

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 201790621 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2017.06.30

(51) Int. Cl. G21C 3/32 (2006.01)  
G21C 3/328 (2006.01)  
G21C 3/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2015.09.16

(54) ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ СБОРКА

(31) 62/050,985

(32) 2014.09.16

(33) US

(86) PCT/US2015/050454

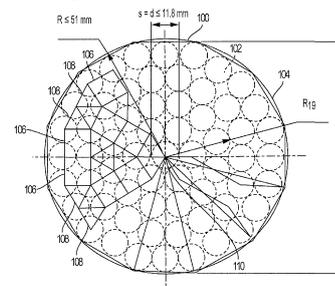
(87) WO 2016/044439 2016.03.24

(71) Заявитель:  
ЛАЙТБРИДЖ КОРПОРЕЙШН (US)

(72) Изобретатель:  
Тотмейер Аарон (US), Башкирцев  
Сергей М., Морозов Алексей Г. (RU)

(74) Представитель:  
Перегудова Ю.Б., Фелицына С.Б. (RU)

(57) Изобретение касается тепловыделяющей сборки для использования в активной зоне ядерного энергетического реактора. Сборка содержит каркас, имеющий форму и конфигурацию, подходящие для размещения каркаса во внутренней конструкции активной зоны ядерного реактора, и множество спирально закрученных тепловыделяющих элементов, находящихся в пучке тепловыделяющих стержней, поддерживаемых каркасом. Каждый из тепловыделяющих элементов содержит делящийся материал. На виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, самые внешние тепловыделяющие элементы пучка тепловыделяющих стержней образуют, по существу, круговой периметр. Описаны также другие особенности тепловыделяющей сборки и ядерный реактор.



A1

201790621

201790621

A1

## ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ СБОРКА

Настоящая заявка является обычной заявкой на патент США №62/050985, дата подачи 16 сентября 2014 г. Кроме того, эта заявка является частичным продолжением находящейся на рассмотрении заявки на патент США №14/081056, поданной заявителем по данной заявке, с датой подачи 15 ноября 2013 г., по которой испрашивается приоритет предварительной заявки на патент США №61/821918 с датой подачи 10 мая 2013 г. Кроме того, настоящая заявка является частичным продолжением находящейся на рассмотрении заявки на патент США №13/695792, поданной заявителем по данной заявке (дата подачи 03 июня 2013 г.), которая находится на национальной стадии PCT/US2011/036034 (дата подачи 11 мая 2011 г.), по которой, в свою очередь, испрашивается приоритет заявки на патент США №61/444990, дата подачи 21 февраля 2011 г. Заявка №61/393499, дата подачи 15 октября 2010 г., и заявка на патент США №61/333467, дата подачи 11 мая 2010 г. Полное содержание всех вышеупомянутых заявок включено в настоящее описание посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение, вообще, относится к ядерным реакторам и сборкам ядерного топлива, используемым в активной зоне ядерных реакторов. В частности, настоящее изобретение относится к канадским тяжеловодным реакторам на природном уране (CANDU) и тепловыделяющим сборкам, предназначенным для использования в этих реакторах.

Уровень техники

На фиг.1А и фиг.1В представлены упрощенные виды в разрезе примеров традиционных тепловыделяющих сборок 10. Фиг.1А отображает тепловыделяющую сборку 10 для легководного реактора с водой под давлением (PWR), фиг.1В иллюстрирует тепловыделяющую сборку 10 водоохлаждаемого водо-водяного энергетического реактора (VVER). Представленная на фиг.1А сборка 10 тепловыделяющих стержней содержит тепловыделяющие стержни, собранные вместе с образованием квадратной сетки. Тепловыделяющая сборка 10 реактора PWR, показанная на фиг.10, содержит пучок самодистанционирующихся тепловыделяющих стержней, который может быть охарактеризован как имеющий квадратную форму поперечного сечения. Представленная на фиг.1В тепловыделяющая сборка 10 содержит тепловыделяющие стержни, размещенные с образованием треугольной сетки. Тепловыделяющая сборка 10 реактора VVER на фиг.1В содержит пучок самодистанционирующихся тепловыделяющих стержней, который может быть охарактеризован как имеющий в поперечном сечении

форму правильного шестиугольника.

При размещении этих сборок в трубе 12 образуются незанятые сегменты, не используемые сборкой тепловыделяющих стержней, показанные на фигуре заштрихованной зоной 14, расположенной между трубой 12 и квадратом 14 на фиг.1А и между трубой 12 и шестиугольником 16 на фиг.1В.

В соответствии с воплощениями изобретения сборка с размещением тепловыделяющих стержней по квадратной сетке занимает приблизительно 63,7% площади описанной окружности (например, сечения трубы 12), в то время как сборка с размещением по треугольной сетке занимает приблизительно 82,7% площади описанной окружности (например, сечения трубы 12).

Известно использование незанятого объема для решения проблем разбухания тепловыделяющего стержня и тепловыделяющей сборки во время выгорания топлива. Известно также заполнение этих пустых зон выгорающим поглотителем и т.п.

#### Сущность изобретения

В соответствии с изобретением тепловыделяющая сборка для использования в активной зоне ядерного энергетического реактора может содержать каркас, имеющий форму и конфигурацию, приспособленные для размещения во внутренней конструкции активной зоны ядерного реактора, и множество спирально закрученных тепловыделяющих элементов, поддерживаемых каркасом, в котором заключен пучок тепловыделяющих стержней, при этом каждый из тепловыделяющих элементов содержит делящийся материал (ядерное топливо).

