



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012134401/07, 12.01.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.01.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
13.01.2010 US 61/294,673

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2014 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 20.10.2015 Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: USH689 Н, 03.10.1989 . US5517541 А, 14.05.1996. US3098024 А, 16.07.1963. US1624704 А, 12.04.1927. US6298108 В1, 02.10.2001. US5257659 А, 02.11.1993. US6113982 А, 05.09.2000. SU1764783 А1, 30.09.1992 . ЕМЕЛЬЯНОВ И.Я. и др. Конструирование ядерных реакторов. Москва, Энергоиздат, 1982, с. 180

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 13.08.2012

(86) Заявка РСТ:
US 2011/020981 (12.01.2011)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/088116 (21.07.2011)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег. N 595

(72) Автор(ы):

УОЛТЕРС Леон К. (US)

(73) Патентообладатель(и):

ЭДВАНСД РИЭКТОР КОНСЕПТС ЛЛК (US)

RU 2 566 294 С2

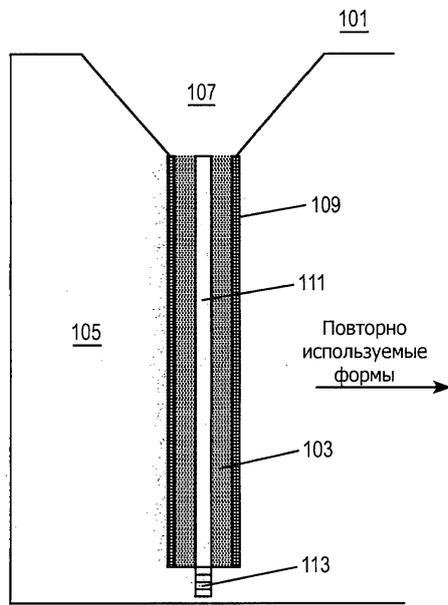
(54) КОЛЬЦЕВОЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО С ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к ядерному топливу и тепловыделяющим элементам ядерного реактора. Металлический стержневой твэл включает кольцевое ядерное топливо из металлического сплава, циркониевую защитную оболочку, окружающую и находящуюся в контакте с ядерным топливом, оболочку, окружающую защитную оболочку, и газосборник

в оболочке. Центральное отверстие обеспечивает эффективную плотность топлива 75% или менее при облучении. Также описаны система форм и способы изготовления кольцевого металлического ядерного топлива. Технический результат - повышение выгорания ядерного топлива. 4 н. и 25 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 566 294 С2



Фиг. 1

RU 2566294 C2

RU 2566294 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012134401/07, 12.01.2011**

(24) Effective date for property rights:
12.01.2011

Priority:

(30) Convention priority:
13.01.2010 US 61/294,673

(43) Application published: **20.02.2014** Bull. № 5

(45) Date of publication: **20.10.2015** Bull. № 29

(85) Commencement of national phase: **13.08.2012**

(86) PCT application:
US 2011/020981 (12.01.2011)

(87) PCT publication:
WO 2011/088116 (21.07.2011)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.N 595**

(72) Inventor(s):
UOLTERS Leon K. (US)

(73) Proprietor(s):
**EhDVANSD RIEhKTOR KONSEPTS LLK
(US)**

(54) **ANNULAR METALLIC NUCLEAR FUEL WITH PROTECTIVE COVER**

(57) Abstract:

FIELD: physics, atomic power.

