

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043185**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.04.27**

(51) Int. Cl. **G21C 1/02 (2006.01)**  
**G21C 5/06 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**202291346**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.10.04**

---

(54) **АКТИВНАЯ ЗОНА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

---

(31) **2021122703**

(56) **RU-C2-2216056**  
**RU-C1-2699229**  
**RU-C1-2088982**  
**RU-C1-2549371**  
**RU-C1-2551432**

(32) **2021.07.29**

(33) **RU**

(43) **2023.01.31**

(86) **PCT/RU2021/000423**

(87) **WO 2023/009024 2023.02.02**

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

(72) Изобретатель:  
**Дедуль Александр Владиславович,**  
**Тошинский Георгий Ильич, Кирсанов**  
**Евгений Владимирович, Колюхов**  
**Руслан Андреевич (RU)**

(74) Представитель:  
**Черных И.В. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к области ядерной энергетики, а именно к размещению бесчехловых тепловыделяющих сборок в активной зоне ядерных реакторов, и направлено на обеспечение улучшения теплоотвода от тепловыделяющих элементов в ядерных реакторах. Активная зона ядерного реактора включает шестигранные бесчехловые тепловыделяющие сборки с тепловыделяющими элементами, размещёнными по треугольной сетке, шаг размещения которых больше диаметра оболочек твэлов. Тепловыделяющие элементы снабжены дистанционирующими спиральными ребрами на оболочке и жестко зафиксированы с заданной угловой ориентацией таким образом, что обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла, и тепловыделяющие сборки размещены так, что тепловыделяющие элементы, расположенные на гранях тепловыделяющих сборок, образуют единую треугольную сетку с остальными тепловыделяющими элементами в активной зоне, и касание всех твэлов активной зоны "ребро-по-ребру" обеспечивается на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла. При этом исключается ошибочное размещение ТВС в активной зоне.

---

**043185**  
**B1**

**043185**  
**B1**

### Область техники

Изобретение относится к области ядерной энергетики, а именно к размещению бесчехловых тепловыделяющих сборок в активной зоне ядерных реакторов и направлено на обеспечение улучшения теплоотвода от тепловыделяющих элементов в ядерных реакторах.

### Уровень техники

Список сокращений, используемых в данном тексте:

ТВС - тепловыделяющая сборка;

твэл- тепловыделяющий элемент;

ЯР - ядерный реактор.

Известна активная зона модульного ЯР на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем (патент РФ № 2699229), сформированная вертикально установленными бесчехловыми тепловыделяющими сборками с силовыми элементами и расположенными в верхней части дистанционирующими поясами, с треугольной сеткой размещения цилиндрических тепловыделяющих элементов (твэлов).

Известна активная зона водо-водяного ЯР (патент РФ № 2216056), в состав которой входят ТВС, содержащие гексагональный в поперечном сечении пучок твэлов в каркасе, размещенные с зеркальным отражением по граням. В указанном изобретении решается задача уменьшения неравномерности энерговыделения в активной зоне и предупреждение деформации ТВС за счет плотной упаковки ТВС между собой.

К недостаткам описанных выше решений следует отнести избыточный "холостой" расход теплоносителя в квадратных ячейках твэлов на гранях ТВС, что снижает среднюю температуру теплоносителя на выходе из активной зоны и ухудшает технико-экономические показатели энергоблока. Указанный недостаток обусловлен размещением ТВС в активной зоне с зеркальным отражением по граням.

Известно также техническое решение, описанное в патенте РФ № 261770, в котором предложена активная зона термоэмиссионного реактора-преобразователя ядерной энергетической установки, в которой электрогенерирующие каналы размещены по всей активной зоне по узлам правильной треугольной сетки, в том числе, и на стыках пучков электрогенерирующих каналов.

В известном техническом решении исключены "холостые" протечки теплоносителя на стыках граней пучков (ТВС) в случае их бесчехловой конструкции.

Однако техническая реализация известного изобретения обеспечит надежную эксплуатацию активной зоны только в случае "плотной" упаковки электрогенерирующих каналов (твэлов), когда шаг твэлов практически равен их диаметру.