Как видно в сечении, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, самые внешние тепловыделяющие элементы пучка тепловыделяющих стержней могут образовывать по существу круговой периметр (например, двенадцатиугольник). Согласно воплощениям каркас может иметь такую форму и конфигурацию, чтобы он мог быть размещен в трубе под давлением реактора CANDU.

В соответствии с воплощениями каждый из множества тепловыделяющих элементов может иметь по существу одинаковый диаметр описанной окружности. Указанное множество тепловыделяющих элементов может быть размещено по концентрическим окружностям. Дополнительно или в качестве альтернативы, множество тепловыделяющих элементов может быть размещено в смешанной структуре сетки, которая включает первую структуру с прямоугольной сеткой и вторую структуру с треугольной сеткой.

В соответствии с воплощениями первая структура с прямоугольной сеткой и вторая структура с треугольной сеткой могут, по меньшей мере, частично чередоваться

одна с другой. Некоторые из множества тепловыделяющих элементов могут быть отделены от соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием от одной осевой центральной линии до другой осевой линии, а диаметр описанной окружности некоторых из множества тепловыделяющих элементов может быть равен расстоянию между их осевыми линиями.

В соответствии с воплощениями каждый из тепловыделяющих элементов может иметь многолепестковый профиль, который включает ребра (с профилем в виде лепестка), например, спиральные ребра. Такие ребра соседних тепловыделяющих элементов могут периодически контактировать друг с другом по осевой длине тепловыделяющих элементов с сохранением, по меньшей мере, частично дистанционирования тепловыделяющих элементов друг относительно друга. В соответствии с воплощениями тепловыделяющие элементы могут быть получены методом выдавливания через фильеру (методом экструзии).

В соответствии с воплощениями множество тепловыделяющих элементов может быть образовано из шестидесяти одного тепловыделяющего элемента.

В соответствии с воплощениями каркас может иметь конструкцию, ограничивающую снаружи пучок тепловыделяющих стержней так, что все тепловыделяющие элементы располагаются внутри этой конструкции. Указанная конструкция может представлять собой кожух. На виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, упомянутый кожух может образовать в поперечном сечении по существу окружность или двенадцатиугольник. На виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, тепловыделяющая сборка может занимать приблизительно более 64%, в частности, приблизительно более 83% внутренней площади поперечного сечения трубы, ограничивающей снаружи тепловыделяющую сборку. В соответствии с воплощениями тепловыделяющая сборка может занимать от приблизительно 83% до приблизительно 95% площади поперечного сечения трубы, ограничивающей снаружи тепловыделяющую сборку.

Согласно воплощениям тепловыделяющая сборка спроектирована с использованием термодинамических расчетов и имеет геометрическую форму для функционирования в наземном ядерном энергетическом реакторе традиционной атомной электростанции, при этом реактор имеет конструкцию, которая применялась до 2014 года, а форма и конфигурация каркаса обеспечивают его размещение со сборкой в наземном ядерном энергетическом реакторе вместо традиционной тепловыделяющей сборки для указанного реактора. Например, обычным наземным ядерным энергетическим реактором может быть реактор CANDU.

В соответствии с другим аспектом настоящего изобретения ядерный реактор содержит активную зону и одну или большее количество тепловыделяющих сборок, размещенных в активной зоне. Тепловыделяющая сборка может содержать каркас, имеющий форму и конфигурацию для размещения в габаритах активной зоны, и множество спирально закрученных тепловыделяющих элементов, образующих пучок тепловыделяющих стержней, поддерживаемый каркасом, при этом каждый из тепловыделяющих элементов содержит делящийся материал. Как видно в поперечном сечении, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, самые внешние тепловыделяющие элементы пучка тепловыделяющих стержней могут образовать по существу круговой периметр. В соответствии с воплощениями ядерный реактор представляет собой реактор CANDU, содержащий трубы под давлением, а каркас имеет форму и конфигурацию для размещения в указанных трубах под давлением реактора.

В соответствии с воплощениями каждый из множества тепловыделяющих элементов может иметь по существу одинаковый диаметр описанной окружности. При этом множество тепловыделяющих элементов может быть размещено по концентрическим окружностям, и/или множество тепловыделяющих элементов может быть размещено с образованием структуры со смешанной сеткой, которая включает первую структуру с прямоугольной сеткой и вторую структуру с треугольной сеткой. Первая структура с прямоугольной сеткой и вторая структура с треугольной сеткой могут, по меньшей мере, частично чередоваться друг с другом.

Согласно воплощениям указанный ядерный реактор находился в фактической эксплуатации до 2014 года.

В соответствии с воплощениями каждый из тепловыделяющих элементов может иметь многолепестковый профиль, который включает спирально закрученные ребра. Эти ребра соседних тепловыделяющих элементов могут периодически контактировать друг с другом по осевой длине тепловыделяющих элементов, чтобы, по меньшей мере, частично сохранять пространственное разделение тепловыделяющих элементов друг относительно друга. В соответствии с воплощениями тепловыделяющие элементы могут быть получены путем выдавливания через фильеру.

