

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **032449**

(13) **B1**

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

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
2019.05.31

**(51)** Int. Cl. *G21C 3/34* (2006.01)

**(21)** Номер заявки  
201700570

**(22)** Дата подачи заявки  
2016.12.29

---

**(54) ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ СБОРКА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

---

**(43)** 2018.10.31

**(86)** PCT/RU2016/000947

**(87)** WO 2018/124916 2018.07.05

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"ТВЭЛ" (RU)**

**Енин Анатолий Алексеевич, Шустов  
Мстислав Александрович, Иванов  
Роман Сергеевич, Дорохов Роман  
Александрович, Кушманов Сергей  
Александрович (RU)**

**(72)** Изобретатель:  
**Мальчевский Дмитрий Вячеславович,  
Волков Сергей Евгеньевич,  
Васильченко Иван Никитович,  
Вьялицын Виктор Васильевич,**

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

**(56)** RU-C1-2273062  
RU-C2-2351027  
RU-C1-2391724  
US-A1-20160163402

**(57)** Изобретение относится к области ядерной энергетики, а именно к конструкции тепловыделяющих сборок ядерных реакторов, и направлено на обеспечение эффективного перемешивания теплоносителя. Тепловыделяющая сборка ядерного реактора с поперечным сечением в форме правильного шестиугольника содержит верхний и нижний хвостовики, направляющие каналы, твэлы, расположенные в узлах треугольной сетки, и по крайней мере одну решетку, состоящую из неразъемно соединенных между собой ячеек, выполненных в форме многогранной трубки, продольная ось которой совпадает с продольной осью твэла. Шесть несмежных граней ячейки выполнены наклонными за счет изменения ширины грани вдоль оси ячейки. Между наклонными гранями расположены грани, параллельные оси тепловыделяющей сборки, которыми ячейки примыкают друг к другу. При этом ячейки располагаются в решетке рядами, параллельными одной из больших диагоналей правильного шестиугольника. Одна пара противоположных наклонных граней имеет ширину кромки со стороны верхнего хвостовика меньшую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика. Ось симметрии ячейки, пересекающая эти грани, образует угол 30° с вышеуказанной диагональю. Остальные наклонные грани имеют ширину кромки со стороны верхнего хвостовика большую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика. При этом ячейки каждого ряда ориентированы одинаково, а оси симметрии ячеек в смежных рядах образуют угол 60°. Ширина наклонных граней ячеек изменяется вдоль оси ячейки таким образом, что площадь поперечного сечения ячейки постоянна вдоль ее оси. Изобретение позволяет снизить неравномерность параметров теплоносителя в тепловыделяющей сборке и повысить мощность реактора за счет увеличения запасов до критических параметров теплоносителя.

**032449 B1**

**032449 B1**

Изобретение относится к области ядерной энергетики, а именно к конструкции тепловыделяющих сборок ядерных реакторов, и направлено на обеспечение эффективного перемешивания теплоносителя с целью улучшения теплоотвода от тепловыделяющих элементов и повышения критического теплового потока при эксплуатации тепловыделяющих сборок в энергетических ядерных реакторах АЭС.

Современные отраслевые задачи по повышению энерговыработки на АЭС типа ВВЭР и повышению эффективности использования топлива на АЭС требуют внедрения усовершенствованных топливных циклов. Наиболее простым и эффективным способом увеличения энерговыработки эксплуатирующихся энергоблоков АЭС является повышение их установленной мощности и увеличение длительности работы топливных загрузок, что в настоящее время и реализуется на энергоблоках с ВВЭР. Реализация этих задач сопровождается ужесточением условий эксплуатации тепловыделяющих сборок (повышение мощности, увеличение неравномерностей энерговыделения, увеличение длительности эксплуатации). Требования обеспечения надежной и безопасной эксплуатации при этом возрастают.

Энерговыделение по сечению тепловыделяющей сборки ядерного реактора имеет существенные неравномерности. Это приводит к неравномерному распределению параметров теплоносителя и соответственно уменьшению запасов до кризиса теплообмена в ячейках между тепловыделяющими элементами. Для выравнивания параметров теплоносителя по сечению тепловыделяющей сборки, а также для турбулизации потока теплоносителя с целью улучшения теплообмена применяют перемешивающие устройства.

Известна тепловыделяющая сборка ядерного реактора, содержащая гексагональный пучок тепловыделяющих элементов (ТВЭлов), размещенный в ячейках расположенных по длине сборки дистанционирующих решеток. Головная и хвостовая части тепловыделяющей сборки соединены направляющими каналами, в которых перемещаются стержни, включающие материал, поглощающий нейтроны (см. Крамеров А.Я. Вопросы конструирования ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1971, с.204, рис.7.1.11б).