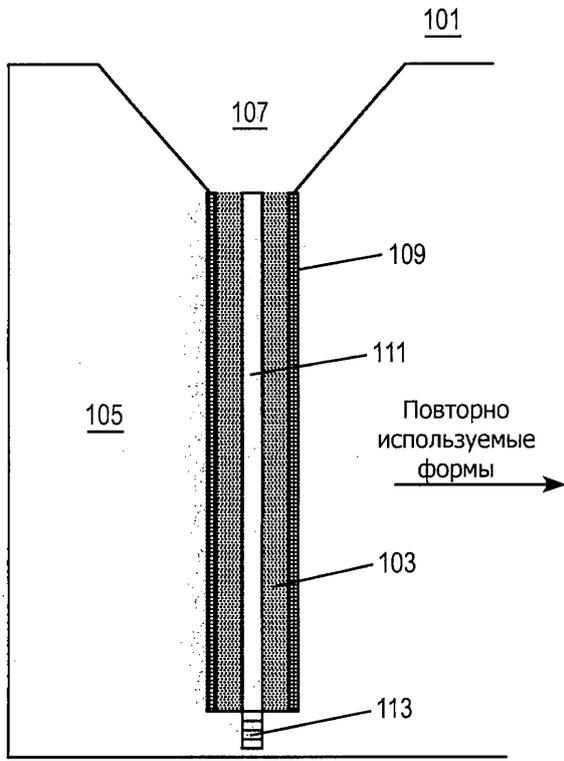
SUBSTANCE: invention relates to nuclear fuel and nuclear fuel elements. A metallic fuel rod includes an annular nuclear fuel made of a metal alloy, a zirconium protective cover surrounding and in contact with the nuclear fuel, a cover surrounding the protective cover and a gas collector in the cover. A centre opening provides effective fuel density of 75% or less during irradiation. A mould system and methods of making the annular metallic nuclear fuel are also described.

EFFECT: high nuclear fuel burn-up.

29 cl, 3 dwg

R U 2 5 6 6 2 9 4 C 2

R U 2 5 6 6 2 9 4 C 2



Фиг. 1

RU 2566294 C2

RU 2566294 C2

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Настоящее изобретение притязает на приоритет заявки US No 61/294,673, поданной 13 января 2010, содержание которой включено в описание ссылкой в полном объеме.

Область техники, к которой относится изобретение

5 Настоящее изобретение относится к ядерному топливу и, в частности, к металлическому ядерному топливу.

Известный уровень техники

10 Мировой спрос на электроэнергию, как ожидается, удвоится к 2030 году и возрастет в четыре раза к 2050 году. Увеличение мирового спроса на электроэнергию прогнозируется со стороны развитых стран и в еще большей степени со стороны развивающихся стран. Для удовлетворения этого быстрого роста спроса ядерная энергетика может быть реалистичным и экономически эффективным источником энергии.

15 Увеличение получения энергоресурсов из других источников, таких как получение энергии природного газа, может быть ограничено высокими и нестабильными ценами на газ, выбросами парниковых газов, а также озабоченностью по поводу долгосрочной зависимости от нестабильных источников питания. Между тем, виды альтернативной энергии (солнечной, ветра, биомассы, ГЭС и т.д.) могут быть полезны для удовлетворения некоторой доли возросшего спроса. Однако их масштаб недостаточен, 20 и они не могут обеспечить достаточные дополнительные электрические мощности на большинстве рынков для удовлетворения значительной части нового спроса на электроэнергию.

Угольные электростанции могут обеспечить дополнительное производство, но сжигание больших количеств угля создает серьезные политические трудности с учетом 25 негативного воздействия на окружающую среду.

Обычные атомные электростанции могут удовлетворить часть дополнительного спроса. Однако обычные атомные электростанции должны преодолеть ряд проблем. Могут потребоваться новые типы ядерного топлива.

Краткое изложение существа изобретения

30 Описание новой атомной электростанции содержится в заявке US No 12/696,851, поданной 29 января 2010, и заявке PCT No PCT/US2010/035412, поданной 19 мая 2010; содержание которых полностью включено в описание ссылкой.

35 Описана система кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой. Описан ТВЭЛ из металлического топлива, который включает кольцевое ядерное топливо из металлического сплава. Защитная оболочка может окружать кольцевое ядерное топливо из металлического сплава, и оболочка может окружать защитную оболочку. Также может присутствовать газосборник тепловыделяющего элемента. Также описаны устройство форм и способы изготовления кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой.