В соответствии с воплощениями каркас тепловыделяющего элемента имеет конструкцию, ограничивающую снаружи пучок тепловыделяющих стержней так, что все тепловыделяющие элементы расположены внутри этой конструкции. Конструкция может представлять собой кожух, который на виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, имеет поперечное сечение, по существу

образующее окружность или двенадцатиугольник.

Эти и другие аспекты различных воплощений настоящего изобретения, а также способы работы и функции взаимосвязанных элементов конструкции, комбинация частей и экономичность изготовления будут более очевидными из нижеследующего описания и приложенных пунктов формулы со ссылками на сопровождающие чертежи, которые все вместе образуют часть настоящего описания, в котором одинаковыми ссылочными номерами позиции обозначены соответствующие элементы на различных фигурах. В одном воплощении изобретения иллюстрируемые здесь элементы конструкции изображены в масштабе. Следует, однако, ясно понимать, что чертежи служат лишь для иллюстрации и описания, но не для ограничения объема изобретения. Кроме того, следует принимать во внимание, что конструктивные особенности, показанные на чертежах или раскрытые при описании любого одного воплощения, могут быть использованы также и в других воплощениях. Используемая в описании и пунктах формулы форма единственного числа включает также множество определяемых объектов, если контекст явно не подразумевает иное.

#### Краткое описание чертежей

Воплощения настоящего изобретения, а также другие характерные особенности изобретения будут лучше раскрыты в нижеследующем описании со ссылками на сопровождающие чертежи.

Фиг.1А – упрощенный вид в поперечном разрезе традиционной тепловыделяющей сборки, содержащей тепловыделяющие стержни, образующие в сборке квадратную сетку.

Фиг.1В – упрощенный вид в поперечном разрезе традиционной тепловыделяющей сборки, содержащей тепловыделяющие стержни, образующие в сборке треугольную сетку.

Фиг.2 - упрощенный вид в поперечном разрезе схемы размещения элементов самодистанционированной тепловыделяющей сборки, образованной из шестидесяти одного тепловыделяющего стержня в смешанной квадратно-треугольной сетке, в соответствии с изобретением.

Фиг.3 - упрощенный вид в поперечном разрезе схемы размещения элементов самодистанционированной тепловыделяющей сборки, образованной из девятнадцати тепловыделяющих стержней в смешанной квадратно-треугольной сетке, в соответствии с изобретением.

Фиг.4 – вид в разрезе одного воплощения тепловыделяющей сборки в начальном исходном положении по осевой линии тепловыделяющей сборки, называемом здесь первоначальным нулевым  $0^0$  положением.

Фиг.5 – вид в разрезе тепловыделяющей сборки, показанной на фиг.4, при повороте стержней тепловыделяющей сборки на  $30^{\circ}$  или при дольном перемещении на  $1/12$  шага вращения по отношению к первоначальному нулевому  $0^{\circ}$  положению, показанному на фиг.4.

Фиг.6 – вид в разрезе тепловыделяющей сборки, показанной на фиг.4, при повороте стержней тепловыделяющей сборки на  $60^{\circ}$  или при дольном перемещении на  $1/6$  шага вращения по отношению к первоначальному нулевому  $0^{\circ}$  положению, показанному на фиг.4.

#### Подробное описание

Описанные здесь воплощения могут увеличить энергию и/или глубину выгорания ядерного топлива (продолжительность работы до выгрузки) тепловыделяющей сборки реакторов CANDU и/или реактора в целом, с сохранением при этом или увеличением уровня безопасности. В соответствии с воплощениями это может быть достигнуто за счет использования тепловыделяющих сборок, изготовленных из спирально закрученных, самодистанционированных монолитных тепловыделяющих стержней, например, тепловыделяющих стержней из сплава уран-цирконий (U-Zr), полученных методом выдавливания через фильеру, описанных в находящихся на рассмотрении заявках на патент США №14/081056 и 13/995792, полное содержание которых включено в настоящее описание посредством ссылки.

В реакторах CANDU обычно используют очень короткие тепловыделяющие сборки (например, порядка 50 см). Воплощения согласно настоящему изобретению обеспечивают получение частично или полностью самодистанционированных сборок тепловыделяющих стержней реакторов CANDU. Например, некоторые из описанных здесь тепловыделяющих сборок обеспечивают самодистанционирование всех тепловыделяющих стержней друг относительно друга (например, ребром к ребру). Однако альтернативные воплощения могут включать размещения стержней без самодистанционирования. Воплощения могут содержать каркас, представляющий собой кожух, или другой канал или устройство, окружающее весь пучок тепловыделяющих стержней или часть этого пучка (именуемый здесь в общем случае «кожухом»), и лучше используют располагаемое пространство внутри кожуха, чем это возможно в известных аналогах. Например, как будет описано более подробно ниже, воплощения используют «квадратно-треугольную» сетку тепловыделяющих стержней в схеме их размещения.

На фиг.2 представлен упрощенный вид в разрезе одного воплощения самодистанционированной тепловыделяющей сборки 100. Тепловыделяющая сборка может содержать шестьдесят один (61) тепловыделяющий стержень 102 в квадратно-

треугольной сетке, однако возможны и другие конфигурации. Тепловыделяющая сборка, представленная на фиг.2, может быть снабжена такой же или подобной оболочкой, как и сборка из сорока трех (43) гибких элементов CANDU (CANFLEX) усовершенствованного реактора CANDU. В то время как традиционная сборка CANFLEX содержит сорок три (43) тепловыделяющих элемента, каждый с внешним диаметром приблизительно равным 13,5 мм, тепловыделяющая сборка 100, представленная на фиг.2, может содержать шестьдесят один (61) тепловыделяющий элемент 102, каждый из которых имеет внешний диаметр приблизительно равный 11,5 мм. Однако могут быть использованы и другие количества и размеры тепловыделяющих элементов.