При плотной упаковке твэлов в треугольной сетке относительная площадь свободного поперечного сечения в активной зоне для прохода теплоносителя (объемная доля теплоносителя),  $\varepsilon$ , вычисляемая по формуле  $\varepsilon = 1 - \pi/(s^2 \cdot 2\sqrt{3})$ , где  $s$  относительный шаг твэлов, равный отношению шага твэлов в треугольной сетке  $\alpha$ , к диаметру твэла  $d$ , (в данном случае  $s=1$ ), равна 9.25%. Это подходит для термоэмиссионного реактора очень малой мощности, заявленного в патенте РФ № 261770. Для энергетических реакторов объемная доля теплоносителя  $\varepsilon$  лежит в диапазоне 30-50%. Такое значение объемной доли теплоносителя можно обеспечить при относительном шаге твэлов  $s$ , лежащем в диапазоне 1,1-1,3, т.е. при наличии зазоров между твэлами. В этом случае для исключения прогибов твэлов, создающих локальное "затеснение" проходного сечения теплоносителя, вызывающего перегрев твэлов, и устранения вибраций твэлов, повреждающих тонкостенную оболочку, необходимо обеспечить дистанционирование твэлов по высоте активной зоны.

### Раскрытие изобретения

Технической задачей изобретения является повышение мощности реактора при сохранении общего расхода теплоносителя и средней температуры теплоносителя на выходе из активной зоны, а также повышение надежности правильного размещения ТВС в соответствующих местах активной зоны.

Технический результат, достигаемый при использовании изобретения, заключается в снижении максимальной температуры оболочки твэла, уменьшении коррозионного износа и увеличении длительной прочности материала оболочки твэла, которая чувствительна к повышению температуры, а также в исключении ошибочного размещения ТВС в активной зоне.

Указанный технический результат достигается благодаря тому, что в активной зоне ядерного реактора, включающей шестигранные бесчехловые тепловыделяющие сборки с тепловыделяющими элементами, размещенными по треугольной сетке, шаг размещения которых больше диаметра оболочек твэлов, тепловыделяющие элементы снабжены дистанционирующими спиральными ребрами на оболочке и жестко зафиксированы с заданной угловой ориентацией таким образом, что обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла, и тепловыделяющие сборки размещены так, что тепловыделяющие элементы, расположенные на гранях соседних тепловыделяющихборок, образуют единую треугольную сетку с остальными тепловыделяющими элементами в активной зоне, и касание всех твэлов активной зоны "ребро-по-ребру" обеспечивается на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла.

Заданное расположение ТВС обеспечивается путем использования механических "шифраторов" в опорной решетке ТВС и решетке активной зоны, в которой крепятся ТВС, выполненных по принципу "ключ-замок".

Основная техническая задача, которую обеспечивает конструкция механического "шифратора" - это техническая невозможность установки ТВС в ненадлежащее место, и/или с ненадлежащей ориентацией по угловому положению, даже с учетом потенциальных ошибочных действий персонала, осуществляющего сборку активной зоны.

Одним из вариантов реализации шифратора является использование пустотелых пальцев, одним концом закрепленных в нижней опорной решетке активной зоны любым известным способом. Второй конец пальца должен выступать наружу в направлении нижней решетки ТВС. При этом в нижней решетке ТВС строго напротив пальца должно быть отверстие. При совпадении правильного положения пальца и соответствующего ему отверстия, палец погружается в отверстие и ТВС может быть установлена в нижнюю опорную решетку активной зоны. Если палец не попадает в отверстие, то он упирается в нижнюю решетку ТВС и не позволяет опустить ТВС в нижнее рабочее положение, что может быть надежно зафиксировано.

Геометрическое расположение пальцев и соответствующих им отверстий должно быть уникальным для каждой группы ТВС и/или отдельных ТВС и обеспечено при конструировании активной зоны и на производстве. При необходимости может использоваться несколько пальцев и, соответственно, несколько соответствующих им отверстий в опорной плите. При этом, как минимум, один из пальцев в разных группах ТВС и/или отдельных ТВС должен отличаться расположением.

Альтернативным решением, обеспечивающим тот же технический результат, является использование пустотелых пальцев, закрепленных в нижней решетке ТВС и соответствующих им отверстий в нижней опорной решетке активной зоны. Могут применяться также пальцы разного сечения (например, круглые, квадратные, треугольные, с каналами для прохода теплоносителя или без них). Основное требование, которое должно выполняться - это физическая невозможность установки ТВС в ненадлежащее положение и/или неверная угловая ориентация ТВС.

Указанные пальцы могут применяться, например, для групп ТВС с различным обогащением урана (с различным содержанием плутония для смешанного уран-плутониевого топлива).

В предложенном решении твэлы, находящиеся на гранях ТВС, образуют единую треугольную сетку твэлов активной зоны, что исключает избыточный расход теплоносителя в ячейках твэлов на гранях ТВС, при этом одинаковое расстояние между твэлами внутри ТВС и твэлами, расположенными на гранях соседних ТВС, обеспечивается за счет наличия дистанционирующих спиральных ребер на оболочках твэлов и расположения ТВС таким образом, что для всех твэлов активной зоны обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла.

