

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201991956 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.01.22

(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

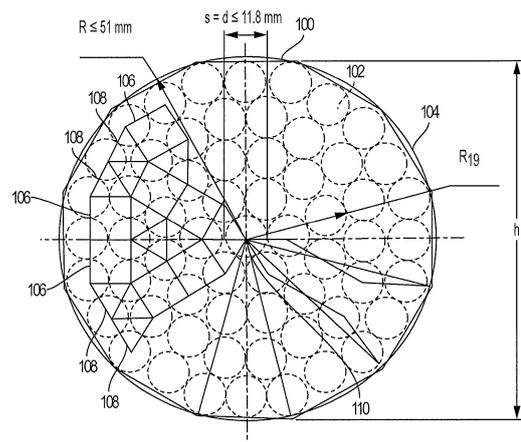
(62) 201790621; 2015.09.16

(71) Заявитель:
ЛАЙТБРИДЖ КОРПОРЕЙШН (US)

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

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Тепловыделяющая сборка для использования во внутренней конструкции активной зоны ядерного реактора. Сборка содержит множество тепловыделяющих элементов, при этом указанное множество тепловыделяющих элементов размещено с образованием структуры со смешанной сеткой, которая включает первую сетчатую структуру и вторую сетчатую структуру, отличающуюся от первой сетчатой структуры. Каждый из множества тепловыделяющих элементов имеет продольную осевую линию, и продольные осевые линии подмножества тепловыделяющих элементов из указанного множества тепловыделяющих элементов отделены от продольных осевых линий соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием между осевыми линиями, при этом диаметр описанной окружности для каждого тепловыделяющего элемента из указанного подмножества равен указанному расстоянию между осевыми линиями.



201991956 A1

201991956 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 тепловыделяющихборок 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 во внутренней конструкции активной зоны ядерного реактора может содержать множество тепловыделяющих элементов, при этом указанное множество тепловыделяющих элементов размещено с образованием структуры со смешанной сеткой, которая включает первую сетчатую структуру и вторую сетчатую структуру, отличающуюся от первой сетчатой структуры, каждый из множества тепловыделяющих элементов имеет продольную осевую линию, и продольные осевые линии подмножества тепловыделяющих элементов из указанного множества тепловыделяющих элементов отделены от продольных осевых линий соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием от между осевыми линиями, а диаметр описанной окружности для каждого тепловыделяющего элемента из указанного подмножества равен указанному расстоянию между осевыми линиями.

Согласно воплощениям продольная осевая линия каждого из указанного множества тепловыделяющих элементов первой сетчатой структуры может быть отделена от продольной осевой линии соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием между осевыми линиями, при этом диаметр описанной окружности каждого из тепловыделяющих элементов первой сетчатой структуры равен расстоянию между осевыми линиями.

В соответствии с воплощениями продольная осевая линия каждого из множества тепловыделяющих элементов второй сетчатой структуры может быть отделена от

продольной осевой линии соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием между осевыми линиями, при этом диаметр описанной окружности каждого из тепловыделяющих элементов первой сетчатой структуры равен расстоянию между осевыми линиями.

В соответствии с воплощениями тепловыделяющий элемент, размещенный в первой сетчатой структуре с первым рядом тепловыделяющих элементов, одновременно может располагаться во второй сетчатой структуре со вторым рядом тепловыделяющих элементов.

Первая сетчатая структура и вторая сетчатая структура могут чередоваться одна с другой. Сетчатые структуры могут чередоваться одна с другой на основе соотношения «один к одному» вдоль любого радиуса от центра тепловыделяющей сборки к внешнему периметру.

В соответствии с воплощениями множество тепловыделяющих элементов может размещаться по концентрическим окружностям, причем первая сетчатая структура и вторая сетчатая структура могут чередоваться одна с другой вдоль одной или большего числа концентрических окружностей. Сетчатые структуры могут чередоваться одна с другой на основе соотношения «три к одному».

