

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
31 мая 2019 (31.05.2019)



(10) Номер международной публикации
WO 2019/103642 A1

- (51) Международная патентная классификация :
G21C 3/58 (2006.01) *G21C 19/42* (2006.01)
- (21) Номер международной заявки : PCT/RU20 17/000932
- (22) Дата международной подачи :
25 декабря 2017 (25.12.2017)
- (25) Язык подачи : Русский
- (26) Язык публикации : Русский
- (30) Данные о приоритете :
2017141358 27 ноября 2017 (27.11.2017) RU
- (71) Заявитель : АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "РА-
ДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.Г.ХЛОПИНА"
(AKCIONERNOE OBSHCHESTVO "RADIEVYY
INSTITUT IMENI V.G.KHLOPINA") [RU/RU]; 2-й
Муринский проспект, 28, Санкт-Петербург, 194021,
St.Petersburg (RU).
- (72) Изобретатели : ЗИЛЬБЕРМАН, Борис Яковле-
вич (ZIL'BERMAN, Boris Yakovlevich); Коломяж-
ский пр-кт, 20, кв. 740, Санкт-Петербург, 197348,
St.Petersburg (RU). ГОЛЕЦКИЙ, Николай Дмитри-
евич (GOLETSKIJ, Nikolaj Dmitrievich); ул. Уточ-
кина, 2, корп. 2, кв. 27, Санкт-Петербург, 197371,
St.Petersburg (RU). КОВАЛЁВ, Никита Владимиро-
вич (KOVALYOV, Nikita Vladimirovich); ул. Перво-
майская, 16, кв. 42, п. Шушары, Санкт-Петербург,
196626, р. Shushary, St.Petersburg (RU). СИНЮХИН,
Андрей Борисович (SINYUKHIN, Andrej Borisovich);
ул. Ивана Фомина, 13, кв. 153, Санкт-Петербург,
194352, St.Petersburg (RU).
- (81) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида национальной охраны) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида региональной охраны) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Опубликована :
— с отчётом о международном поиске (статья 21.3)

(54) Title: FUEL COMPOSITION FOR WATER-COOLED THERMAL NEUTRON NUCLEAR POWER PLANT REACTORS

(54) Название изобретения : ТОПЛИВНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ АЭС НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ

(57) Abstract: The invention relates to the field of nuclear technologies, specifically to fuel for thermal neutron nuclear power plants. A fuel composition comprising a mixture of recovered plutonium and enriched uranium in the form of oxides is proposed, characterized in that the enriched uranium used is enriched natural uranium and recovered plutonium, in a ratio of components determined by an energy potential equal to the potential of freshly prepared nuclear power plant fuel composed of enriched natural uranium, providing up to a 100% load of the reactor core. Possible variants of mixing said components are claimed, including unrestricted cycling of secondary recovered plutonium and uranium. The use of the proposed composition makes it possible to make maximum use of the energy potential of uranium and plutonium, including of stored spent nuclear fuel, and to sharply reduce the volume of storage facilities until the latter are decommissioned, and to fundamentally simplify the logistics and technology of manufacturing nuclear fuel from recovered materials.

(57) Реферат : Изобретение относится к области ядерных технологий, и в частности к топливу АЭС на тепловых нейтронах. Предложена топливная композиция, включающая смесь регенерированного плутония и обогащенного урана в виде оксидов, отличающаяся тем, что в качестве обогащенного урана используется обогащенный природный уран и регенерированный плутоний, при соотношении компонентов, определяемом энергетическим потенциалом, равным потенциалу свежеприготовленного топлива АЭС из обогащенного природного урана, обеспечивающим загрузку активной зоны реактора вплоть до 100%. Заявлены возможные варианты смешения указанных компонентов, включая неограниченное циклирование вторичных регенерированных плутония и урана. Использование предложенной композиции позволяет максимально использовать энергетический потенциал урана и плутония, включая накопленный ОЯТ, и резко сократить объем хранилищ, вплоть до их снятия с эксплуатации, а также существенно упростить логистику и технологию изготовления ядерного топлива из регенерированных материалов.



WO 2019/103642 A1

Топливная композиция для водоохлаждаемых реакторов АЭС на тепловых нейтронах

Изобретение относится к области ядерных технологий, и в частности к топливу АЭС на тепловых нейтронах.