40 Дополнительные признаки, преимущества и осуществления изобретения изложены далее или являются очевидными при рассмотрении последующего подробного описания, чертежей и формулы изобретения. Кроме того, следует понимать, что представленное выше краткое изложение сущности изобретения и последующее детальное описание являются иллюстрационными и предназначены для представления дальнейших 45 объяснений без ограничения объема притязаний изобретения.

Краткое описание чертежей

Прилагаемые чертежи, которые включены для обеспечения дальнейшего понимания изобретения, являются частью этого описания, иллюстрируют предпочтительные

осуществления изобретения и вместе с подробным описанием служат для объяснения принципов изобретения. На чертежах:

фиг.1 представляет жидкий сплав, разлитый сифоном из тигля в графитовую форму, согласно одному из осуществлений;

5 фиг.2 представляет поперечное сечение примера топливного стержня с центральным отверстием и циркониевой оболочкой;

фиг.3 представляет пример укомплектованного топливного стержня с центральным отверстием и циркониевой защитной оболочкой, который затем помещен в оболочку.

Подробное описание некоторых осуществлений

10 Осуществления настоящего изобретения могут включать металлическое ядерное топливо с центральным отверстием с защитной оболочкой, устройство форм кольцевого металлического ядерного топлива с защитной оболочкой и способы изготовления кольцевого металлического ядерного топлива с защитной оболочкой.

15 В некоторых осуществлениях могут быть отдельно использованы несколько способов изготовления и/или индивидуальные способы для создания кольцевого металлического ядерного топлива с защитной оболочкой. Например, изготовление кольцевого металлического ядерного топлива может быть выполнено сифонной разливкой твердых топливных стержней в циркониевую или аналогичного типа трубку в графитовой форме.

20 Осуществления настоящего изобретения могут включать изготовление и облучение кольцевого металлического ядерного топлива с циркониевой защитной оболочкой, которая плотно прилегает к оболочке, которая может быть стальной с диффузионным слоем гелия. Такое сочетание может придать ряд важных свойств, которые не обеспечивает каждый признак, используемый по отдельности.

Процесс изготовления

25 На фиг.1 представлено устройство форм 101 для сифонной разливки в соответствии с одним из осуществлений. Ниже приводятся преимущественные характеристики сифонной разливки по сравнению с традиционной технологией изготовления металлического топлива литьем под давлением.

30 a. Графитовые формы являются многоазовыми, что исключает отходы, получаемые из частиц топлива, приставших к кварцевой форме при литье под давлением.

b. Состав сплава не ограничен, как с литьем под давлением, где размягчение кварцевой формы во время литья ограничивает максимальную температуру плавления сплава, который может быть разлит.

35 c. Могут быть отлиты стержни с центральным отверстием, в то время как кольцевая геометрия не используется при литье под давлением.

d. Включение защитной оболочки осуществимо сифонной разливкой.

e. Возможно устранение потерь летучих элементов при литье под давлением с использованием избыточного давления инертного газа.

f. Сифонное литье является пригодным для удаленного контроля.

40 Металлическое топливо 103 может быть расплавлено в графитовом или аналогичного типа тигле с небольшим избыточным давлением инертного газа, чтобы минимизировать потери летучих компонентов. Металлическим сплавом может быть уран-цирконий, уран-молибден, с добавлением или без плутония и других трансурановых элементов.

Аналогичным образом могут быть изготовлены сплавы на основе тория.

45 Осуществления настоящего изобретения могут быть приспособлены к металлическому топливу из ториевого сплава. Интерес к использованию топлива из ториевого сплава имеется, в частности, в таких странах, как Индия, которые не имеют собственных запасов урана. Результаты первых исследований в США показали, что топливо на

основе металлического тория при облучении проявляет связанную пористость и газовыделение, аналогично традиционным видам топлива на основе сплава урана. Таким образом, осуществления настоящего изобретения, могут использовать сплавы на основе тория в твэлах и/или технологии изготовления для улучшения характеристик топлива на основе тория.