Тепловыделяющая сборка 2 может быть размещена в кожухе 104. Например, кожух 104 может иметь поперечное сечение в форме двенадцатиугольника, однако могут быть предусмотрены и другие формы сечения. В соответствии с воплощениями радиус  $R$  окружности, описанной вокруг тепловыделяющих элементов 102, может быть меньше или равен 51 мм. В соответствии с этими воплощениями внутренний радиус кожуха 104 может составлять приблизительно 51,7 мм, однако возможны и другие воплощения. Кожух 104 может иметь форму двенадцатиугольника, а поперечное расстояние  $h$  между противоположными гранями может составлять 100 мм ( $\leq 99,99$  мм). В соответствии с воплощениями квадратно-треугольная сетка из шестидесяти одного (61) тепловыделяющего элемента образует внешний периметр, который занимает приблизительно 95,5% площади описанной окружности (например, кожух 104 или канал реактора).

Как показано на фиг.3, центральная зона 19 размещения тепловыделяющих стержней 102 может почти точно вмещаться в трубу. В соответствии с воплощениями радиус  $R_{19}$  окружности, описанной вокруг центральных тепловыделяющих стержней 19, может иметь диаметр 3,922 мм, однако возможны другие размеры.

Как показано на фиг.2 и фиг.3, тепловыделяющие элементы могут быть расположены в первой и второй структурах сетки, смешанных одна с другой с образованием сетки, называемой здесь «квадратно-треугольная сетка». Первая структура сетки включает ряды и колонки тепловыделяющих элементов, расположенные по квадратам, при этом расстояние между рядами и колонками от одной центральной линии до другой равно общему диаметру « $d$ » описанной окружности тепловыделяющих элементов (см. позицию 106 на фиг.3 для примера первой «квадратной» сетки). Вторая структура сетки включает равносторонние треугольники, у которых длина каждой стороны каждого треугольника (т.е. расстояние между соседними тепловыделяющими элементами от одной центральной линии до другой, образующих вершины каждого

треугольника) является общим описанным диаметром «d» тепловыделяющих элементов (см. позицию 108 на фиг.3 для примера второй «треугольной» сетки). Таким образом, структура второй/треугольной сетки 108 отличается от структуры 106 первой/квадратной сетки. В соответствии с альтернативными воплощениями могут быть также использованы структуры дополнительной и/или альтернативной сетки (например, структуры с прямоугольной сеткой, структуры с изометрической сеткой, структуры сетки в виде параллелограмма, другие структуры с регулярно повторяющейся сеткой) без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Согласно воплощениям выбранные тепловыделяющие элементы 102 могут быть размещены в структуре с квадратной сеткой с одним рядом расположенных по окружности тепловыделяющих элементов и одновременно могут быть расположены в структуре с треугольной сеткой с другим рядом расположенных по окружности тепловыделяющих элементов. Однако возможны иные конфигурации.

Структуры с квадратной 106 и треугольной 108 сеткой, иллюстрируемые на фиг.2 и фиг.3, могут чередоваться одна с другой, если смотреть с одной или более позиций. Например, структуры с квадратной 106 и треугольной 108 сетками могут чередоваться одна с другой (но не обязательно на основе соотношения один к одному) вдоль любого выбранного радиуса от центра 110 тепловыделяющей сборки к внешнему периметру, например, к кожуху 104. Дополнительно или в качестве альтернативы, тепловыделяющие элементы 102 могут быть размещены по концентрическим окружностям, и структуры с квадратной и треугольной сетками могут чередоваться одна с другой (но не обязательно на основе соотношения один к одному) в направлении вдоль любой одной из концентрических окружностей.

Как отмечено выше, тепловыделяющие элементы могут быть самодистанционирующимися. В соответствии с воплощениями изобретения самодистанционирование может быть показателем диаметра описанной окружности для тепловыделяющего стержня, независимо от выбранной формы тепловыделяющего стержня, однако возможны и другие конфигурации. Согласно определенным воплощениям тепловыделяющие стержни 102 могут иметь любую форму с спирально закрученными ребрами (например, труба с ребрами, квадратного сечения и т.д.). Однако могут быть возможными другие формы, такие как круговое поперечное сечение, поперечные сечения геометрически правильной формы и т.п.

На фиг.4-6 представлены виды в поперечном разрезе воплощений тепловыделяющей сборки 200, содержащей четырехлепестковые тепловыделяющие стержни 202, такие как описаны в находящихся на рассмотрении заявках на патент США

№14/081056 и №13/695792, поданных заявителем по данной заявке, содержание которых полностью включено в настоящее описание посредством ссылки. В соответствии с другим аспектом определенные формы тепловыделяющих стержней, такие как четырехлепестковая конструкция, могут быть стандартизированы для различных реакторов. Например, тепловыделяющие стержни, имеющие четырехлепестковый профиль с диаметром описанной окружности  $12 \pm 1$  мм, и их незначительные модификации могут быть стандартом для различных реакторов, таких как реакторы PWR и CANDU.