В настоящее время водоохлаждаемые реакторы АЭС, среди которых большинство составляют реакторы под давлением (PWR, ВВЭР), загружают топливной композицией из диоксида урана UO_2 , содержащей для реакторов под давлением 3,5 - 5% изотопа ^{235}U (30-50 кг/т U). Это необходимо для обеспечения среднего выгорания отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) 30-50 ГВт *сут/т ТМ (тяжелые металлы + продукты деления - ПД) в загрузке с тенденцией к его увеличению до 70 ГВт *сут/т ТМ. Такое высокое выгорание достигается путем рационального перемещения ОЯТ по зонам реактора, причем число таких ежегодных или полугодовых перегрузок при кампании реактора 1 - 1,5 года растет с ростом выгорания.

В настоящее время ОЯТ ВВЭР -1000 с начальным обогащением 4,6% (46,0 кг/т) ^{235}U и выгоранием 47 ГВт *сут/т содержит 11,9 кг/т ^{235}U при наличии 6,2 кг/т ^{236}U , являющегося умеренным поглотителем нейтронов, а также 12,3 кг/т Рн, в том числе 8,4 кг/т суммы нечетных (делящихся) изотопов $^{239+24}\text{Pu}$. За вычетом компенсации четных изотопов, энергетический потенциал делящихся изотопов составляет для ОЯТ ВВЭР и PWR-1300 ~30 - 35% от исходного, что принципиально позволяет использовать такие материалы повторно после переработки ОЯТ АЭС. Однако для этого существуют различного рода ограничения как по конструкции реакторов, так и по биологической защите при изготовлении регенерированного топлива для реакторов. При этом в реакторах РБМК -1000 и ВВЭР -1000 частично используется уран, регенерированный из ОЯТ от транспортных и исследовательских реакторов, имеющего предварительное повышенное обогащение; имеется информация об изготовлении опытной партии топлива для реактора РБМК из обогащенного урана, регенерированного из ОЯТ ВВЭР (PWR). Смешанное уран-плутониевое регенерированное топливо в реакторах под давлением частично используется только во Франции, причем уран и плутоний разделяются при переработке ОЯТ.

Плутоний указанного или близкого к нему изотопного состава с содержанием в топливной композиции с содержанием 60 - 90 кг/т используется в виде смешанного с обедненным ураном (1,5 - 2,5 кг/т ^{235}U) оксидного топлива (МОКС), которым загружают 30% зоны устаревших реакторов PWR-900, что составляет 40% энергетических мощностей АЭС Франции, то есть с использованием регенерированного плутония производится ~ 12% электроэнергии от генерируемой на АЭС. Для этого на заводе UP-2 во Франции перерабатывается все количество ОЯТ реакторов PWR-900 и PWR-1300. Выделенный регенерированный

уран обогащается в экспериментальном порядке с загрузкой активной зоны (АЗ) двух реакторов (3% мощностей) с перспективой увеличения до 20 - 25% мощностей в течение 5 лет за счет накопленного регенерата прежних лет. ОЯТ из регенерированных материалов серийно не перерабатывается.

Расчеты, доказывающие возможность лишь частичной загрузки МОКС-топливом АЗ реакторов ВВЭР-1000, дают аналогичную картину, вследствие чего это решение пока не нашло применения на российских АЭС.

Серьезным дополнительным осложнением в реализации программы использования регенерированных материалов является необходимость производства топлива из них в защитном оборудовании (включая обогащение регенерированного урана) вследствие высокой токсичности плутония и достаточно сильного гамма-излучения дочерних актинидов как побочных продуктов ядерных реакций.

Для преодоления отмеченного выше недостатка нами была предложена топливная композиция типа РЕМИКС-Б, позволяющая полностью и одновременно утилизировать регенерированные уран и плутоний, выделенные из ОЯТ при 100%-ной загрузке зоны реактора (Патент RU № 2 537 013, 20.06.2014, Бюл. № 17). Достигается это тем, что в топливную оксидную композицию на основе регенерированного плутония вводят обогащенный регенерированный уран или его смесь с обогащенным природным ураном, при соотношении компонентов, определяемом энергетическим потенциалом, равным потенциалу свежеприготовленного топлива АЭС из обогащенного природного урана, обеспечивающим 100% загрузку активной зоны реактора. Топливная композиция может состоять из смеси регенерированных плутония и урана, содержащей 5,25% Pu и обогащенный уран состава 3,45% ^{235}U , 2,23% ^{236}U и $1,3 \cdot 10^{-6}\%$ ^{232}U (остальное ^{238}U), по балансу регенерированный из ОЯТ ВВЭР, к которым для точной корректировки энергетического потенциала добавлен в небольшом количестве обогащенный уран, в частности регенерированный уран с обогащением 17% ^{235}U , выделенный при переработке высокообогащенного ОЯТ транспортных или исследовательских реакторов. Топливо используется один раз без циклирования. Благодаря такому составу таким топливом занято ~ 20% от общего числа реакторных установок в ЯТЦ, а остальные 80% работают на обогащенном природном уране и генерируют ОЯТ, который используется для изготовления топлива РЕМИКС-Б. Этот способ мы принимаем за прототип.