Жесткие допуски не являются необходимыми для металлического топлива из-за низкой насыпной плотности и пластических свойств топлива под облучением. Состав сплава не так ограничен, как в случае литья под давлением, где ограничением является размягчение кварцевой формы. Жидкий сплав металлического топлива 103 может быть разлит из тигля в графитовую форму или блок 105, как показано на фиг. 1. Графитовая форма 105 может включать одно или несколько цилиндрических отверстий 107, футерованных циркониевыми трубками 109. Трубки 109 могут быть жаропрочными металлическими трубками, отличными от циркония. Вблизи центра каждой трубки 109 может находиться стальной стержень или прочный резьбовой графитовый стержень 111. Стальной стержень или прочный резьбовой графитовый стержень 111 могут быть покрыты тонким слоем керамики, например нитридом титана. Могут быть использованы другие керамические материалы. Стальной стержень или прочный резьбовой графитовый стержень 111 может быть ввинчен 113 в графитовую форму 105. После отливки металлического топлива 103 в графитовую форму 105 удаляемый из графитовой формы 105 продукт может быть кольцевым твэлом с центральным отверстием и циркониевой защитной оболочкой.

Технология изготовления в осуществлениях настоящего изобретения может давать значительно меньшее количество отходов по сравнению с известным способом литья под давлением, в котором топливо часто остается в кварцевых формах. Кроме того, количество остатков в нижней части тигля при сифонной разливке может быть сведено к минимуму по сравнению с тем, что наблюдается при литье под давлением.

Альтернативой литью в форму с циркониевой трубкой в форме является размещение тонкой циркониевой трубки или трубки из жаропрочного сплава в оболочку с достаточно плотной посадкой, а затем введение по месту кольцевого стержня твэла в оболочку с циркониевой трубкой. Потенциальное преимущество этого способа в том, что циркониевая трубка может быть непрерывной по большой длине сердечника в том случае, если длина отливки топливного стержня ограничена. Топливные стержни могут быть уложены друг на друга без разрыва защитной оболочки. Диффузионный слой газообразного гелия также может быть использован для создания соответствующей теплопередачи на ранних стадиях облучения.

На фиг.2 представлено поперечное сечение кольцевой топливный стержень/элемент 201 с центральным отверстием 203 и циркониевой оболочкой 205, согласно одному осуществлению. Стальная или выполненная из другого подобного материала оболочка 207 может окружать циркониевую защитную оболочку 205 и кольцевой топливный стержень 201. Циркониевая защитная оболочка 205 может быть использована для обеспечения барьера между кольцевым топливным стержнем 201 и оболочкой 207 для некоторых реакторов с очень длительным временем пребывания. Размеры кольцевого топливного стержня 201 и их элементов могут меняться под конкретные цели.

Включение циркониевой защитной оболочки 205 в топливный стержень 201 может обеспечить способ защиты стальной оболочки 207 от химического воздействия в течение чрезвычайно длительного облучения топлива быстрых реакторов. Во время облучения элементы металлического топлива 103 диффузионно обмениваются с элементами материалов оболочки 207 так, что полезная толщина оболочки 207 уменьшается, что

впоследствии может привести к разрыву оболочки. Циркониевые защитные оболочки 205 могут замедлить этот обмен элементов диффузией. Другие виды материалов защитной оболочки не могут обеспечить эту защиту.

5 Еще один проблемный вопрос состоит в том, что могут образовываться легкоплавкие сплавы на границе топлива 103 и оболочки 207 в результате одного из двух явлений. Во-первых, железо в оболочке 207 может давать сплавы с элементами топлива, например ураном, и образовывать низкоплавкую композицию. Во-вторых, лантаниды продуктов деления могут мигрировать к границе раздела фаз оболочки и топлива и образовывать низкоплавкий сплав. Низкоплавкий сплав рядом с оболочкой 207 вероятнее всего может
10 привести к преждевременному разрыву. В любом случае циркониевая защитная оболочка 205 может предотвратить формирование низкоплавких сплавов. Другие виды материалов защитной оболочки не могут обеспечить эту защиту.