На фиг.4 представлена тепловыделяющая сборка 200 в первоначальном положении отсчета, называемом здесь первоначальным положением с нулевым углом. Указанное первоначальное положение с нулевым углом может находиться в любой точке вдоль тепловыделяющих стержней 202, и может повторяться с регулярными интервалами. Фиг.5 иллюстрирует тепловыделяющую сборку 200, показанную на фиг.4, в положении поворота лепестков 204 тепловыделяющих стержней на  $30^\circ$  (в частности, перемещение в долях на  $1/12$  шага вращения тепловыделяющего стержня) по отношению к позиции на фиг.4. Фиг.6 иллюстрирует тепловыделяющую сборку 200, показанную на фиг.4, в положении поворота лепестков 204 тепловыделяющих стержней на  $60^\circ$  (в частности, перемещение в долях на  $1/6$  шага вращения тепловыделяющего стержня) по отношению к позиции на фиг.4. Вращательный поворот на  $90^\circ$  лепестков 204 или дольное перемещение на  $1/4$  шага вращения тепловыделяющего стержня от положения на фиг.4 воспроизводит предварительное первоначальное положение с углом равным 0, показанное на фиг.4.

На фиг.4-6 позицией 202' обозначено восемь тепловыделяющих стержней, которые находятся в пределах поперечного сечения сборки и не имеют контакта с другими тепловыделяющими стержнями 202 или кожухом 206. В положениях между иллюстрируемыми на фиг.4, 5 и 6 отсутствует контакт между тепловыделяющими стержнями по их длине или с кожухом 206. Соответственно, тепловыделяющая сборка является самодистанционирующейся, а все тепловыделяющие стержни - самодистанционированными по длине сборки.

Как было отмечено выше, тепловыделяющие стержни могут представлять собой тепловыделяющие четырехлепестковые стержни, описанные в находящихся на рассмотрении заявках на патент США №14/081056 и №13/695792, поданных заявителем по данной заявке. Однако в соответствии с альтернативными воплощениями любой из тепловыделяющих четырехлепестковых стержней в вышеупомянутых тепловыделяющих сборках можно заменить стандартными таблетированными цилиндрическими тепловыделяющими стержнями (из урана или тория) или стержнями с выгорающим поглотителем (например, содержащими гадолиний (Gd), эрбий (Er) и/или диспрозий (Dy)).

Используемый в настоящем описании термин «кожух» охватывает ряд различных конструкций, которые могут охватывать пучок тепловыделяющих стержней частично или полностью. Например, в соответствии с воплощениями «кожух» может быть выполнен в виде сплошного двенадцатигранного кожуха, перфорированного или с щелевыми отверстиями. В качестве альтернативы, «кожух» может содержать отдельные полосы или бандажную ленту, или заклепочное соединение на цилиндрической оболочке (например, сплошной или решетчатой с щелевыми отверстиями). Кроме того, термин «кожух» может охватывать другие подобные структуры и конструкции, которые очевидны для специалиста среднего уровня в данной области техники на основе данного описания.

Описанные выше иллюстрированные воплощения представлены для демонстрации конструктивных и функциональных принципов настоящего изобретения, а не в качестве ограничения. С другой стороны, принципы настоящего изобретения предполагают включение любого или всех изменений, вариантов и/или замен в пределах сущности и объема нижеследующих пунктов формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Тепловыделяющая сборка для использования в активной зоне ядерного энергетического реактора, содержащая

каркас, имеющий форму и конфигурацию, подходящие для размещения во внутренней конструкции активной зоны ядерного реактора;

множество спирально закрученных тепловыделяющих элементов, поддерживаемых указанным каркасом, в виде пучка тепловыделяющих стержней, при этом каждый из тепловыделяющих элементов содержит делящийся материал;

при этом на виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, самые внешние тепловыделяющие элементы пучка тепловыделяющих стержней образуют по существу круговой периметр.

2. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой каркас имеет форму и конфигурацию для размещения внутри трубы под давлением реактора CANDU.

3. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой каждый из множества тепловыделяющих элементов имеет по существу одинаковый диаметр описанной окружности.

4. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов расположено по концентрическим окружностям.

5. Тепловыделяющая сборка по п.4, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов размещено с образованием структуры со смешанной сеткой, которая включает первую структуру с прямоугольной сеткой и вторую структуру с треугольной сеткой.

6. Тепловыделяющая сборка по п.5, в которой указанные первая структура с прямоугольной сеткой и вторая структура с треугольной сеткой, по меньшей мере частично, чередуются одна с другой.

7. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой некоторые из множества тепловыделяющих элементов отделены от соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием от одной центральной осевой линии до другой центральной линии, при этом диаметр описанной окружности некоторых из множества тепловыделяющих элементов равен указанному расстоянию между их осевыми линиями.

8. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой каждый из тепловыделяющих элементов имеет многолепестковый профиль, который содержит ребра.

9. Тепловыделяющая сборка по п.8, в которой указанные ребра являются спиральными ребрами.

10. Тепловыделяющая сборка по п.9, в которой ребра соседних тепловыделяющих

элементов периодически контактируют один с другим по осевой длине тепловыделяющих элементов, что, по меньшей мере частично, поддерживает дистанционирование тепловыделяющих элементов относительно друг друга.

11. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой множество тепловыделяющих элементов состоит из шестидесяти одного тепловыделяющего элемента.

12. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой тепловыделяющие элементы представляют собой тепловыделяющие элементы, полученные методом выдавливания через фильеру.

13. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой каркас представляет собой конструкцию, ограничивающей снаружи по окружности пучок тепловыделяющих стержней так, что все тепловыделяющие элементы расположены внутри этой конструкции.

14. Тепловыделяющая сборка по п.13, в которой указанная конструкция представляет собой кожух.

15. Тепловыделяющая сборка по п.14, в которой на виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, указанный кожух образует сечение по существу в виде окружности или двенадцатиугольника.

16. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой на виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, тепловыделяющая сборка занимает более 64% внутреннего поперечного сечения трубы, ограничивающей снаружи указанную тепловыделяющую сборку.

17. Тепловыделяющая сборка по п.16, в которой тепловыделяющая сборка занимает более 83% внутреннего поперечного сечения трубы, ограничивающей снаружи указанную тепловыделяющую сборку.

18. Тепловыделяющая сборка по п.16, в которой тепловыделяющая сборка занимает от приблизительно 83% до приблизительно 95% внутреннего поперечного сечения трубы, ограничивающей снаружи указанную тепловыделяющую сборку.

19. Тепловыделяющая сборка по п.1, которая спроектирована с использованием термодинамических расчетов и имеет геометрическую форму для функционирования в традиционном наземном ядерном энергетическом реакторе традиционной атомной электростанции, при этом реактор имеет конструкцию, которая находилась в практической эксплуатации до 2014 года, а форма и конфигурация каркаса обеспечивают его размещение со сборкой в наземном ядерном энергетическом реакторе вместо традиционной тепловыделяющей сборки для указанного реактора.

20. Тепловыделяющая сборка по п.19, в которой традиционный наземный ядерный

энергетический реактор представляет собой реактор CANDU.

21. Ядерный реактор, содержащий

активную зону и

одну или большее количество тепловыделяющих сборок в активной зоне, при этом тепловыделяющая сборка содержит:

каркас, имеющий геометрическую форму и сконфигурированный для размещения внутри активной зоны; и

множество спирально закрученных тепловыделяющих элементов в виде пучка тепловыделяющих стержней, поддерживаемом указанным каркасом, причем каждый из тепловыделяющих элементов содержит делящийся материал;

при этом на виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, самые внешние тепловыделяющие элементы пучка тепловыделяющих стержней образуют по существу круговой периметр.

22. Ядерный реактор по п.21, который представляет собой реактор CANDU, содержащий трубы под давлением, и каркас имеет форму и конструкцию, подходящие для размещения в указанных трубах под давлением.

23. Ядерный реактор по п.21, в котором каждый из множества тепловыделяющих элементов имеет по существу одинаковый диаметр описанной окружности.

24. Ядерный реактор по п.21, в котором множество тепловыделяющих элементов расположено по концентрическим окружностям.

25. Ядерный реактор по п.24, в котором множество тепловыделяющих элементов размещены с образованием структуры со смешанной сеткой, которая включает первую структуру с прямоугольной сеткой и вторую структуру с треугольной сеткой.

26. Ядерный реактор по п.21, который находился в фактической эксплуатации до 2014 года.

27. Ядерный реактор по п.25, в котором первая структура с прямоугольной сеткой и вторая структура с треугольной сеткой, по меньшей мере частично, чередуются одна с другой.

28. Ядерный реактор по п.21, в котором каждый из тепловыделяющих элементов имеет многолепестковый профиль, который включает спиральные ребра.

29. Ядерный реактор по п.28, в котором ребра соседних тепловыделяющих элементов периодически контактируют одно с другим по осевой длине тепловыделяющих элементов, что, по меньшей мере частично, поддерживает дистанционирование тепловыделяющих элементов относительно друг друга.

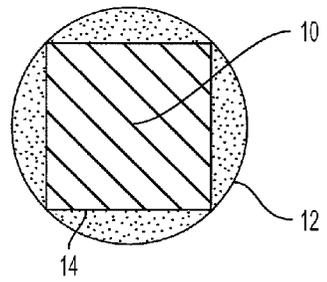
30. Ядерный реактор по п.21, в котором тепловыделяющие элементы представляют

собой тепловыделяющие элементы, полученные путем выдавливания через фильеру.

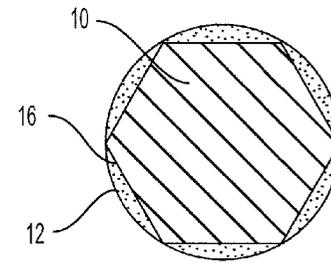
31. Ядерный реактор по п.21, в котором каркас имеет конструкцию, ограничивающую снаружи по окружности пучок тепловыделяющих стержней таким образом, что все тепловыделяющие элементы расположены внутри этой конструкции.

32. Ядерный реактор по п.31, в котором указанная конструкция представляет собой кожух.