Под понятием «равный энергетический потенциал» подразумевается количество энергии (выгорание, ГВт*сут/т ТМ), которое может произвести ядерное топливо в реакторе определенного типа до потери реактивности (способности к поддержанию цепной реакции) при загрузке всей зоны реактора или ее определенной части, что определяется балансом

нейтронов и их характеристикой”. Это обеспечивается определенным содержанием делящихся нуклидов (нечетных изотопов урана и плутония) с компенсацией ими содержащихся четных изотопов этих элементов, поглощающих нейтроны. Поэтому топливо из регенерированных материалов является формально более обогащенным по делящимся изотопам, чем исходное топливо АЭС из природного обогащенного урана. Ядерное топливо из обогащенного природного урана зачастую содержит присадки того или иного количества модератора, то есть поглотителя избыточных нейтронов на старте кампании; таковым в реакторе ВВЭР-1000 является гадолиний. В топливе из регенерированных материалов роль модераторов играют четные изотопы урана и плутония. При необходимости тонкая регулировка состава композиции достигается введением в нее меньшего количества обогащенного природного урана.

При этом следует отметить, что классическое МОКС-топливо не является эквивалентным топливом из природного обогащенного урана, так как эксплуатируется по специальной схеме при повышенном содержании плутония, обеспечивающим равное конечное выгорание. Кроме того, таким топливом можно загрузить только 30-40% зоны реакторов второго поколения с избытком реактивности (упомянутые выше PWR-900 во Франции).

Расчеты эквивалентных составов топлива в привязке к определенным зонам реакторов осуществляют с применением стандартных кодов МАГАТЭ (например, LAUR=03, 1987. MCNP - A General Monte Carlo Code, Version 5).

Недостатки смешанного топлива РЕМИКС-Б по прототипу во многом обусловлены дозиметрическими характеристиками процесса производства его компонентов из регенерированного урана, а также самого топлива, связанными с накоплением дочерних нуклидов урана-232, генерируемого в реакторе ВВЭР (PWR) при облучении урана-235 и потому содержащегося в топливе. Лимитирующим фактором оказывается накопление и распад дочернего тория-228 с цепочкой короткоживущих гамма-излучающих продуктов альфа-распада. При имеющей место в этом случае концентрации урана-232 на уровне 12 - 15 ррб время ручной работы с материалом в перчаточном оборудовании без тяжелой защиты лимитируется сроком около 10 суток, то есть после каждой транспортировки по железной дороге спецэшелонами требуется полная перереочистка такого уранового продукта. Поэтому изготовление топлива из такого материала лучше всего организовать по максимально простой технологии по месту изотопного обогащения урана без транспортировки на завод, где в защитном оборудовании изготавливается плутонийсодержащее топливо, равно как и без транспортировки на обогатительный завод очищенного диоксида энергетического плутония, нежелательной в плане требований безопасности. При этом остается востребованным изготовление смешанного топлива для 100%-ной загрузки зоны реактора ВВЭР (PWR).

Другим недостатком композиции РЕМИКС¹ -Б является невозможность повысить концентрацию плутония в ней выше ~5 - 5,5% вследствие нарушения баланса с регенерированным ураном, образующийся избыток которого приводит к появлению второй композиции, подлежащей утилизации в реакторе в качестве топлива.

Следует отметить, что указанные недостатки могут быть частично преодолены путем развития более ранних подходов к данной задаче путем увеличения подпитки композиции с высоким содержанием плутония повышенным количеством ²³⁵U при снижении содержания регенерированного урана, если рассматривать эту подпитку вне привязки к конкретному ЯТЦ с реакторами на тепловых нейтронах (Павловичев А.М., Павлов В.И., Семченков Ю.М., Федоров Ю.С., Бибичев Б.А., Зильберман Б.Я. Нейтронно-физические характеристики активной зоны реактора ВВЭР-1000 со 100%-ной загрузкой топливом из смеси регенерированного урана, плутония и обогащенного урана. Атомная энергия, 2008, т. 104, № 4, с. 196-198; Youinou G., Delpech M., Guillet J.L., Puil A., Aniel S. Plutonium Management and Multirecycling in LWRs Using an Enriched Uranium Support. Proc. Int. Conf. Global'99, (USA, 1999)). Такого рода композиция, предложенная французскими специалистами для обеспечения хотя бы неполной (по нашим расчетам) загрузки АЗ PWR-1300 реактора смешанным топливом, была названа ими МИКС-топливом (MEX fuel). Эти работы были приняты нами в качестве аналогов. Следует отметить, что в этих аналогах не решается задача ограничения вредного влияния урана-232, поскольку в таком топливе присутствует регенерированный уран, а концентрация четных изотопов урана растет по мере циклирования этих видов топлива.