Фиг.3 представляет систему кольцевого металлического топлива 301 в соответствии с одним из осуществлений. Кольцевой топливный стержень 201 с циркониевой защитной
15 оболочкой 205 могут быть помещены в оболочку 207. Допуски по кольцевому топливному стержню 201 могут быть такими, что посадка в оболочке 207 не оставляет зазора. Газосборник тепловыделяющего элемента 303 в оболочке 207 может быть заполнен гелием 305 для обеспечения соответствующей теплопередачи. Крышка 307 и/или нижняя заглушка 309 также могут быть включены в систему кольцевого
20 металлического топлива в защитной оболочке 301.

Цель процесса изготовления

Традиционное металлическое топливо может обеспечить высокое выгорание, потому что зазор между топливом и оболочкой может позволить топливу беспрепятственно
25 набухать в связи с накоплением газообразных продуктов деления до объединения пузырьков газообразных продуктов деления и газообразные продукты деления выделяются в газосборник над топливом. Зазор между топливом и оболочкой в традиционном металлическом топливе может привести к эффективной плотности 75% или менее. Таким образом, объединение газовых пор может произойти до достижения
металлическим топливом оболочки.

30 Вместо зазора между топливом и оболочкой, как в традиционных видах металлического топлива, эффективная плотность металлического топлива 75% или менее, может быть достигнута за счет наличия центрального отверстия в топливном стержне. Таким образом, топливо, по меньшей мере, частично набухает внутрь, а не наружу, с получением сообщающихся пор. В традиционном металлическом топливе
35 может происходить значительное осевое расширение металлического топлива до контакта с оболочкой. В осуществлениях настоящего изобретения кольцевой топливный стержень может находиться в контакте с защитной оболочкой и оболочкой в начале срока службы и тем самым осевое расширение может быть значительно меньше, чем у традиционного металлического топлива.

40 При облучении уран-цирконий и уран-плутоний-циркониевых твэлов традиционного металлического топлива цирконий может проявлять тенденцию к диффузии к поверхности топливного стержня и образовывать защитный барьер между топливом и оболочкой. Слой циркония, образованный по этому диффузионному механизму, не всегда единообразный, и, таким образом, защита между топливом и оболочкой может
45 быть прерывистой. В предшествующих системах металлическое топливо подают литьем под давлением в циркониевые трубки для исключения кварцевых форм. Это основано на представлениях известного уровня техники, из которых следует, что циркониевые трубки обеспечат защитный барьер между топливом и оболочкой. В традиционных

системах топливный стержень вместе с циркониевой трубкой помещают в оболочку с натриевым диффузионным слоем и облучают. Зазор между топливным стержнем и оболочкой является большим для 75% эффективной плотности топлива. При разбухании топлива циркониевая трубка может растрескаться. Таким образом, трубка не функционирует эффективно в качестве защитного барьера.

В осуществлениях настоящего изобретения кольцевой топливный стержень с циркониевой защитной оболочкой может быть посажен с натягом в трубку оболочки. Таким образом, при разбухании кольцевых топливных стержней они могут незначительно двигаться наружу, поскольку могут расширяться в сторону центра. Следовательно, вероятность разрыва циркониевых трубок невысокая и они могут оставаться неповрежденными и служить в качестве защитного барьера.