В соответствии с воплощениями первая сетчатая структура может представлять собой структуру с прямоугольной сеткой, или структуру с изометрической сеткой, или структуру с сеткой в виде параллелограмма, или структуру с треугольной сеткой, или структуру с сеткой в виде равностороннего треугольника. Первая сетчатая структура может быть структурой с прямоугольной сеткой, а вторая сетчатая структура - структурой с треугольной сеткой.

В соответствии с воплощениями структура со смешанной сеткой также может включать третью сетчатую структуру.

Согласно воплощениям множество тепловыделяющих элементов может представлять собой четырехлепестковые тепловыделяющие стержни, или таблетированные цилиндрические тепловыделяющие стержни, или тепловыделяющие стержни с выгорающим поглотителем.

Тепловыделяющие элементы могут быть спирально закрученными тепловыделяющими элементами, имеющими многолепестковую форму, которая включает спиральные ребра.

Множество тепловыделяющих элементов также содержат внешнюю границу, ограничивающую указанное множество тепловыделяющих элементов. Указанной внешней границей может быть кожух.

Количество тепловыделяющих элементов может быть равно 61, а внешней границей является кожух, ограничивающий указанные 61 тепловыделяющие элементы, при этом кожух имеет поперечное сечение в форме окружности или двенадцатиугольника.

Количество тепловыделяющих элементов может быть равно 19, а указанная внешняя граница имеет форму окружности, ограничивающей снаружи указанные 19 тепловыделяющих элементов.

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 30^0 или при дольном перемещении на $1/12$ шага вращения по отношению к первоначальному нулевому 0^0 положению, показанному на фиг.4.

Фиг.6 – вид в разрезе тепловыделяющей сборки, показанной на фиг.4, при повороте стержней тепловыделяющей сборки на 60^0 или при дольном перемещении на $1/6$ шага вращения по отношению к первоначальному нулевому 0^0 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 ± 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° (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° (в частности, перемещение в долях на $1/6$ шага вращения тепловыделяющего стержня) по отношению к позиции на фиг.4. Вращательный поворот на 90° 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 во внутренней конструкции активной зоны ядерного реактора, содержащая:

множество тепловыделяющих элементов,

при этом указанное множество тепловыделяющих элементов размещено с образованием структуры со смешанной сеткой, которая включает первую сетчатую структуру и вторую сетчатую структуру, отличающуюся от первой сетчатой структуры,

каждый из множества тепловыделяющих элементов имеет продольную осевую линию, и

продольные осевые линии подмножества тепловыделяющих элементов из указанного множества тепловыделяющих элементов отделены от продольных осевых линий соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием от между осевыми линиями, а диаметр описанной окружности для каждого тепловыделяющего элемента из указанного подмножества равен указанному расстоянию между осевыми линиями.

2. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой продольная осевая линия каждого из указанного множества тепловыделяющих элементов первой сетчатой структуры отделена от продольной осевой линии соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием между осевыми линиями, и диаметр описанной окружности каждого из тепловыделяющих элементов первой сетчатой структуры равен расстоянию между осевыми линиями.

3. Тепловыделяющая сборка по п.2, в которой продольная осевая линия каждого из множества тепловыделяющих элементов второй сетчатой структуры отделена от продольной осевой линии соседних тепловыделяющих элементов одинаковым расстоянием между осевыми линиями, и диаметр описанной окружности каждого из тепловыделяющих элементов первой сетчатой структуры равен расстоянию между осевыми линиями.

4. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой тепловыделяющий элемент, размещенный в первой сетчатой структуре с первым рядом тепловыделяющих элементов, одновременно расположен во второй сетчатой структуре со вторым рядом тепловыделяющих элементов.

5. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой первая сетчатая структура и вторая сетчатая структура чередуются одна с другой.

6. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой первая сетчатая структура и вторая сетчатая структура чередуются одна с другой на основе соотношения «один к одному» вдоль любого радиуса от центра тепловыделяющей сборки к внешнему периметру.

7. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов размещены по концентрическим окружностям, и первая сетчатая структура и вторая сетчатая структура чередуются одна с другой вдоль одной или большего числа концентрических окружностей.