Задачей заявленного изобретения является разработка топливной композиции под условным названием МИКС-Б, позволяющей параллельно утилизировать регенерированные плутоний и уран, выделенные из ОЯТ без указанных осложнений. При этом оно должно совмещать в себе положительные стороны как прототипа, так и аналогов. Следует подчеркнуть также, что предметом данного изобретения является ранее не применявшееся сочетание ингредиентов топливной композиции, поскольку ее точный состав зависит от типа и режима работы реактора, в который она загружается, причем он несколько корректируется в результате обязательных реакторных испытаний и приобретенного опыта эксплуатации¹, что позволяет внести некоторые уточнения в рабочие расчетные коды, имеющиеся на каждой фирме, производящей ядерное топливо.

Технический результат достигается использованием топливной композиции для водоохлаждаемых реакторов АЭС на тепловых нейтронах, включающей смесь оксидов плутония, регенерированного при переработке уранового отработанного ядерного топлива таких реакторов, и обогащенного урана, отличающейся тем, что при обеспечении 100%-ной

загрузки активной зоны реактора она содержит обогащенный природный уран при соотношении с регенерированным плутонием, обеспечивающем равный энергетический потенциал со свежеприготовленным топливом из обогащенного природного урана, тогда как обогащенный регенерированный уран входит в применяемую на АЭС композицию, не содержащую плутония и также обеспечивающую равный энергетический потенциал со свежеприготовленным топливом из обогащенного природного урана, при неограниченном перекрестном циклировании обоих регенерированных материалов в указанных композициях.

Топливная композиция для водоохлаждаемых реакторов АЭС, в которой регенерированный уран, выделенный из облученной заявляемой композиции после кампании в реакторе, входит в состав общей композиции из регенерированного урана, тогда как плутоний, выделенный из облученной композиции из регенерированного урана, входит в состав заявляемой композиции.

Для реактора ВВЭР -1000/1200 при стандартном выгорании ОЯТ 47 ГВт *сут/т и кампании 504 сут. между перегрузками ОЯТ композиция смешанного топлива содержит регенерированный плутоний от 5 до 12% при содержании обогащенного урана от 3.5 до 2% ^{235}U только природного происхождения и при обеспечении равного энергетического потенциала со свежим топливом из природного урана с обогащением 4,6% ^{235}U или иным содержанием ^{235}U , принятым в топливном цикле реакторов ВВЭР -1000/1200.

Топливная композиция для водоохлаждаемых реакторов АЭС, которая содержит часть природного урана без обогащения, а обогащенный уран в виде готовой композиции для топлива АЭС, а также плутоний, регенерированный в разное время, в том числе из ОЯТ реакторов разных типов и/или партий, смешанные по расчету с природным и природным обогащенным ураном в любом сочетании для достижения требуемого энергетического потенциала.

Заявляемая композиция при ее оптимальном составе предназначена для загрузки в реактор с повышенным числом СУЗ с продленной кампанией и последующим захоронением без переработки. Ее использование не связано по времени с использованием композиции, содержащей обогащенный регенерированный уран.

Такая топливная композиция для водоохлаждаемых реакторов АЭС содержит не менее 5% регенерированного плутония и уран природного происхождения с обогащением от 3 до 1,3% ^{235}U при соотношении компонентов, определяемом энергетическим потенциалом, равным потенциалу свежеприготовленного топлива АЭС из обогащенного природного урана, при условии 100% загрузки таким топливом активной зоны реактора на тепловых нейтронах типа ВВЭР (PWR). При переработке регенерированный уран из ОЯТ выводится в отдельную цепочку, в которой происходит его обогащение до стандартных значений, ис-

пользуемых в реакторах типа ВВЭР с компенсацией ^{236}U , причем такое топливо используется однократно, а плутоний из любого уранового ОЯТ, в том числе вторичный регенерированный плутоний, получаемый из отработавшего регенерированного урана, является основой для изготовления топлива МИКС -Б, для чего он смешивается с обогащенным природным ураном и используется без циклирования или с одним рециклом, если последнее выгодно в плане использования остаточного энергетического потенциала.

Облучение предлагаемой топливной композиции целесообразно вести в режиме максимального выгорания в специально выделенных для этого серийных реакторах при повышенном числе перегрузок, с тем, чтобы уран из такого ОЯТ по количеству изотопа ^{235}U уже не представлял интереса в плане циклирования в ЗЯТЦ в ближнесрочной перспективе.