Кроме того, поскольку зазор между кольцевым топливным стержнем и оболочкой небольшой, может отсутствовать необходимость в диффузионном слое жидкого натрия. Газообразный гелий может быть использован в качестве предпочтительного теплоносителя, но могут быть использованы и другие материалы. В традиционном металлическом топливе диффузионный слой натрия после низкого выгорания может быть вытеснен в газоприемник. С гелиевым диффузионным слоем заполнение натрием трубок оболочки и контроль диффузионного слоя могут быть исключены. Без натриевого диффузионного слоя длина твэл'а может быть существенно уменьшена. Более короткий стержневый твэл может привести к более короткой сборке и, следовательно, к меньшему корпусу реактора, при существенной экономии затрат.

Металлическое топливо с натриевым диффузионным слоем обычно должно быть нагрето сверху вниз для расплавления натриевого диффузионного слоя, до того как твэлы могут быть введены в натриевый резервуар реактора. Для этого может потребоваться специальное устройство загрузки топлива. Кроме того, в некоторых реакторах вся активная зона может быть загружена в виде нескольких кассет. Нагревание этих кассет сверху вниз может потребовать большого и специального оборудования. Осуществления изобретения направлены на устранение этих проблем. Кроме того, исключение натриевого диффузионного слоя открывает возможность транспортировки и хранения топливных сборок, после очистки, с водяным охлаждением.

Осуществления настоящего изобретения также могут включать системы и способы генерации энергии с помощью кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой. Кольцевое металлическое топливо с защитной оболочкой может быть облучено для получения энергии.

В осуществлениях настоящего изобретения потери летучих компонентов, таких как америций, не представляют собой проблему, потому что небольшое избыточное давление при плавлении сплава может устранить потери.

Радиоактивные элементы в отработавшем ядерном топливе являются продуктами деления, некоторые из которых - это элементы с относительно короткими периодами полураспада и легкие актиниды с очень большими периодами полураспада. Таким образом, легкие актиниды определяют длительность, в течение которой хранилище должно быть надежным при испытаниях из-за остаточной радиоактивности. Кроме того, легкие актиниды ограничивают емкость хранилища за счет тепла распада легких актинидов. Высокотемпературная переработка ядерного топлива, как керамического, так и металлического, удаляет легкие актиниды из отработавшего топлива, и легкие актиниды затем используют для сплавления с новым металлическим топливом. Металлическое топливо является идеальным хранилищем для легких актинидов.

Традиционный метод изготовления металлического топлива представляет собой

литье под давлением, которое зависит от вакуумирования системы до высокотемпературного введения жидкого сплава в кварцевые формы. Легкий актинид америций является очень летучим, и, следовательно, его трудно удержать в жидкой фазе в процессе вакуумирования. Способ сифонной разливки, описанный в изобретении, не требует вакуумирования, и фактически избыточное давление инертного газа может быть использовано для устранения существенной потери америция в процессе отливки.

Настоящее изобретение может обеспечить простоту дистанционного изготовления в горячей камере при переработке высокорadioактивного топлива. Технология изготовления хорошо подходит для дистанционного изготовления переработанного топлива. В конце концов, большинство, если не все ядерные реакторы будут работать на переработанном топливе. Переработанное топливо быстрых реакторов должны быть переработано и изготовлено дистанционно, например в горячей камере. Технология изготовления топлива должна использовать компактное и ремонтпригодное в горячей камере оборудование. Способ сифонной разливки для изготовления металлического топлива является идеальным в этом отношении для дистанционного использования.

В некоторых осуществлениях топливо может быть традиционным металлическим топливом после первого облучения, и, следовательно, может быть применима большая база данных для традиционного топлива. Например, при облучении кольцевого металлического топлива топливо распухает в отверстие. Когда диаметр кольца доходит до такого значения, что насыпная плотность топлива, при которой кольцо закрывается из-за распухания топлива, составляет 75% или менее, то возникает сообщающаяся пористость и происходит выделение газообразных продуктов деления. Кроме того, микроструктура топлива является той же, что и структура традиционного металлического топлива.

