

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

(19) Всемирная Организация  
Интеллектуальной Собственности  
Международное бюро



(10) Номер международной публикации  
**WO 2021/221533 A1**

(43) Дата международной публикации  
04 ноября 2021 (04.11.2021)

(51) Международная патентная классификация:  
G21C 3/62 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2020/000579

(22) Дата международной подачи:  
02 ноября 2020 (02.11.2020)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:  
2020116142 27 апреля 2020 (27.04.2020) RU

(71) Заявитель: АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТВЭЛ"  
(JOINT-STOCK COMPANY "TVEL") [RU/RU]; Ка-  
ширское шоссе, 49 Москва, 115409, Moscow (RU).

(72) Изобретатели: **НОВИКОВ, Владимир Владимиро-  
вич (NOVIKOV, Vladimir Vladimirovich)**; ул. Твар-  
довского, 12, к. 3, кв. 614 Москва, 123458, Moscow  
(RU). **МИХЕЕВ, Евгений Николаевич (MIKHEEV,  
Evgeniy Nikolaevich)**; ул. Космонавта Волкова, 7,  
кв. 78 Москва, 127299, Moscow (RU). **КУЗНЕ-  
ЦОВ, Владимир Иванович (KUZNETSOV, Vladimir  
Ivanovich)**; ул. Живописная, 36, к. 1, кв. 39 Москва,  
123098, Moscow (RU). **ЛЫСИКОВ, Александр Вла-  
димирович (LYSIKOV, Aleksandr Vladimirovich)**;  
ул. Покровская, 12, кв. 116 Москва, 111674,  
Moscow (RU). **САМОХВАЛОВ, Анатолий Николае-**

**вич (SAMOKHVALOV, Anatolii Nikolaevich)**; ул. Пар-  
шина, 23, кв. 92 Москва, 123103, Moscow (RU). **ЯРО-  
ПОЛОВ, Юрий Леонидович (JAROPOLOV, Iurii  
Leonidovich)**; ул. Новошукшинская, 18, к. 1, кв. 78  
Москва, 123182, Moscow (RU). **СЕРГИЕНКО, Иван  
Романович (SERGIENKO, Ivan Romanovich)**; ул. Ма-  
яковского, 1/2, кв. 4 Тульская обл., г. Новомосковск,  
301664, Tula region, g. Novomoskovsk (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, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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,

(54) Title: NUCLEAR FUEL PELLETT

(54) Название изобретения: ТАБЛЕТКА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

(57) Abstract: The invention relates to a design for pelletized fuel for light-water reactor fuel cells. A pellet is configured in the shape of a cylinder having outer beveled edges and a central aperture running along the longitudinal axis, wherein an outer beveled edge lies at an angle of 20-30° to the plane of the surface of an end face, and the ratio of the width of a beveled edge to the diameter of the pellet is from 0.02 to 0.15. The size of isolated defects in the external appearance of the pellet is not more than 1.3% of the area of the external surface of the pellet for defects in an end surface, not more than 1.0% for defects in the lateral cylindrical surface, and not more than 0.7% for defects adjacent the outer limit of a beveled edge. The average uranium dioxide grain size is from 6 to 35 μm. The pellet can additionally contain from 0.002 to 0.020 mass% aluminium and from 0.001 to 0.010 mass% silicon, in the form of oxides distributed uniformly throughout the entire volume of the pellet. The technical result is that of reducing the tensile hoop stresses on fuel element cladding by reducing the size of isolated defects in the external appearance of the pellet, as well as reducing the emission of gaseous fission products by including additives that increase grain size.

(57) Реферат: Изобретение относится к конструкции таблетированного топлива для тепловыделяющих элементов легководных реакторов. Таблетка выполнена в форме цилиндра с наружными фасками и с центральным отверстием вдоль продольной оси, с наружной фаской под углом 20-30° к плоскости поверхности торцевой площадки, с отношением ширины фаски к диаметру таблетки от 0,02 до 0,15. Размер единичных дефектов внешнего вида таблетки не более 1,3% от площади наружной поверхности таблетки для дефектов торцевой поверхности, не более 1,0% соответственно для дефектов боковой цилиндрической поверхности и не более 0,7% для дефектов, примыкающих к наружной границе фаски. Средний размер зерен диоксида урана составляет от 6 до 35 мкм. Таблетка может дополнительно содержать алюминий - от 0,002 до 0,020 мас. % и кремний - от 0,001 до 0,010 мас. % в виде оксидов, распределенных равномерно по всему объему таблетки. Техническим результатом является снижение растягивающих окружных напряжений в оболочке твэлов за счет уменьшения размера единичных дефектов внешнего вида таблетки, а также снижения выхода газообразных продуктов деления за счет введения добавок, увеличивающих размер зерна.