Регенерированный уран обогащают и превращают в оксидное топливо в отдельной цепочке с учетом компенсации ядерных свойств ^{236}U и его дозиметрических характеристик, обусловленных присутствием ^{232}U . Это в полной мере относится и к вторичному регенерированному урану, выделенному из отработавшего топлива МИКС -Б.

В свою очередь, вторичный регенерированный плутоний, выделенный из ОЯТ на основе обогащенного регенерированного урана, входит без ограничений в состав композиции МИКС -Б.

Главное преимущество данной смешанной топливной композиции состоит в том, она проще по составу и по логистике, поскольку не связана с соблюдением баланса по использованию обогащенного регенерированного урана и в отсутствие ограничений по срокам обращения с обогащенным регенерированным ураном, использование которого в России освоено в производственном масштабе и может быть реализовано в России в полном объеме раньше, чем РЕМИКС -Б. В сбалансированном ЗЯТЦ реакторов с плутонием оказывается даже меньше, чем по прототипу, но позволяет произвольно увеличить их число для выравнивания сроков освоения с регенерированным ураном. Это перекрывает недостатки, вызванные увеличением числа реакторов с загрузкой топлива в защитном варианте по сравнению с прототипом.

Второе преимущество, заключается в упрощенной схеме переработки и изготовлении топливной композиции за счет разделения потоков с регенерированным ураном и плутонием на отдельные цепочки.

Количество такого ОЯТ реакторов PWR (ВВЭР) сокращается в 3-7 раз по сравнению с первичным ОЯТ в зависимости от его выгорания. При этом при высоком содержании плутония в смешанном топливе баланс ЯТЦ позволяет вовлекать в него дополнительное количество плутония, взятого со склада.

при повышенном числе СУЗ в реакторе (ВВЭР -1200 или ЕРR-1600) количество такого плутонийсодержащего регенерированного топлива сокращается в 7,5 - 8 раз, и оно облучается в выделенном для этого реакторе в кампании с повышенным выгоранием, что при избытке накопленного плутония на складе делает его переработку нецелесообразной.

Сказанное выше можно пояснить примерами.

Пример 1

Топливная композиция МИКС -Б состоит из диоксида регенерированного плутония, выделенных из ОЯТ ВВЭР -1000 в количестве 3,87 т ТМ (исходного количества суммы актинидов в загрузке) с выгоранием 47 ГВт *сут./т ТМ и выдержкой 5 лет, содержит 5,0% масс. Рц (3,4% $^{239+241}\text{Pu}$) в смеси с обогащенным природным ураном, содержащим 2,9% ^{235}U (остальное ^{238}U). Композиция (1 т ТМ) имеет равный энергетический потенциал со стандартным свежим топливом, содержащим 4,6% ^{235}U , и пригодна для загрузки 100% зоны реактора ВВЭР -1000, работающего с кампанией 504 эффективных суток (1,5 года) при двух перегрузках (суммарно 5 лет на одну ТВС).

Одновременно из такого количества ОЯТ выделяют 3,82 т ТМ регенерированного урана, имеющего состав 1,27% ^{235}U , а также 0,65% ^{236}U и 3 ppb ^{232}U (остальное ^{238}U). Из такого него производят 0,83 т ТМ регенерированного уранового топлива.

Отработавшее топливо МИКС -Б содержит 4,1% масс. Рц (2,4% $^{239+241}\text{Pu}$) в смеси с ураном, содержащим 1,4% ^{235}U , а также 0,33% ^{236}U и 3 ppb ^{232}U (остальное ^{238}U). После переработки регенерированный уран направляется на обогащение совместно с ураном из штатного ОЯТ ВВЭР -1000 в отдельной цепочке и дает в ходе последующего производства еще 0,25 т ТМ эквивалентного топлива из регенерированного урана. Регенерированный плутоний из такого отработавшего топлива возвращается на производство МИКС -топлива. Всего производится 1,08 т ТМ топлива из регенерированного урана.

Из вторичного регенерированного плутония производят 0,39 т ТМ вторичного смешанного топлива МИКС -Б2, содержащего 100 кг Рц/т ТМ в смеси с природным ураном, обогащенным до 3,0% ^{235}U . Регенерированный уран из него также направляют в цепочку обогащения регенерированного урана с дополнительным производством 0,12 т топлива.

Выделенный плутоний по сочетанию изотопов еще обладает небольшим энергетическим потенциалом (1 кг эквивалента по ^{235}U на 5 кг Рц), однако его использование для реакторов ВВЭР становится невыгодным, и он и направляется на хранение, и далее поступает на производство стартового топлива для реакторов на быстрых нейтронах.