Важно, чтобы сообщающаяся пористость и микроструктура традиционного металлического топлива наблюдалась в кольцевом топливе, потому что тогда может быть установлена взаимосвязь с обширной базой данных для традиционного металлического топлива. Таким образом, обширных и дорогостоящих программ развития можно избежать при лицензировании кольцевого топлива.

Хотя вышеизложенное описание направлено на предпочтительные осуществления изобретения, следует отметить, что другие осуществления и модификации будут очевидными специалистам в данной области техники и могут быть выполнены, не превышая объема притязаний изобретения. Кроме того, признаки, описанные в связи с одним из осуществлений изобретения, могут быть использованы в сочетании с другими осуществлениями, даже если это прямо не указано ранее.

Формула изобретения

1. Система металлического стержневого твэла для ядерного реактора, которая включает:

кольцевое ядерное топливо из металлического сплава, причем центральное отверстие обеспечивает эффективную плотность топлива 75% или менее при облучении;

циркониевую защитную оболочку, окружающую и находящуюся в контакте с ядерным топливом из металлического сплава;

оболочку, окружающую защитную оболочку, и

газосборник в оболочке.

2. Система по п. 1, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит уран-цирконий.

3. Система по п. 1, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит

уран-молибден.

4. Система по п. 1, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит трансурановые элементы.

5 5. Система по п. 1, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит сплавы тория.

6. Система по п. 1, в которой газосборник наполнен гелием.

7. Система по п. 1, в которой оболочка выполнена из стали.

8. Система по п. 1, в которой ядерное топливо из металлического сплава при облучении выступает в роли традиционного металлического топлива.

10 9. Система форм металлического топлива, включающая:

блок форм;

центральный стержень с резьбой;

15 кольцевое отверстие для приема ядерного топлива из металлического сплава, причем центральное отверстие обеспечивает эффективную плотность топлива 75% или менее при облучении кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой; и

циркониевую защитную оболочку, ограничивающую внутренний диаметр кольцевого отверстия для непосредственного контактирования с ядерным топливом из металлического сплава после создания жидким топливом из металлического сплава кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой.

20 10. Система по п. 9, в которой блок форм содержит графит.

11. Система по п. 9, в которой центральный стержень с резьбой содержит стальной стержень с покрытием из нитрида титана или прочный резьбовой графитовый стержень.

12. Система по п. 9, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит уран-цирконий.

25 13. Система по п. 9, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит уран-молибден.

14. Система по п. 9, в которой ядерное топливо из металлического сплава дополнительно содержит трансурановые элементы.

30 15. Система по п. 9, в которой ядерное топливо из металлического сплава содержит сплавы тория.

16. Система по п. 9, которая адаптирована к сифонной разливке.

35 17. Способ изготовления кольцевого металлического ядерного топлива с защитной оболочкой, включающий: сифонную разливку жидкого ядерного топлива из металлического сплава в форму, при этом форма включает набор отверстий в форме, стержень приблизительно в центре каждого из отверстий и циркониевую оболочку в каждом из одного или более отверстий;

создание из жидкого ядерного топлива из металлического сплава кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой;

извлечение кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой, и

40 размещение кольцевого металлического топлива с защитной оболочкой в оболочке с газосборником.

18. Способ по п. 17, в котором одну или несколько трубок помещают в оболочку до сифонной разливки.

45 19. Способ по п. 17, в котором стержень представляет собой стальной стержень с покрытием из нитрида титана или прочный резьбовой стержень из графита.

20. Способ по п. 17, в котором ядерное топливо из металлического сплава содержит уран-цирконий.

21. Способ по п. 17, в котором ядерное топливо из металлического сплава содержит

уран-молибден.

22. Способ по п. 17, в котором ядерное топливо из металлического сплава содержит трансурановые элементы.

5 23. Способ по п. 17, в котором ядерное топливо из металлического сплава содержит сплавы тория.

24. Способ по п. 17, дополнительно включающий дистанционное изготовление переработанного топлива.

