твэлов, поскольку дистанционирование твэлов в таких ячейках будет осуществляться на большей пролетной базе. Открытым остается вопрос и о дистанционировании твэлов, размещенных на гранях ТВС, не имеющих опорных точек с внешней стороны ТВС, куда эти твэлы могут выпучиваться. Таким образом к недостаткам указанной ТВС можно отнести недостаточную эксплуатационную надежность.

Раскрытие изобретения

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в повышении эксплуатационной надежности ТВС за счет обеспечения максимально жесткого дистанционирования твэлов по всей длине с учетом допусков на шаг закрутки оболочек твэлов, и, особенно, в их верхней наиболее горячей части.

При реализации изобретения достигаются следующие технические результаты: уменьшается вероятность прогибов и вибраций твэлов и неравномерность расхода теплоносителя в ячейках, образованных соседними твэлами, примыкающими к твэлу по его периметру, имеющего наиболее высокую температуру оболочки. Этим достигается повышение эксплуатационной надежности и работоспособности твэлов.

Указанная задача решается за счет того, что в тепловыделяющей сборке шестигранной или квадратной формы, содержащей стержневые твэлы, на наружной поверхности оболочки которых, выполненной из коррозионно-стойкой в ТЖМТ стали ферритно-мартенситного класса, имеются равномерно размещенные по периметру спиральные ребра, нижнюю и верхнюю решетки, шплинтующую проволоку, проходящую через отверстия в концевиках твэлов и пазах решетки ТВС, оси которых ориентированы параллельно одной из граней ТВС, указанные твэлы жестко зафиксированы в одной из решеток ТВС таким образом, что для каждого твэла в ТВС угол между осью отверстия в концевике твэла, через которое проходит шплинтующая проволока, и серединой основания одного из ребер на торце оболочки твэла, в котором фиксируется концевик с отверстием, соответствует углу, при котором обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла.

Предложенное решение учитывает, что допуск на шаг закрутки ребер на оболочке твэла, который обусловлен упруго-пластическими свойствами металла оболочки, температурой нагрева оболочки при закрутке и усилиями закрутки, не может быть нулевым. Использование предложенной конструкции ТВС

позволяет не проводить селективный отбор оболочек по углу закрутки ребер, который приводит к снижению выхода годного продукта, а также снизить требования к величине допуска на шаг закрутки.

Жесткая фиксация твэлов с размещенными на наружной поверхности оболочки спиральными ребрами в решетке ТВС не случайным образом, а с обеспечением касания твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла, позволяет исключить условия, когда в какой-то межтвэльной ячейке в области максимальных температур оболочки твэлов будут размещаться твэлы с минимальным и максимальным отклонениями от номинального шага закрутки ребер, что создаст возможность прогиба твэлов в этой ячейке навстречу друг другу, затеснения проходного сечения и повышения температуры в наиболее напряженной части твэла.

Исключение выпучивания твэлов, размещенных на гранях ТВС обеспечивается чехлом (кожухом) ТВС в случае использования заявляемой ТВС в реакторах, работающих с частичными перегрузками топлива, либо касанием таких твэлов "ребро-по-ребру" с твэлами прилегающих ТВС или профилированной обечайки корзины АКЗ в реакторах, работающих без частичных перегрузок топлива.

Краткое описание чертежей

Сущность предлагаемого изобретения поясняется чертежами. На фиг. 1 представлен твэл с фиксирующим отверстием в концевике, на фиг. 2 показано сечение А-А, на котором указан угол фиксации твэла в решетке ТВС, на фиг. 3 показано поперечное сечение квадратной бесчехловой ТВС на высоте, где реализуется максимальная температура твэла и обеспечивается точное касание "ребро-по-ребру", на фиг. 4 показано поперечное сечение шестигранной бесчехловой ТВС на высоте, где реализуется максимальная температура твэла и обеспечивается точное касание "ребро-по-ребру".

Вариант осуществления изобретения

Далее описан возможный, но не единственный, вариант осуществления заявленного изобретения.

Твэл (фиг. 1) состоит из полой трубы (оболочки) 1, выполненной из коррозионностойкой в ТЖМТ стали феррито-мартенситного класса, помещенного в неё топлива, отражателей нейтронов, газового объема, пружины и других необходимых деталей (на фигуре не показаны). На наружной поверхности оболочки 1 равномерно расположены спиральные ребра 2 (предпочтительно четыре ребра) с шагом закрутки, обеспечивающим дистанционирование твэлов друг от друга при касании "ребро-по-ребру" в заданном числе плоскостей по высоте активной зоны при соответствующей угловой фиксации твэлов в ТВС. Уменьшение количества ребер на оболочке приведет для заданного числа плоскостей дистанционирования к уменьшению шага закрутки ребер, повышению гидравлического сопротивления АКЗ и усложнению технологии изготовления оболочек. Увеличение же количества ребер на оболочке вызовет неоправданное увеличение количества стали в АКЗ, что ухудшит ее физические характеристики.