Вторичный регенерированный уран с двукратным преобладанием ^{236}U над остаточным ^{235}U направляется на захоронение.

Такое рециклирование может происходить в стационарном стоянии сколь угодно долго без нарушения соотношения загрузки реакторов разными видами топлива.

Таким образом, топливом с регенерированным плутонием можно загрузить 36% от всего числа реакторов на тепловых нейтронах, а топливом из обогащенного регенерированного урана ~ 34% общего числа реакторов ВВЭР. Баланс ЯТЦ наступает, когда 53% общего числа реакторов ВВЭР загружены свежим урановым топливом, а 47% - регенерированным, в том числе 25% реакторов плутонийсодержащим топливом типа МИКС -Б и МИКС -Б2 и 22% - топливом из регенерированного урана.

Пример 2

Топливная композиция МИКС -Б состоит из диоксида регенерированного плутония, выделенных из ОЯТ ВВЭР -1200 в количестве 7,0 т ТМ (исходного количества суммы актинидов в загрузке) с выгоранием 47 ГВт *сут./т ТМ и выдержкой 5 лет, содержит 9,0% масс. Ри (6,1% $^{239+241}\text{Ри}$) в смеси с обогащенным природным ураном, содержащим 1,36% ^{235}U (остальное ^{238}U). Композиция (1 т ТМ) имеет равный энергетический потенциал со стандартным свежим топливом, содержащим 4,6% ^{235}U , и пригодна для загрузки 100% зоны реактора ВВЭР -1200, работающего с кампанией 315 эффективных суток (1 год) при 5 перегрузках (суммарно 6 лет на одну ТВС) при выгорании 60 ГВт *сут./т ТМ. Таким топливом загружается 14% общего числа реакторов ВВЭР, что не превышает общего числа реакторов ВВЭР -1200 в общем числе парка реакторов типа ВВЭР. Повышение содержания энергетического плутония в топливе МИКС -Б достигнуто благодаря удвоенному числу СУЗ в реакторе ВВЭР -1200 по сравнению с реактором ВВЭР -1000.

Одновременно из такого количества ОЯТ выделяют 6,9 т ТМ регенерированного урана, имеющего состав 1,27% ^{235}U , а также 0,66% ^{236}U и 3 ppb ^{232}U (остальное ^{238}U). Из такого него производят 1,5 т ТМ регенерированного уранового топлива, загружаемого в 20% от общего числа реакторов ВВЭР (предпочтительно ВВЭР -1000).

Отработавшее топливо содержит 6,4% масс. Ри (3,6% $^{239+241}\text{Ри}$) в смеси с ураном, содержащим 0,68% ^{235}U , а также 0,18% ^{236}U и 4 ppb ^{232}U (остальное ^{238}U). Энергетически потенциал выделенного плутония эквивалентен 10,4 кг ^{235}U , то есть 1 кг ^{235}U на 6 кг Ри, что, как и в Примере 1, делает его дальнейшее циклирование экономически нецелесообразным, вследствие чего он выводится из цикла и используется как в Примере 1.

После переработки вторичный регенерированный уран может быть направлен на обогащение в отдельной цепочке, что дает в ходе последующего производства 0,1 т ТМ эквивалентного топлива, однако это может быть также признано экономически нецелесообразным, и тогда он вместо обогащения подлежит захоронению.

Таким образом, при избытке плутония на складе все вторичное ОЯТ может быть направлено на длительное хранение и последующее захоронение без переработки, а вместо него в ЯТЦ может быть вовлечен избыточный плутоний от прежних лет деятельности, взятый со склада ядерных материалов.