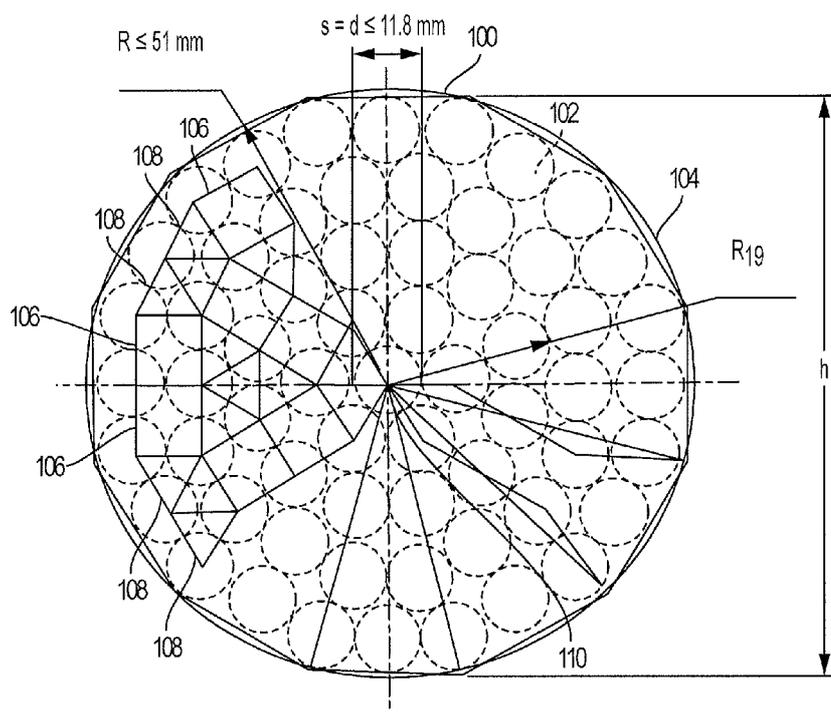
33. Ядерный реактор по п.32, в котором на виде в разрезе, перпендикулярном осевому направлению тепловыделяющей сборки, указанный кожух образует сечение, по существу в форме окружности или двенадцатиугольника.