Герметизация оболочки твэла осуществляется двумя концевиками 3 (верхним и нижним), один из которых имеет заранее выполненный конструктивный элемент 4 (отверстие), для фиксирования твэла в решетке ТВС от осевого и углового перемещений. Концевик 3 с отверстием 4 герметизируют в торцевой части оболочки 1 твэла таким образом, чтобы обеспечить касание твэлов "ребро-по-ребру" в плоскости по высоте АКЗ, где реализуется максимальная температура оболочки твэла. Для этого, используемыми при разработке реакторов методами, определяют сначала теплогидравлическим расчетом с учетом радиальной и осевой неравномерности поля энерговыделения высоту АКЗ, на которой достигается максимальная температура оболочки твэла. Далее осуществляют позиционирование под определенным углом нижнего/верхнего концевика 3 с заранее выполненным конструктивным элементом 4 (отверстием) для закрепления в соответствующей опорной решетке ТВС. Угловое позиционирование оси отверстия 4 в концевике 3 относительно положения одного из ребер 2 на оболочке 1 осуществляют с использованием приспособления (например, хомута с прорезями для ребер), расположенного в плоскости, перпендикулярной оси твэла, размещаемого на заданном, определенном ранее, расстоянии от одного из торцов оболочки 1 твэла, на котором реализуется максимальная температура оболочки 1. Затем с помощью шплинтовой проволоки осуществляют фиксацию концевиков 3 твэлов в одной из решеток ТВС от углового и осевого перемещений и свободное по скользящей посадке осевое перемещение концевиков 3 твэлов в другой решетке ТВС. При этом ТВС может быть чехловая или бесчехловая, и содержать, по меньшей мере, две опорные решетки (верхнюю и нижнюю).

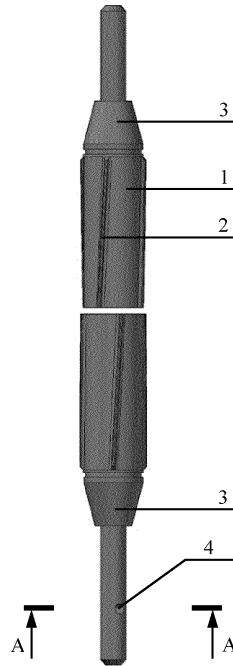
Изобретение позволяет реализовать дистанционирование тепловыделяющего элемента с соседними твэлами ("ребро по ребру") между верхней и нижней опорными (для твэлов) дистанционирующими решетками ТВС, причем наиболее точное дистанционирование "ребро-по-ребру" с учетом допусков на шаг закрутки ребер реализуется в плоскости по высоте АКЗ, на которой твэлы имеют наиболее высокую температуру оболочки, что обеспечивает длительную эксплуатацию ТВС в среде ТЖМТ (свинец, эвтектический сплав свинца и висмута).

Промышленная применимость

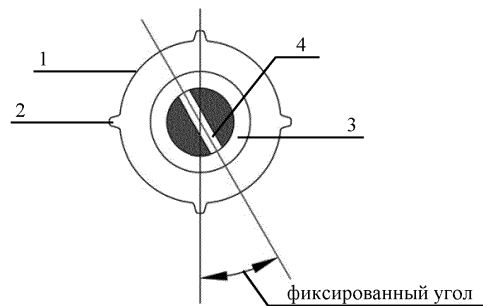
Техническое решение согласно изобретению может быть использовано в энергетических установках с реактором с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) на основе свинца или сплавов на основе свинца и висмута. Предложенная конструкция ТВС позволяет увеличить срок эксплуатации ТВС в среде ТЖМТ.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

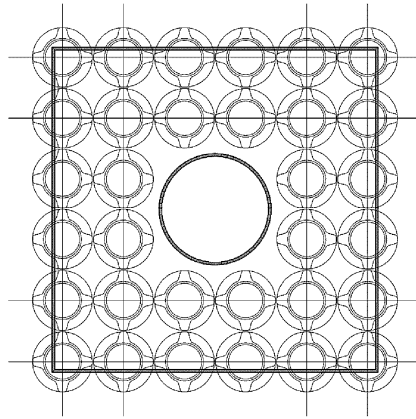
Тепловыделяющая сборка активной зоны ядерного реактора квадратной или шестигранной формы, содержащая стержневые твэлы, на наружной поверхности оболочки которых, выполненной из коррозионно-стойкой в ТЖМТ стали феррито-мартенситного класса, равномерно размещены по периметру спиральные ребра, нижнюю и верхнюю решетки, шплинтующую проволоку, проходящую через отверстия в концевиках твэлов и пазах решетки ТВС, оси которых ориентированы параллельно одной из граней ТВС, в которой указанные твэлы жестко зафиксированы в одной из решеток ТВС таким образом, что для каждого твэла в ТВС угол между осью отверстия в концевике твэла, через которое проходит шплинтующая проволока, и серединой основания одного из ребер на торце оболочки твэла, в котором фиксируется концевик с отверстием, соответствует углу, при котором обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла.



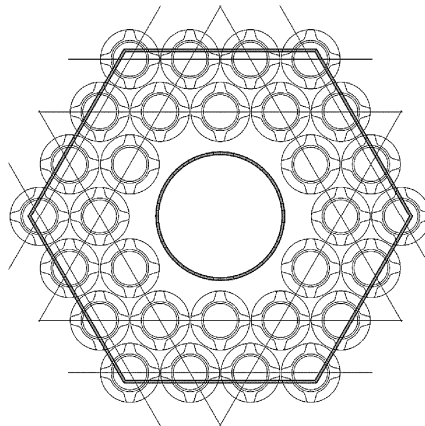
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4