1. Топливная композиция для водоохлаждаемых реакторов АЭС на тепловых нейтронах, включающая смесь оксидов плутония, регенерированного при переработке уранового отработанного ядерного топлива таких реакторов, и обогащенного урана, отличающаяся тем, что при обеспечении 100%-ной загрузки активной зоны реактора она содержит обогащенный природный уран при соотношении с регенерированным плутонием, обеспечивающем равный энергетический потенциал со свежеприготовленным топливом из обогащенного природного урана, тогда как обогащенный регенерированный уран входит в применяемую на АЭС композицию, не содержащую плутония и также обеспечивающую равный энергетический потенциал со свежеприготовленным топливом из обогащенного природного урана, при неограниченном перекрестном циклировании обоих регенерированных материалов в указанных композициях.
2. Композиция по п. 1, отличающаяся тем, что вторичный регенерированный уран, выделенный из облученной заявляемой композиции после кампании в реакторе, входит в состав общей композиции из регенерированного урана, тогда как вторичный регенерированный плутоний, выделенный из облученной композиции из регенерированного урана входит в состав заявляемой композиции.
3. Композиция по п. 1 и 2, отличающаяся тем, что для реактора ВВЭР -1000/1200 при стандартном выгорании ОЯТ 47 ГВт *сут/т и кампании 504 сут. между перегрузками ОЯТ она содержит регенерированный плутоний от 5 до 12% при содержании обогащенного урана от 3.5 до 2% ^{235}U только природного происхождения и при обеспечении равного энергетического потенциала со свежим топливом из природного урана с обогащением 4,6% ^{235}U или иным содержанием ^{235}U , принятым в топливном цикле реакторов ВВЭР -1000/1200.
4. Композиция по п. 1 и 3, отличающаяся тем, что она содержит часть природного урана без обогащения.
5. Композиция по п. 1, 3 и 4, отличающаяся тем, что смесь регенерированного плутония и обогащенного природного урана содержит последний в виде готовой композиции для топлива АЭС ВВЭР -1000/1200.
6. Композиция по п. 1 и 5, отличающаяся тем, что она содержит плутоний, регенерированный в разное время, в том числе из ОЯТ реакторов разных типов и/или партий, и смешанные по расчету с природным и природным обогащенным ураном в любом сочетании для достижения требуемого энергетического потенциала.

7. Композиция по п. 1 и 5, при оптимальном составе она предназначена для загрузки в реактор с повышенным числом СУЗ с продленной кампанией и последующим захоронением без переработки.
8. Композиция по п. 1, отличающаяся тем, что ее использование не связано по времени с использованием композиции, содержащей обогащенный регенерированный уран.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 2017/000932A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G21C 3/58 (2006.01); G21C 19/42 (2006.01)

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 1/00, 1/04, 3/00, 3/02, 3/42, 3/58, 3/62, 3/64, 19/42-19/52, 21/00, C01G 43/00-43/12, 56/00, 99/00

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)

PatSearch (RUPTO internal), Esp@cenet, PAJ, USPTO, Information Retrieval System of FIPS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| D, A | RU 2537013 C2 (OTKRYTOE AKTSIONERNOE OBSHESTVO "RADIEVY INSTITUT IMENI V.G. KHLOPINA") 27.12.2014, the abstract | 1-3, 8 |
| A | RU 2249267 C2 (GOSUDARSTVENNOE UNITARNOE PREDPRIYATIE NAUCHNO-PROIZVODSTVENNOE OBEDINENIE "RADIEVY INSTITUT IM. KHLOPINA") 27.03.2005 | 1-3, 8 |
| A | CN 103578588 A (CHINA NUCLEAR & POWER ENG CO LTD) 12.02.2014 | 1-3, 8 |
| A | WO 1997/006535 A1 (BRITISH NUCLEAR FUELS PLC et al.) 20.02.1997 | 1-3, 8 |

 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

18 July 2018 (18.07.2018)

Date of mailing of the international search report

02 August 2018 (02.08.2018)

Name and mailing address of the ISA/
RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/RU 2017/000932**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.: **4-7**
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2017/000932