Расположение твэлов соседних ТВС на границах этих ТВС, геометрически идентичное расположению твэлов внутри ТВС, создает одинаковое гидравлическое сопротивление в окрестности всех твэлов. При таком расположении твэлов в треугольной сетке, любой из твэлов окружен 6-ю твэлами, находящимися на одинаковом расстоянии от него. Вокруг каждого твэла существуют 6 идентичных условных каналов для протока теплоносителя, ограниченных линиями, соединяющими центры соседних твэлов и оболочками твэлов. Любое отклонение компоновки твэлов от описанной выше компоновки приводит к формированию условных каналов с увеличенным проходным сечением. Гидравлическое сопротивление продольному течению в таких каналах уменьшается, что ведет к формированию, так называемых, "холостых протечек". Из-за повышенного расхода теплоносителя через такие каналы, подогрев теплоносителя в них уменьшается, а в других каналах с "затесненным" сечением, к уменьшению расхода, повышению подогрева теплоносителя и увеличению температуры оболочек твэлов.

Жесткая фиксация твэлов с размещенными на наружной поверхности оболочки спиральными ребрами в решетке ТВС и, соответственно, ТВС в активной зоне заданным образом с обеспечением касания твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла, позволяет создать вокруг каждого твэла идентичные условные каналы.

Исключение "холостых" протечек теплоносителя на стыках граней ТВС в случае их бесчехловой конструкции при размещении твэлов в ТВС по треугольной сетке приводит к увеличению расхода теплоносителя в стандартных треугольных ячейках, что снижает максимальную температуру оболочки твэла, уменьшению коррозионного износа и увеличению длительной прочности материала оболочки твэла, которая чувствительна к повышению температуры. Это позволяет повысить мощность реактора при сохранении общего расхода теплоносителя и средней температуры теплоносителя на выходе из активной зоны.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 показана схема размещения ТВС 1 с заданной ориентацией в активной зоне, при которой твэлы 2, образуют единую треугольную сетку. В нижних концевиках твэлов 2 выполнены отверстия 3, в которые вставлена проволока, ориентирующая твэлы 2 в ТВС 1. На фиг. 1 также показаны пальцы 4, ориентирующие ТВС 1 в опорной решетке активной зоны, в которой крепятся ТВС 1, предназначенные

для размещения ТВС 1 с заданной ориентацией в активной зоне, и пальцы 5, устанавливающие ТВС по обогащению, если ТВС 1 содержат твэлы 2 с различным обогащением урана (с различным содержанием плутония для смешанного уран-плутониевого топлива), а также отверстия 6 устанавливающие (ориентирующие) решетки опорной 7, в которые вставляются соответствующие пальцы при сборке ТВС 1 в активной зоне.

На фиг. 2 показано сечение а-а активной зоны, на котором показаны твэлы 2, решетка опорная 7 ТВС 1, отверстия 3 в твэлах и проволока ориентирующие твэлы 2 в ТВС 1, пальцы 4, ориентирующие ТВС 1 в активной зоне, пальцы 5, устанавливающие ТВС 1 по обогащению, отверстия устанавливающие (ориентирующие) 6 решетки опорной активной зоны.

#### **Вариант осуществления изобретения**

Для реализации представленной на фиг. 1 схемы размещения ТВС в активной зоне используют шестигранные бесчехловые ТВС 1, в которых твэлы 2 с дистанционирующими спиральными ребрами на оболочке установлены в решетках ТВС 1 по треугольной сетке. ТВС 1 размещают в активной зоне таким образом, что твэлы 2, образуют треугольную сетку, при этом расстояние между осями соседних твэлов 2, расположенных в разных ТВС 1 на их гранях, равно расстоянию между осями соседних твэлов 2, находящихся внутри ТВС 1.

В ТВС 1 осуществляют фиксацию твэлов 2 в опорной решетке 7 ТВС 1 от углового и осевого перемещений и свободное по скользящей посадке осевое перемещение концевиков твэлов 2 в другой решетке ТВС 1. Фиксацию твэлов 2 осуществляют таким образом, чтобы обеспечить касание твэлов 2 "ребро-по-ребру" в плоскости по высоте активной зоны, где реализуется максимальная температуры оболочки твэла 2. Для этого, используемыми при разработке реакторов методами, определяют сначала теплогидравлическим расчетом с учетом осевой неравномерности поля энерговыделения высоту активной зоны, на которой достигается максимальная температура оболочки твэла. Далее осуществляют позиционирование под определенным углом нижних концевиков твэлов 2 с заранее выполненными отверстиями 3 для закрепления с помощью проволоки в отверстиях решетки опорной 7 ТВС 1.