8. Тепловыделяющая сборка по п.7, в которой первая сетчатая структура и вторая сетчатая структура чередуются одна с другой вдоль одной или большего числа концентрических окружностей на основе соотношения «три к одному».

9. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой первая сетчатая структура представляет собой структуру с прямоугольной сеткой, или структуру с изометрической сеткой, или структуру с сеткой в виде параллелограмма, или структуру с треугольной сеткой, или структуру с сеткой в виде равностороннего треугольника.

10. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой первая сетчатая структура является структурой с прямоугольной сеткой, а вторая сетчатая структура является структурой с треугольной сеткой.

11. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой указанная структура со смешанной сеткой также включает третью сетчатую структуру.

12. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов представляют собой четырехлепестковые тепловыделяющие стержни, или таблетированные цилиндрические тепловыделяющие стержни, или тепловыделяющие стержни с выгорающим поглотителем.

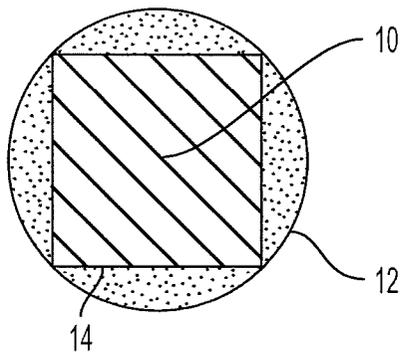
13. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов являются спирально закрученными тепловыделяющими элементами, имеющими многолепестковую форму, которая включает спиральные ребра.

14. Тепловыделяющая сборка по п.1, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов также содержат внешнюю границу, ограничивающую указанное множество тепловыделяющих элементов.

15. Тепловыделяющая сборка по п.14, в которой указанной внешней границей является кожух.

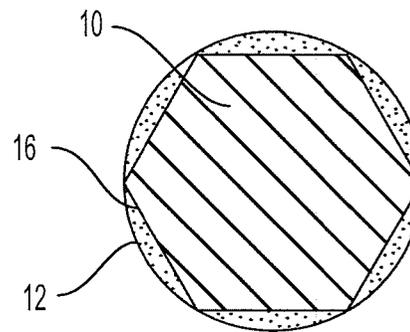
16. Тепловыделяющая сборка по п.14, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов состоит из 61 тепловыделяющих элементов, и внешней границей является кожух, ограничивающий указанные 61 тепловыделяющие элементы, при этом кожух имеет поперечное сечение в форме окружности или двенадцатиугольника.

17. Тепловыделяющая сборка по п.14, в которой указанное множество тепловыделяющих элементов состоит из 19 тепловыделяющих элементов, и указанная внешняя граница имеет форму окружности, ограничивающей снаружи указанные 19 тепловыделяющих элементов.