| <p>A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ</p> <p style="text-align: center;">G21C 3/58 (2006.01) G21C 19/42 (2006.01)</p> <p>Согласно Международной патентной классификации МПК</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|--|----------------------|------|--|--------|---|--|--------|---|--|--------|---|---|--------|
| <p>B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА</p> <p>Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)</p> <p style="text-align: center;">G21C 1/00, 1/04, 3/00, 3/02, 3/42, 3/58, 3/62, 3/64, 19/42-19/52, 21/00, C01G 43/00-43/12, 56/00, 99/00</p> <p>Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки</p> <p>Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)</p> <p style="text-align: center;">PatSearch (RUPTO internal), Esp@cenet, PAJ, USPTO, Information Retrieval System of FIPS</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Категория*</th> <th>Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей</th> <th>Относится к пункту №</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D, A</td> <td>RU 2537013 C2 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.Г. ХЛОПИНА") 27.12.2014, реферат</td> <td>1-3, 8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2249267 C2 (ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. ХЛОПИНА") 27.03.2005</td> <td>1-3, 8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103578588 A (CHINA NUCLEAR & POWER ENG CO LTD) 12.02.2014</td> <td>1-3, 8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 1997/006535 A1 (BRITISH NUCLEAR FUELS PLC et al.) 20.02.1997</td> <td>1-3, 8</td> </tr> </tbody> </table> | | | Категория* | Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей | Относится к пункту № | D, A | RU 2537013 C2 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.Г. ХЛОПИНА") 27.12.2014, реферат | 1-3, 8 | A | RU 2249267 C2 (ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. ХЛОПИНА") 27.03.2005 | 1-3, 8 | A | CN 103578588 A (CHINA NUCLEAR & POWER ENG CO LTD) 12.02.2014 | 1-3, 8 | A | WO 1997/006535 A1 (BRITISH NUCLEAR FUELS PLC et al.) 20.02.1997 | 1-3, 8 |
| Категория* | Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей | Относится к пункту № | | | | | | | | | | | | | | | |
| D, A | RU 2537013 C2 (ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.Г. ХЛОПИНА") 27.12.2014, реферат | 1-3, 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | RU 2249267 C2 (ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. ХЛОПИНА") 27.03.2005 | 1-3, 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | CN 103578588 A (CHINA NUCLEAR & POWER ENG CO LTD) 12.02.2014 | 1-3, 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | WO 1997/006535 A1 (BRITISH NUCLEAR FUELS PLC et al.) 20.02.1997 | 1-3, 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p><input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы C. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>* Особые категории ссылочных документов:</p> <p>“А” документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным</p> <p>“Е” более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее</p> <p>“L” документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)</p> <p>“O” документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.</p> <p>“P” документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>“T” более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p> <p>“X” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности</p> <p>“Y” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</p> <p>“&” документ, являющийся патентом-аналогом</p> </td> </tr> </table> | | | <p>* Особые категории ссылочных документов:</p> <p>“А” документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным</p> <p>“Е” более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее</p> <p>“L” документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)</p> <p>“O” документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.</p> <p>“P” документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета</p> | <p>“T” более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p> <p>“X” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности</p> <p>“Y” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</p> <p>“&” документ, являющийся патентом-аналогом</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <p>* Особые категории ссылочных документов:</p> <p>“А” документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным</p> <p>“Е” более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее</p> <p>“L” документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)</p> <p>“O” документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.</p> <p>“P” документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета</p> | <p>“T” более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p> <p>“X” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности</p> <p>“Y” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</p> <p>“&” документ, являющийся патентом-аналогом</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Дата действительного завершения международного поиска</p> <p style="text-align: center;">18 июля 2018 (18.07.2018)</p> | | <p>Дата отправки настоящего отчета о международном поиске</p> <p style="text-align: center;">02 августа 2018 (02.08.2018)</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37</p> | | <p>Уполномоченное лицо:</p> <p style="text-align: center;">А. Кружалова</p> <p>Телефон № (495)531-64-81</p> | | | | | | | | | | | | | | | |

**Графа II Замечания для случая, когда некоторые пункты формулы не подлежат поиску
(Продолжение пункта 2 первого листа)**

Настоящий отчет о международном поиске не был подготовлен в отношении некоторых пунктов формулы в соответствии со статьей 17(2)(a) по следующим причинам:

1. пункты №:
т.к. они относятся к объектам, по которым данный Международный поисковый орган не обязан проводить поиск, а именно:

2. пункты №:
т.к. они относятся к частям международной заявки, настолько не соответствующим установленным требованиям, что по ним нельзя провести полноценный международный поиск, а именно:

3. пункты №: **4-7**
т.к. они являются зависимыми пунктами и не составлены в соответствии со вторым и третьим предложениями Правила 6.4(a).

**Графа III Замечания для случая несоблюдения единства изобретения
(Продолжение пункта 3 первого листа)**

Настоящий Международный поисковый орган обнаружил несколько групп изобретений в данной международной заявке, а именно:

1. Т.к. все необходимые дополнительные пошлины были уплачены своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает все пункты формулы изобретения, по которым можно провести поиск.
2. Т.к. все пункты формулы, по которым можно провести поиск, могут быть рассмотрены без затрат, оправдывающих дополнительную пошлину, Международный поисковый орган не требовал оплаты дополнительной пошлины.
3. Т.к. только некоторые из требуемых дополнительных пошлин были уплачены заявителем своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает лишь те пункты формулы, за которые была произведена оплата, а именно пункты №:
4. Необходимые дополнительные пошлины своевременно не были уплачены заявителем. Следовательно, настоящий отчет о международном поиске ограничивается группой изобретений, упомянутой первой в формуле изобретения; а именно пунктами №:

- Замечания по возражению**
- Уплата дополнительных пошлин за поиск сопровождалась возражением заявителя и, если применимо, уплатой пошлины за возражение.
 - Уплата дополнительных пошлин за поиск сопровождалась возражением заявителя, но соответствующие пошлины за возражение не были уплачены в течение срока, указанного в предложении.
 - Уплата дополнительных пошлин за поиск не сопровождалась возражением заявителя.