Затем с помощью шплинтующей проволоки осуществляют фиксацию концевиков твэлов 2 в опорной решетке 7 ТВС 1 от углового и осевого перемещений и свободное по скользящей посадке осевое перемещение концевиков твэлов 2 в другой решетке ТВС 1.

Заданное расположение ТВС 1 обеспечивают путем использования пальцев 4 и, при необходимости, пальцев 5 в опорной решетке 7 ТВС 1 и решетке активной зоны, в которой крепится ТВС 1. Пальцы 4, 5 выполнены пустотелыми.

Активная зона работает следующим образом.

Теплоноситель поступает в активную зону и равномерно распределяется по каналам, образованным между твэлами 2, как внутри ТВС 1, так и между ТВС 1.

#### **Промышленная применимость**

Заявленная активная зона используется в ядерных реакторах, активная зона которых включает шестигранные бесчехловые тепловыделяющие сборки с тепловыделяющими элементами, размещенными по треугольной сетке, шаг размещения которых больше диаметра оболочек твэлов.

Перечень ссылочных обозначений, используемых на чертежах:

- 1 - ТВС,
- 2 - твэл,
- 3 - отверстия в твэл и проволока ориентирующие твэлы в ТВС,
- 4 - пальцы "шифраторы" ориентирующие ТВС,
- 5 - пальцы "шифраторы" устанавливающие ТВС по обогащению,
- 6 - отверстия устанавливающие (ориентирующие) решетки опорной активной зоны,
- 7 - решетка опорная ТВС.

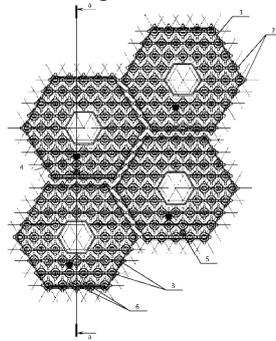
#### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Активная зона ядерного реактора, включающая шестигранные бесчехловые тепловыделяющие сборки с тепловыделяющими элементами, размещенными по треугольной сетке, шаг размещения которых больше диаметра оболочек твэлов, отличающаяся тем, что тепловыделяющие элементы снабжены дистанционирующими спиральными ребрами на оболочке и жестко зафиксированы с заданной угловой ориентацией таким образом, что обеспечивается касание твэлов "ребро-по-ребру" на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла, и тепловыделяющие сборки размещены так, что тепловыделяющие элементы на гранях ТВС образуют единую треугольную сетку с остальными тепловыделяющими элементами в активной зоне, и касание всех твэлов активной зоны "ребро-по-ребру" обеспечивается на высоте, на которой при работе реактора достигается максимальная температура оболочки твэла.

2. Активная зона ядерного реактора по п.1, отличающаяся тем, что решетка ТВС и решетка активной зоны, в которой крепится ТВС, снабжены по крайней мере одним механическим "шифратором" в виде пальца и отверстия, выполненным по принципу "ключ-замок".

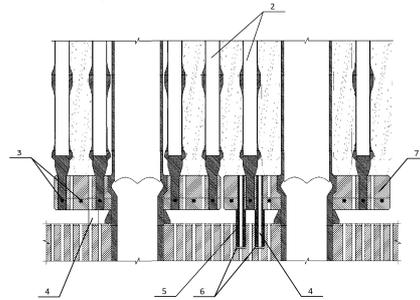
3. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что пальцы выполнены пустотелыми.
4. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что палец одним концом закреплен в нижней опорной решетке активной зоны, другой конец пальца выступает наружу в направлении нижней решетки ТВС, в которой строго напротив пальца выполнено отверстие.
5. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что геометрическое расположение пальцев и соответствующих им отверстий уникально для каждой группы ТВС и/или отдельных ТВС.
6. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что палец закреплен в нижней решетке ТВС и соответствующее ему отверстие выполнено в нижней опорной решетке активной зоны.
7. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что палец выполнен в форме цилиндра.
8. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что палец выполнен в форме четырехугольной призмы.
9. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что палец выполнен в форме треугольной призмы.
10. Активная зона ядерного реактора по п.2, отличающаяся тем, что палец снабжен каналами для прохода теплоносителя.

Схема ориентации ТВС



Фиг. 1

Схема ориентации ТВС. Сечение а-а



Фиг. 2