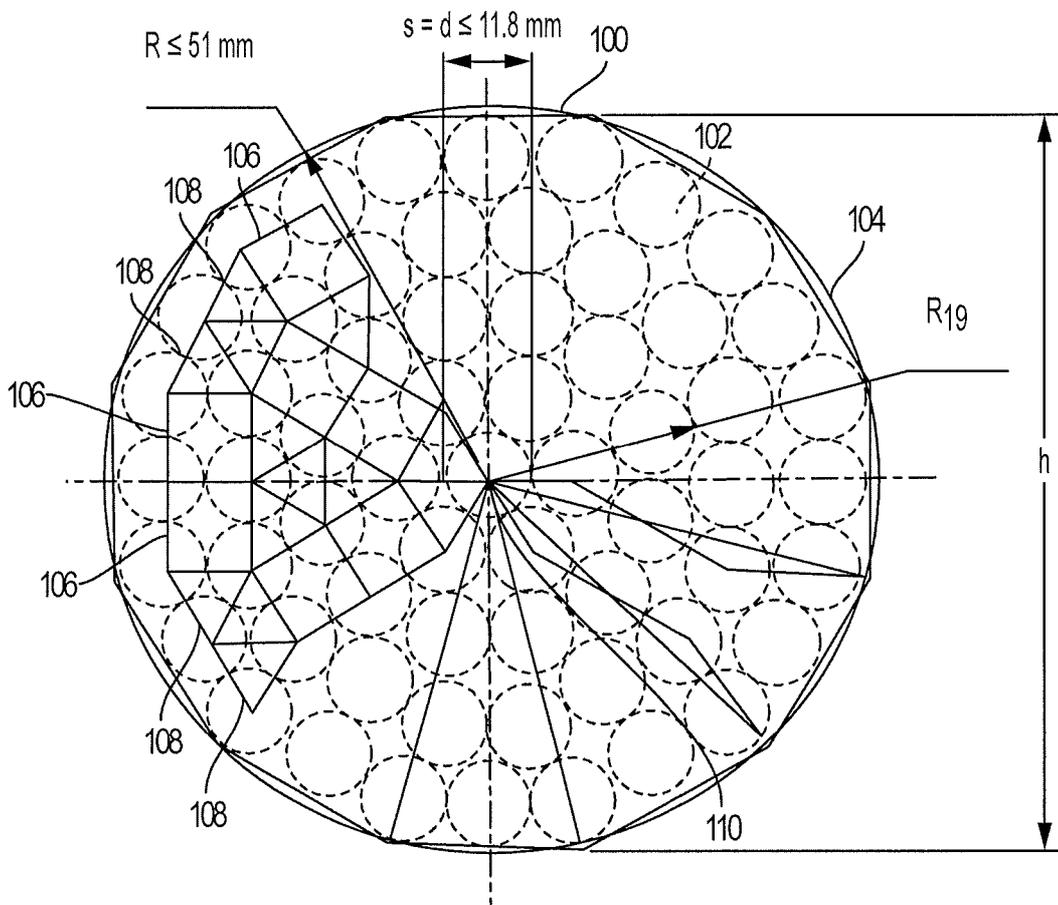
Фиг. 1А

Аналог

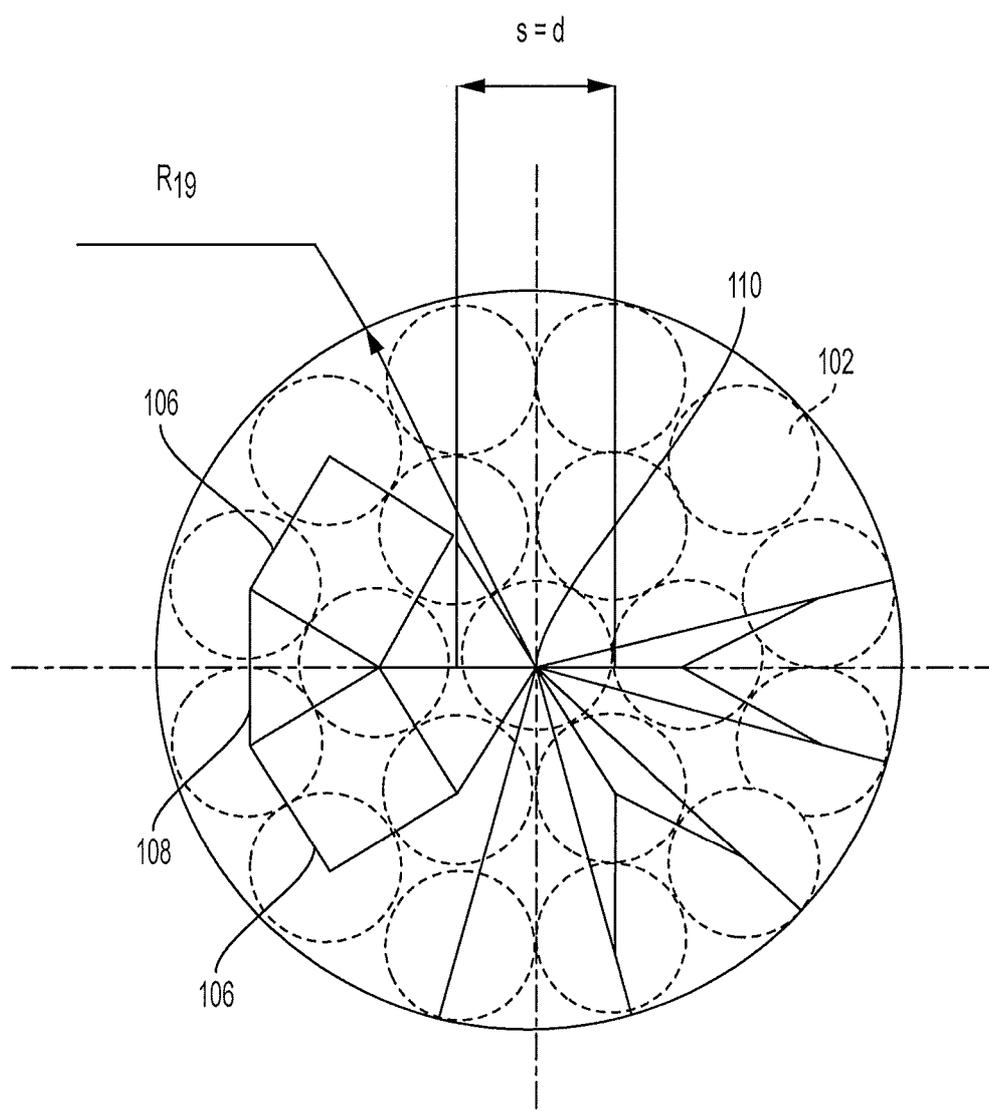


Фиг. 1В

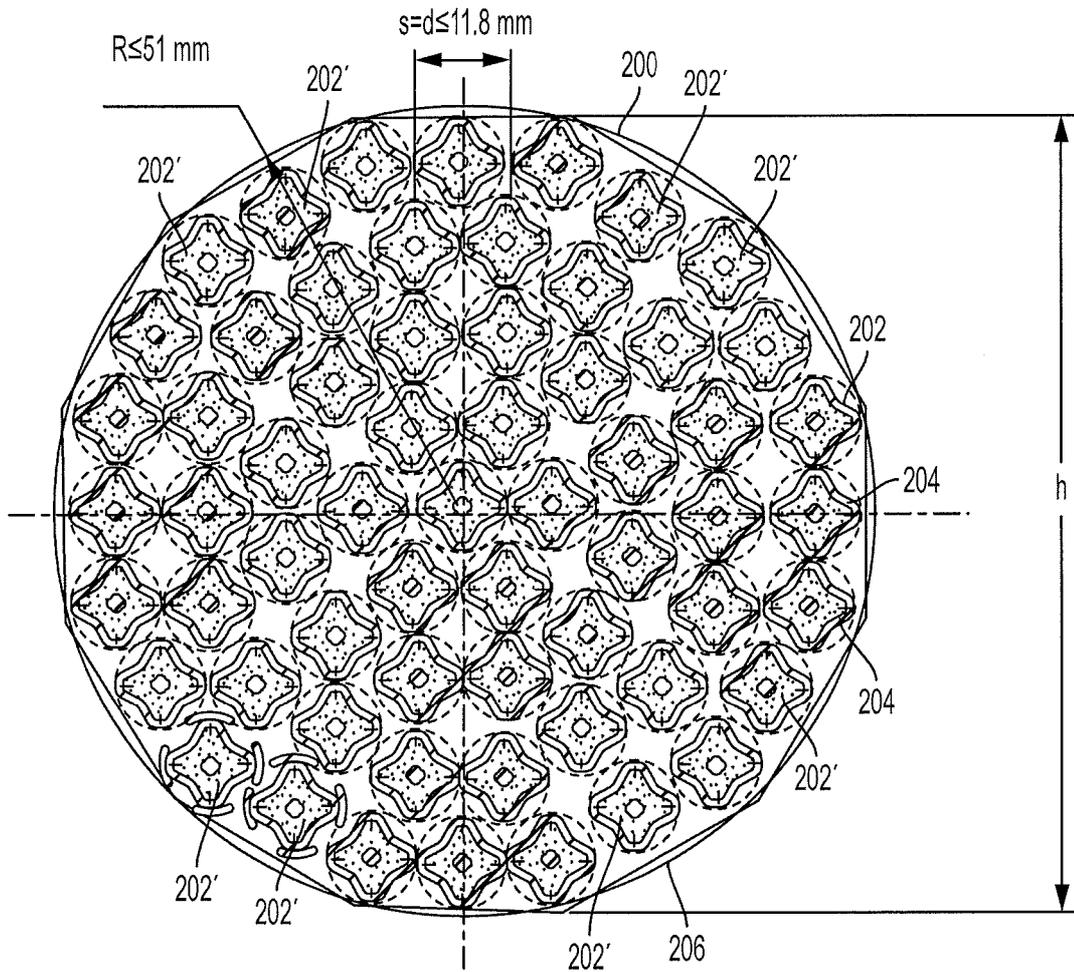
Аналог



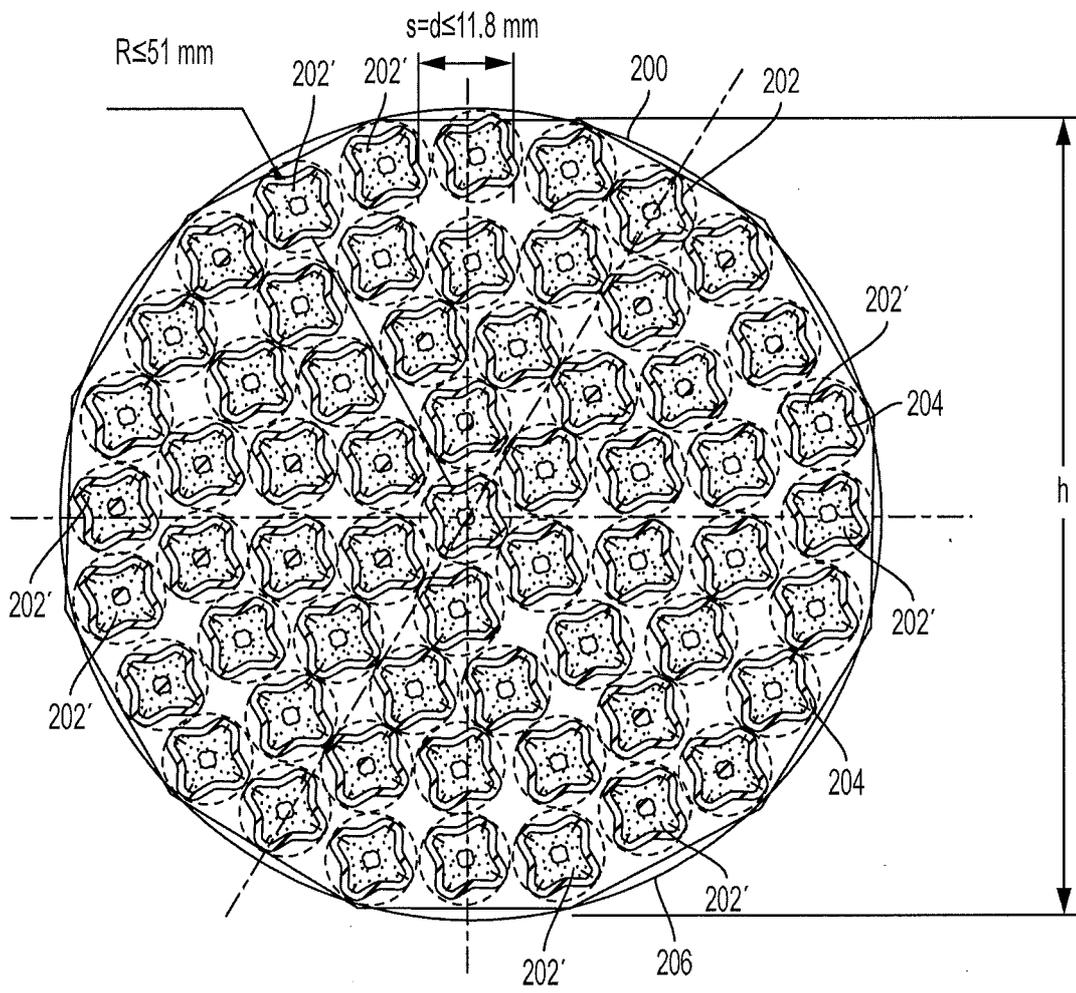
Фиг. 2



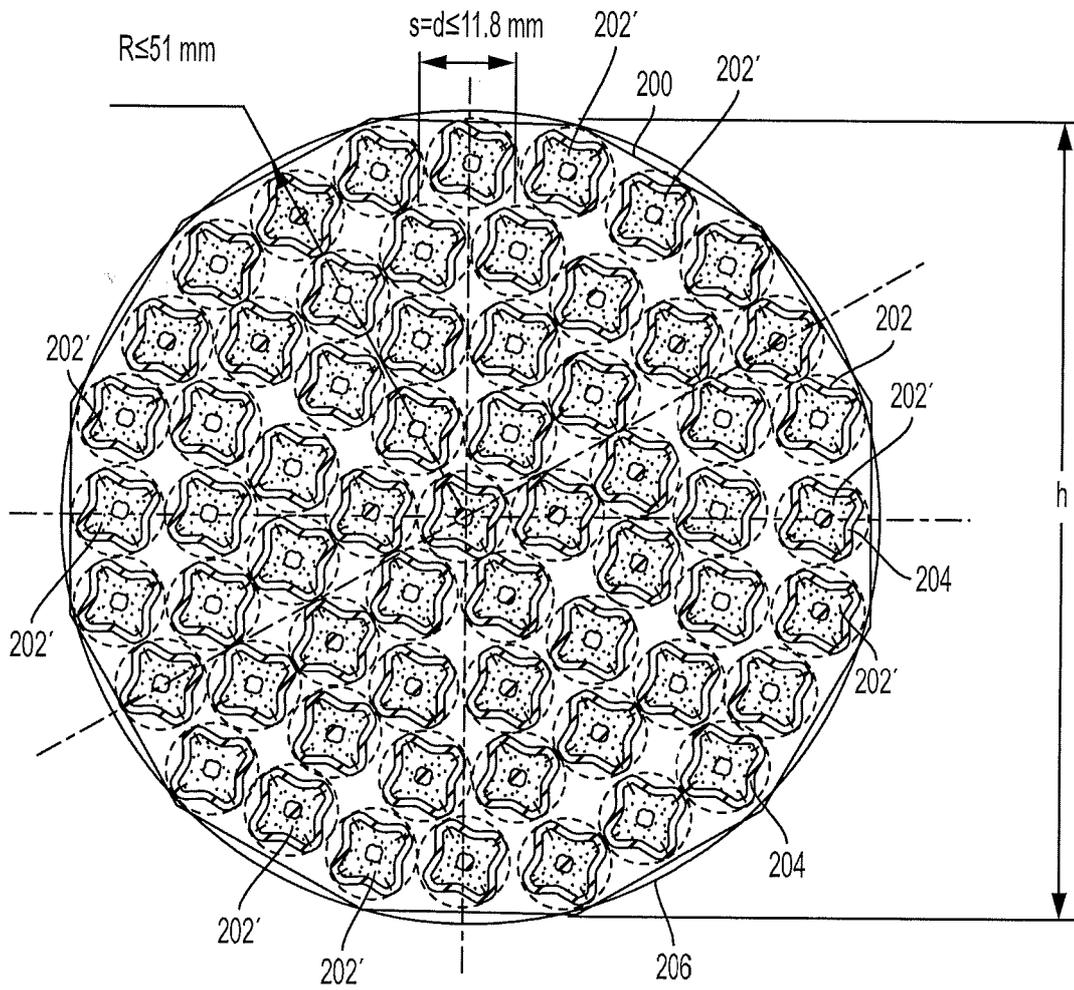
ФИГ. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 18 and Rules 43 and 44)

Applicant's or agent's file reference 123616387453	FOR FURTHER ACTION		see Form PCT/ISA/220 as well as, where applicable, item 5 below.
International application No. PCT/US2015/050454	International filing date (<i>day/month/year</i>) 16 September 2015 (16-09-2015)	(Earliest) Priority Date (<i>day/month/year</i>) 16 September 2014 (16-09-2014)	
Applicant LIGHTBRIDGE CORPORATION			

This international search report has been prepared by this International Searching Authority and is transmitted to the applicant according to Article 18. A copy is being transmitted to the International Bureau.