WO 2021/221533 A1

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)

## Таблетка ядерного топлива

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Изобретение относится к области ядерной техники, а именно к конструкции  
5 таблетированного топлива для тепловыделяющих элементов легководных реакторов,  
например, реакторов ВВЭР и может быть использовано для твэлов реакторов,  
работающих в длительных топливных циклах, а также режимах маневрирования  
мощностью реактора.

В настоящее время происходит постоянное ужесточение требований к ядерному  
10 топливу современных атомных реакторов. В частности, такое топливо должно  
обеспечивать безопасную работу реактора в длительных топливных циклах, в режимах  
маневрирования мощностью реактора и сохранять работоспособность при эксплуатации  
при высоких уровнях выгорания.

## ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

15 Известна таблетка (RU 2 376 665, МПК G21C 3/62, опубл. 2009 г.), которая  
содержит оксиды алюминия и кремния, равномерно распределенные по всему объему  
таблетки, причем по отношению к урану содержание алюминия составляет от 0,005  
до 0,03 мас.%, кремния - от 0,003 до 0,02 мас.%, массовое отношение алюминия к  
кремнию составляет от 1,5 до 4, размер зерна диоксида урана изменяется в пределах  
20 от 20 до 45 мкм.

Недостатком известной таблетки является более высокая граница по величине  
размера зерна, что снижает прочностные характеристики топлива и увеличивает  
скалываемость таблеток.

Известна таблетка ядерного топлива (RU 2 193 242, МПК G21C 3/62, C01G 43/025,  
25 опубл. 2002 г.) из диоксида урана с добавками алюминия от 0,03 до 0,10 мас.% и  
кремния от 0,01 до 0,05 мас.% в виде оксидов, распределенных по границам зерен  
диоксида урана. В частных вариантах эта таблетка может содержать также добавки оксида  
железа, распределенные частично по границам зерен и частично в виде твердого раствора  
в диоксиде урана, а также добавки оксида ниобия, распределенные в виде твердого  
30 раствора в диоксиде урана. В частных случаях таблетка из диоксида урана может иметь  
размер зерна от 10 до 20 мкм или от 12 до 30 мкм. В частных вариантах таблетка может  
содержать добавку оксида гадолиния от 0,3 до 10,0 мас. % или оксида эрбия от 0,3 до  
0,8 мас. %.

Недостатком известной таблетки является высокое содержание легирующих

элементов, превышающее существующие требования, что повышает суммарный борный эквивалент (СБЭ) топлива, и низкий размер зерна, что снижает способность к удержанию газообразных продуктов деления (ГПД) и препятствует достижению высоких выгораний.

5 Известна таблетка (RU 2 339 094, МПК G21C 3/62, опубл. 2007 г.) ядерного уран-эрбиевого керамического топлива от 0,36 до 0,64 вес.% по эрбию совместно с добавкой из порошка оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с порошком одного из оксидов следующего ряда:  $TiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ , либо только одной добавкой минеральных алюмосиликатов: каолин, метакаолин, галлаузит, монтмориллонит,  
10 вермикулит.

Недостатком известной таблетки является высокое содержание легирующих элементов – до 0,10 вес.% каждого элемента, что превышает существующие требования и повышает СБЭ топлива. В одном из вариантов размер зерна таблетки достигает до 50 мкм, что снижает прочностные характеристики топлива и  
15 увеличивает скальваемость таблеток.

Известна таблетка (RU 2 268 507, МПК G21C 3/62, 21/00, опубл. 2005 г.) ядерного топлива из двуокиси урана или из двуокиси урана с добавлением окиси гадолиния в количестве 2,0-8,0 вес.% совместно с добавкой из порошка оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с порошком одного из оксидов следующего ряда:  $TiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,  
20  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $BeO$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$  в количестве, обеспечивающем содержание в таблетке алюминия и окислорообразующего элемента из указанного ряда в пределах 20-500 ppm каждого элемента по отношению к урану, при соотношении: 60-85% Al, остальное - окислорообразующий элемент из указанного ряда.

Недостатком известной таблетки является высокое содержание легирующих  
25 элементов, превышающее существующие требования, что повышает СБЭ топлива. В одном из вариантов размер зерна таблетки достигает до 100 мкм, что снижает прочностные характеристики топлива и увеличивает скальваемость таблеток.