Недостатком данного устройства является деформация конструкции во время эксплуатации вследствие недостаточной жесткости и, как следствие, невозможность эксплуатации тепловыделяющей сборки данной конструкции на повышенном режиме работы реакторной установки, т.е. в пределах 107-110% номинальной мощности.

Наиболее близкой по технической сути и достигаемому результату к предлагаемому техническому решению является тепловыделяющая сборка ядерного реактора с поперечным сечением в форме правильного шестиугольника, содержащая верхний и нижний хвостовики, направляющие каналы, ТВЭлы, расположенные в узлах треугольной сетки и по крайней мере одну решетку, состоящую из неразъемно соединенных между собой ячеек. Ячейки этой решетки выполнены в форме многогранной трубки, продольная ось которой совпадает с продольной осью ТВЭла. Шесть несмежных граней ячейки выполнены наклонными за счет изменения ширины грани вдоль оси ячейки. Между наклонными гранями расположены грани, параллельные оси тепловыделяющей сборки, которыми ячейки примыкают друг к другу (см. патент РФ на изобретение № 2273062, опубл. 27.03.2006, бюл.№ 9 - прототип).

Недостатком данной конструкции тепловыделяющей сборки является отсутствие возможности эксплуатации на повышенном режиме работы реакторной установки, в пределах 107-110% номинальной мощности, из-за невозможности обеспечения безопасности эксплуатации ядерного топлива, в том числе вследствие наличия паровой пленки, образующейся из-за вращательного движения теплоносителя вокруг части ТВЭлов, что ухудшает их работоспособность.

Технической задачей, на решение которой направлено заявленное устройство, является повышение надежности тепловыделяющей сборки, безопасности ядерного реактора и повышение перемешивающих свойств.

Техническим результатом, достигаемым при использовании заявленного устройства, является обеспечение выравнивания параметров теплоносителя и повышение запасов до кризиса теплообмена в активной зоне ядерного реактора за счет обеспечения массообмена между теплогидравлическими ячейками в тепловыделяющей сборке путем отклонения потока теплоносителя при нулевом суммарном крутящем моменте.

Указанный технический результат достигается тем, что в известной тепловыделяющей сборке ядерного реактора с поперечным сечением в форме правильного шестиугольника, содержащей верхний и нижний хвостовики, направляющие каналы, ТВЭлы, расположенные в узлах треугольной сетки, и по крайней мере одну решетку, состоящую из неразъемно соединенных между собой ячеек, выполненных в форме многогранной трубки, продольная ось которой совпадает с продольной осью ТВЭла, шесть несмежных граней ячейки выполнены наклонными за счет изменения ширины грани вдоль оси ячейки, между наклонными гранями расположены грани, параллельные оси тепловыделяющей сборки, которыми ячейки примыкают друг к другу, согласно изобретению ячейки располагаются в решетке рядами, параллельными одной из больших диагоналей правильного шестиугольника. Одна пара противоположных наклонных граней имеет ширину кромки со стороны верхнего хвостовика меньшую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика. Ось симметрии ячейки, пересекающая эти грани, образует угол  $30^\circ$  с вышеуказанной диагональю. Остальные наклонные грани имеют ширину кромки со стороны верхнего

хвостовика большую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика. При этом ячейки каждого ряда ориентированы одинаково, а оси симметрии ячеек в смежных рядах образуют угол  $60^\circ$ .

Технический результат достигается также тем, что ширина наклонных граней ячеек изменяется вдоль оси ячейки таким образом, что площадь поперечного сечения ячейки постоянна вдоль ее оси.

Выбор геометрии наклонных граней ячейки с изменяющейся шириной кромок, а также реализуемое в предлагаемой конструкции расположение ячеек решетки обеспечивают образование наклонных каналов между ячейками и твэлами, которые отклоняют потоки теплоносителя при прохождении через них с одновременным смешением с потоками теплоносителя у соседних ячеек, что приводит в результате к соответствующему усреднению температур и паросодержания.

Вследствие того, что ячейки каждого ряда ориентированы одинаково, а оси симметрии ячеек в смежных рядах образуют угол  $60^\circ$ , наклон каналов обеспечивает отклонение потоков теплоносителя с образованием замкнутых симметричных контуров. В результате суммарный крутящий момент гидродинамических сил на каждую тепловыделяющую сборку равен нулю. С учетом реализации предложенного условия постоянства площади сечения ячейки вдоль ее оси перемещение массы теплоносителя вдоль замкнутых контуров достигается максимально эффективным. Более нагретые массы теплоносителя попадают в области с меньшими энерговыделениями и наоборот. Обеспечивается снижение неравномерности подогрева теплоносителя по сечению активной зоны, выравнивание его температуры и паросодержания и повышение запасов до кризиса теплообмена в активной зоне ядерного реактора.