This international search report consists of a total of 4 sheets.

It is also accompanied by a copy of each prior art document cited in this report.

1. Basis of the report

a. With regard to the **language**, the international search was carried out on the basis of:

- the international application in the language in which it was filed
 a translation of the international application into _____, which is the language of a translation furnished for the purposes of international search (Rules 12.3(a) and 23.1(b))

b. This international search report has been established taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91 (Rule 43.6*bis*(a)).

c. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, see Box No. I.

2. **Certain claims were found unsearchable** (See Box No. II)

3. **Unity of invention is lacking** (see Box No III)

4. With regard to the **title**,

- the text is approved as submitted by the applicant
 the text has been established by this Authority to read as follows:

NUCLEAR FUEL ASSEMBLY

5. With regard to the **abstract**,

- the text is approved as submitted by the applicant
 the text has been established, according to Rule 38.2, by this Authority as it appears in Box No. IV. The applicant may, within one month from the date of mailing of this international search report, submit comments to this Authority

6. With regard to the **drawings**,

a. the figure of the **drawings** to be published with the abstract is Figure No. 2

- as suggested by the applicant
 as selected by this Authority, because the applicant failed to suggest a figure
 as selected by this Authority, because this figure better characterizes the invention

b. none of the figures is to be published with the abstract

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2015/050454

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G21C3/32 G21C3/328
ADD. G21C3/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2013/322591 A1 (BASHKIRTSEV SERGEY MIKHAILOVICH [RU] ET AL) 5 December 2013 (2013-12-05) abstract; figures 1-8 paragraphs [0059], [0066], [0072] paragraphs [0120] - [0124] -----	1-7, 10-28, 30-33
X	US 2009/252278 A1 (BASHKIRTSEV SERGEY MIKHAILOVICH [RU] ET AL) 8 October 2009 (2009-10-08) abstract; figures 1-9 paragraphs [0052], [0055] ----- -/--	1,3,7-9, 11, 17-21, 23,26,28

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 3 February 2016	Date of mailing of the international search report 10/02/2016
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Manini, Adriano
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2015/050454

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 361 640 A (MARC HASSIG JEAN ET AL) 2 January 1968 (1968-01-02) figures 1-5 column 2, line 7 - column 3, line 27 -----	1,3-11, 13-15, 17-21, 23-29, 31-33
A	US 6 434 209 B1 (GROENEVELD DE C [CA] ET AL) 13 August 2002 (2002-08-13) abstract; figures 1,2,6 column 6, lines 33-54 -----	1-33

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/US2015/050454

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013322591	A1	05-12-2013	AU 2011250906 A1 22-11-2012 CA 2798539 A1 17-11-2011 CN 102947890 A 27-02-2013 EA 201201481 A1 29-03-2013 EP 2569776 A1 20-03-2013 JP 2013526709 A 24-06-2013 JP 2015166742 A 24-09-2015 KR 20130080436 A 12-07-2013 US 2013322591 A1 05-12-2013 WO 2011143172 A1 17-11-2011 WO 2011143293 A1 17-11-2011
US 2009252278	A1	08-10-2009	EP 2077560 A2 08-07-2009 EP 2228801 A1 15-09-2010 US 2009252278 A1 08-10-2009
US 3361640	A	02-01-1968	BE 680508 A 17-10-1966 CH 455953 A 15-05-1968 DE 1539774 A1 24-09-1970 FR 1444181 A 01-07-1966 GB 1079307 A 16-08-1967 IL 25719 A 30-11-1969 LU 51120 A 18-07-1966 NL 6606697 A 21-11-1966 US 3361640 A 02-01-1968
US 6434209	B1	13-08-2002	NONE