25. Способ применения кольцевого металлического топливного стержня, включающий:

10 создание кольцевого металлического топливного стержня сифонной разливкой; первоначальное облучение кольцевого металлического топливного стержня, в котором состав кольцевого металлического топливного стержня по существу аналогичен составу традиционного металлического топлива после первого облучения.

15 26. Способ по п. 25, дополнительно включающий дистанционное изготовление переработанного топлива.

27. Способ по п. 25, дополнительно включающий извлечение легких актинидов из отработавшего топлива и сплавление легких актинидов с новым металлическим топливом.

20 28. Способ по п. 25, дополнительно включающий создание циркониевой защитной оболочки, окружающей кольцевой металлический топливный стержень.

29. Способ по п. 25, в котором кольцевой металлический топливный стержень включает сплавы тория.

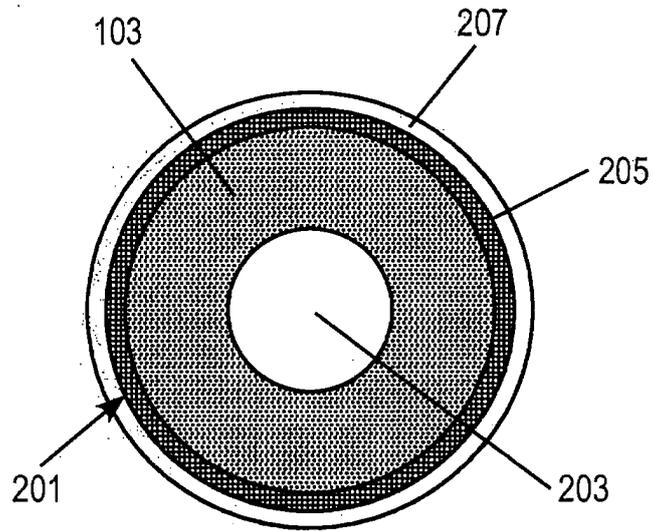
25

30

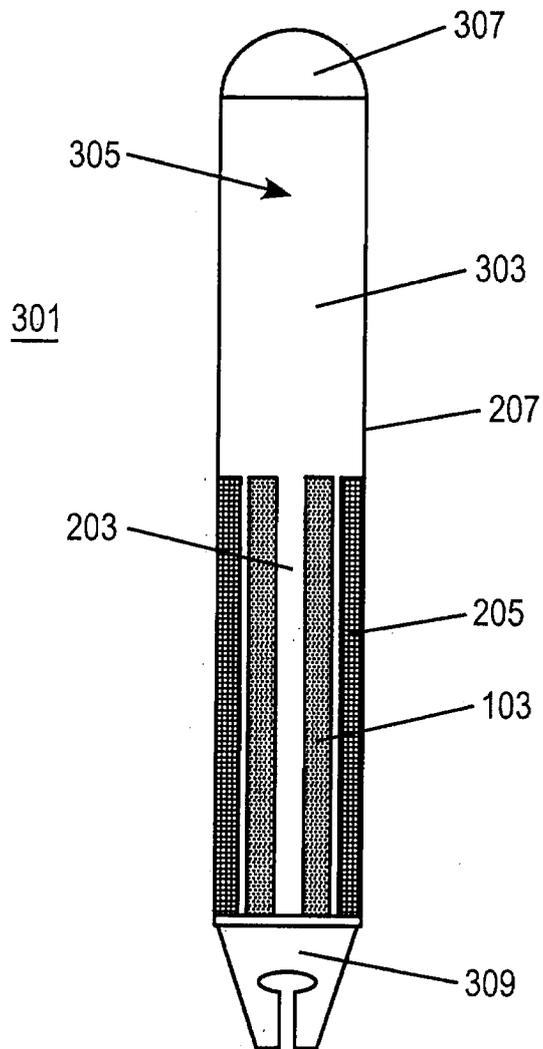
35

40

45



ФИГ. 2



ФИГ. 3