На фиг. 1 представлен принцип работы устройства тепловыделяющей сборки (фрагмент)

а) - вид сбоку;

б) - вид сверху.

На фиг. 2 представлена перемешивающая решетка (фрагмент)

а) - вид в изометрии;

б) - вид сверху, расположение ячеек по рядам.

На фиг. 3 представлена ячейка (вариант)

а) - вид спереди;

б) - вид в изометрии.

Тепловыделяющая сборка ядерного реактора содержит верхний и нижний хвостовики, направляющие каналы, твэлы 1, расположенные в узлах треугольной сетки, по крайней мере одну перемешивающую решетку 2, состоящую из неразъемно соединенных между собой ячеек 3. Ячейки выполнены в форме многогранной трубки 4, продольная ось которой совпадает с продольной осью твэла 1. Шесть несмежных граней 5 ячейки 3 выполнены наклонными за счет изменения ширины грани вдоль оси ячейки. Между наклонными гранями 5 расположены грани 6, параллельные оси тепловыделяющей сборки, которыми ячейки 3 примыкают друг к другу. Ячейки 3 располагаются в решетке рядами 7, параллельными одной из больших диагоналей 8 правильного шестиугольника. Одна пара противоположных наклонных граней 5 имеет ширину кромки со стороны верхнего хвостовика меньшую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика. Ось симметрии 9 ячейки 3, пересекающая эти грани, образует угол  $30^\circ$  с вышележащей диагональю 8. Остальные наклонные грани 5 имеют ширину кромки со стороны верхнего хвостовика большую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика. При этом ячейки 3 каждого ряда 7 ориентированы одинаково, а оси симметрии 9 ячеек 3 в смежных рядах образуют угол  $60^\circ$ .

Твэлы 1 проходят сквозь решетку внутри ячеек 3. При этом между ячейками 3 и твэлами 1 образуются наклонные каналы 10. Во время работы тепловыделяющей сборки в реакторе теплоноситель 11 поступает в тепловыделяющую сборку и нагревается за счет энерговыделения твэлов 1. Неравномерность нагрева теплоносителя, обусловленная неравномерностью энерговыделения твэлов 1 по сечению и высоте тепловыделяющей сборки, а также паросодержание теплоносителя 11 выравниваются, так как геометрия ячеек 3 и наличие наклонных каналов 10, образованных между ячейками 3 и твэлами 1, обеспечивают отклонение потоков теплоносителя 11, смешение с потоками у соседних ячеек и соответствующее усреднение температур и паросодержаний. Выбранный наклон граней 5 ячеек 3 и соответственно наклон каналов 10 обеспечивает отклонение потоков теплоносителя 11 с образованием замкнутых симметричных контуров. В результате суммарный крутящий момент гидродинамических сил на каждую тепловыделяющую сборку равен нулю. Суммарно такое отклонение потока приводит к перемещению массы теплоносителя 11 вдоль замкнутых контуров, за счет чего более нагретые массы теплоносителя 11 попадают в области с меньшими энерговыделениями и наоборот. Таким образом, в результате обеспечивается снижение неравномерности подогрева теплоносителя 11 по сечению активной зоны, выравнивание его температуры и паросодержания. Кроме того, даже в зонах с равномерным полем энерговыделения запас до кризиса теплообмена повышается за счет эффекта интенсификации теплообмена, обусловленного турбулизацией потока теплоносителя 11 при прохождении через решетку заявляемой конструкции.

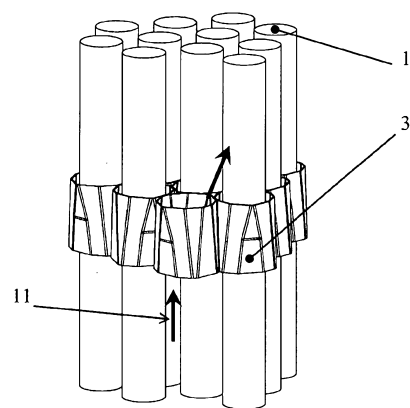
В тепловыделяющей сборке ядерного реактора перемешивающая решетка предлагаемой конструкции устанавливается перпендикулярно продольной оси тепловыделяющей сборки и закрепляется на продольных силовых элементах, например направляющих каналах. При этом в местах прохождения направляющих каналов сквозь решетку ячейки могут быть пропущены.