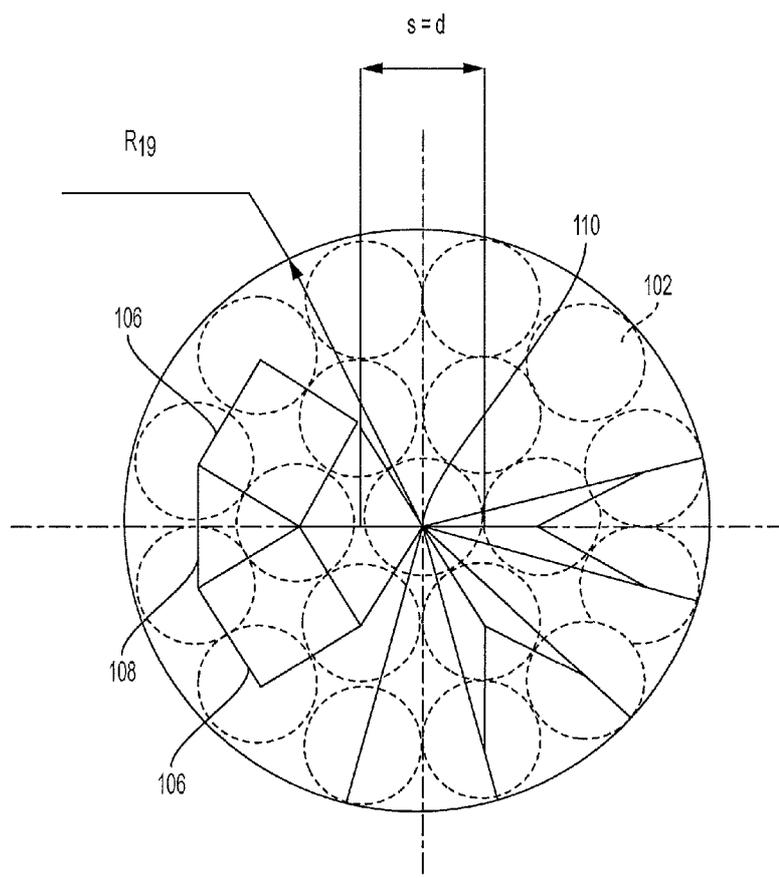
**Фиг. 1А**  
Аналог



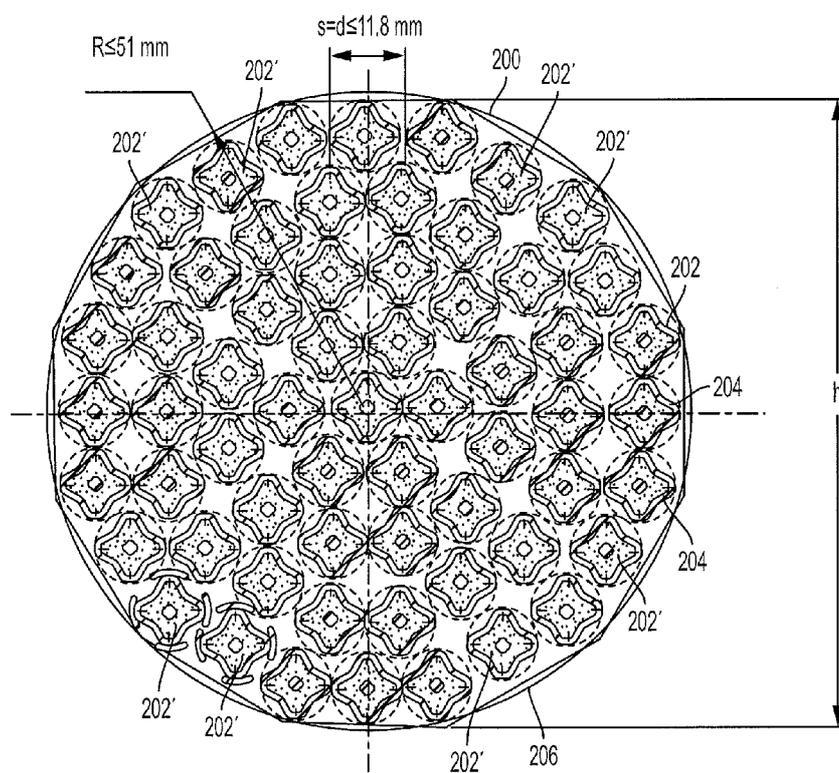
**Фиг. 1В**  
Аналог



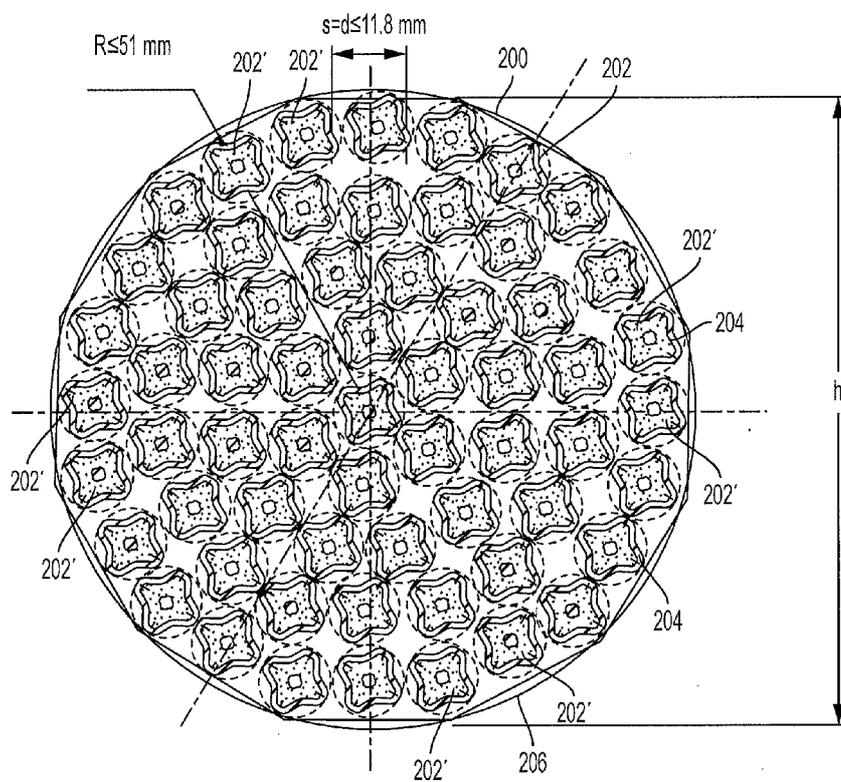
Фиг. 2



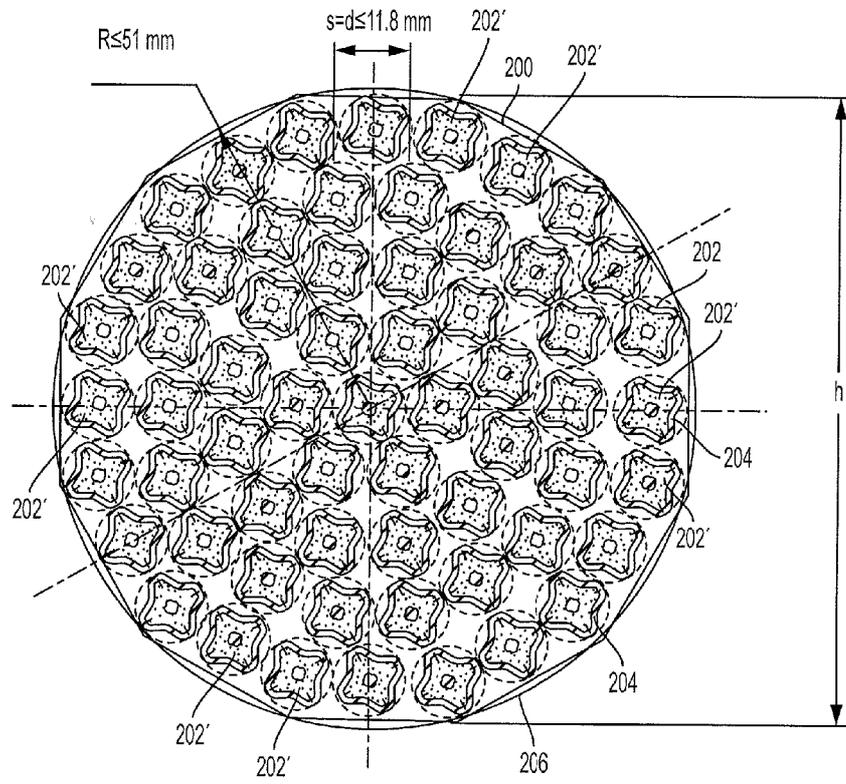
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6