Настоящее изобретение промышленно применимо и может быть использовано при изготовлении тепловыделяющих сборок ядерных энергетических реакторов, обладающих повышенной безопасностью за счет снижения неравномерности параметров теплоносителя в тепловыделяющей сборке и активной зоне, с возможностью повышения мощности реактора за счет увеличения запасов до критических параметров теплоносителя.

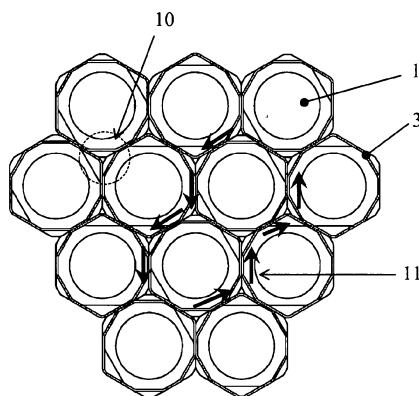
#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Тепловыделяющая сборка ядерного реактора с поперечным сечением в форме правильного шестиугольника, содержащая верхний и нижний хвостовики, направляющие каналы, твэлы, расположенные в узлах треугольной сетки, и по крайней мере одну решетку, состоящую из неразъемно соединенных между собой ячеек, выполненных в форме многогранной трубки, продольная ось которой совпадает с продольной осью твэла, шесть несмежных граней ячейки выполнены наклонными за счет изменения ширины грани вдоль оси ячейки, между наклонными гранями расположены грани, параллельные оси тепловыделяющей сборки, которыми ячейки примыкают друг к другу, отличающаяся тем, что ячейки располагаются в решетке рядами, параллельными одной из больших диагоналей правильного шестиугольника, одна пара противоположных наклонных граней имеет ширину кромки со стороны верхнего хвостовика меньшую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика, ось симметрии ячейки, пересекающая эти грани, образует угол  $30^\circ$  с вышеуказанной диагональю, остальные наклонные грани имеют ширину кромки со стороны верхнего хвостовика большую, чем ширина кромки со стороны нижнего хвостовика, при этом ячейки каждого ряда ориентированы одинаково, а оси симметрии ячеек в смежных рядах образуют угол  $60^\circ$ .

2. Тепловыделяющая сборка по п.1, отличающаяся тем, что ширина наклонных граней ячеек изменяется вдоль оси ячейки таким образом, что площадь поперечного сечения ячейки постоянна вдоль ее оси.

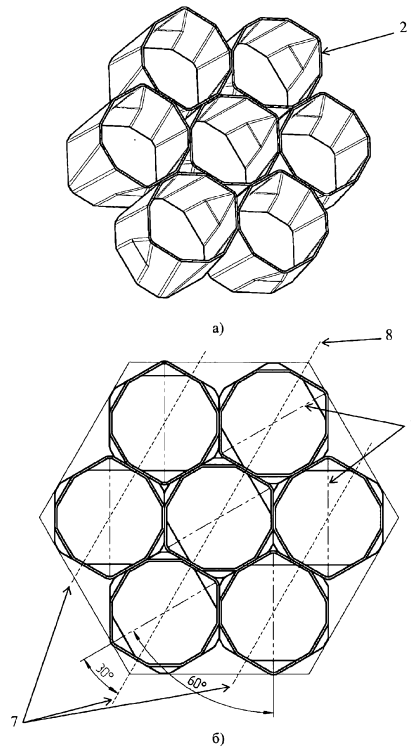


а)

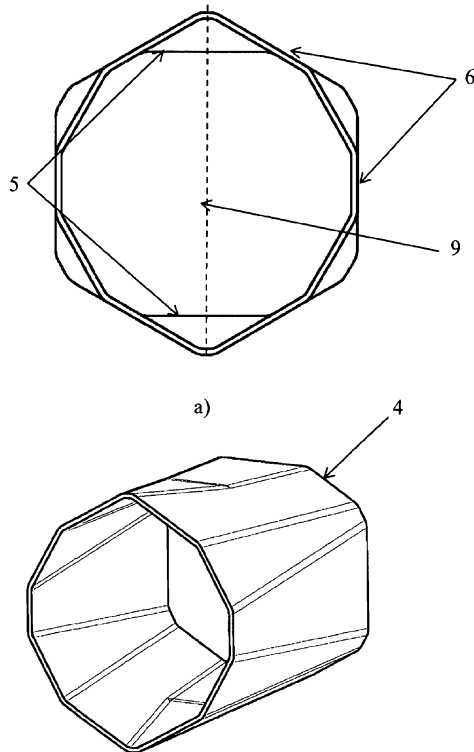


б)

Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3