Наиболее близким аналогом является известная таблетка (RU 1 669 308, МПК G21C3/28,3/16, опубл.1994 г.), в конструкции которой для улучшения качества за  
30 счет увеличения прочности торцов, а также уменьшения термических деформаций таблеток и их термомеханического взаимодействия с оболочкой, конусные с плоскими площадками выступы выполнены высотой  $h_v = (0,005 - 0,009)H$ , где H - высота таблетки, равная 0,25 - 2,0 ее диаметра, а конусные в виде полусфер или с плоскими площадками углубления выполнены высотой  $h_y = (1,1 - 2,5) (h_{н.ф.} + h_v)$ , где  
35  $h_{н.ф.}$  - высота наружной фаски.

Недостатком известной таблетки является снижение ураноемкости из-за наличия конусных выступов и углублений, увеличение окружных напряжений на внутренней поверхности оболочки твэла в местах контакта соседних таблеток топливного столба из-за увеличенной суммарной высоты фасок и выступов таблеток.

## 5 РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей заявляемого изобретения является обеспечение безопасной работы твэлов с топливными таблетками в режимах нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации и маневренных режимах работы реактора, а также повышение глубины выгорания топлива.

10 Технический результат заключается в снижении растягивающих окружных напряжений в оболочке твэлов за счет уменьшения размера единичных дефектов внешнего вида таблетки, а также снижении выхода газообразных продуктов деления за счет введения добавок, увеличивающих размер зерна.

15 Технический результат достигается за счет того, что таблетка ядерного топлива выполнена в форме цилиндра с наружными фасками и с центральным отверстием вдоль продольной оси, причем наружная фаска, соединяющая боковую цилиндрическую поверхность с торцевой площадкой, проходит под углом  $\alpha$  к плоскости поверхности торцевой площадки равным  $20 - 30^\circ$ , а отношение ширины фаски к диаметру таблетки составляет  $l_f/D = 0,02-0,15$ , при этом размер единичных  
20 дефектов внешнего вида таблетки не более 1,3 % от площади наружной поверхности таблетки для дефектов торцевой поверхности, не более 1,0 % от площади наружной поверхности таблетки для дефектов боковой цилиндрической поверхности и не более 0,7 % от площади наружной поверхности таблетки для дефектов, примыкающих к наружной границе фаски, причем средний размер зерен диоксида урана составляет от 6  
25 до 35 мкм.

В частном варианте выполнения таблетки ядерного топлива она содержит алюминий – от 0,002 до 0,020 мас. % и кремний – от 0,001 до 0,010 мас. % в виде оксидов, распределенных равномерно по всему объему таблетки.

30 В другом частном варианте выполнения таблетки ядерного топлива она содержит от 0,3 до 10,0 мас. % гадолиния, который в виде твердого раствора с диоксидом урана равномерно распределен по всему объему таблетки.

В другом частном варианте выполнения таблетки ядерного топлива она содержит от 0,3 до 2,5 мас. % эрбия, который в виде твердого раствора с диоксидом урана равномерно распределен по всему объему таблетки.

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На фиг. 1 представлен эскиз заявляемой таблетки ядерного топлива.

На фиг. 2 представлен эскиз характерных типов дефектов внешнего вида таблетки ядерного топлива.

5 На фиг. 3 приведена диаграмма максимальных окружных напряжений на внутренней стороне оболочки твэла в зависимости от площади дефекта (скола) топливной таблетки, примыкающего к наружной границе фаски.

Обеспечение безопасной работы твэлов с топливными таблетками в режимах нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации и маневренных режимах работы реактора достигается за счет снижения растягивающих окружных напряжений в оболочке твэлов, которое в свою очередь достигается за счет уменьшения размера единичных дефектов внешнего вида таблетки. Уменьшение размера дефектов, снижение повреждаемости таблеток в процессе производства и скальваемости при снаряжении и транспортных операциях достигается благодаря повышению прочности прессонок и таблеток вследствие уменьшения остаточных напряжений в прессоновках за счет оптимизации геометрических параметров таблеток, в частности наружных фасок, а также оптимизации содержания добавок алюминия, кремния в таблетках ядерного топлива и диапазона размеров зерна. Повышение глубины выгорания топлива обеспечивается снижением выхода газообразных продуктов деления за счет введения в таблетки ядерного топлива добавок, увеличивающих размер зерна.

Таблетка ядерного топлива (фиг. 1) выполнена в форме цилиндра 1 с центральным отверстием 2 вдоль продольной оси и наружными фасками 3, причем наружная фаска, соединяющая боковую цилиндрическую поверхность с торцевой площадкой, проходит под углом  $\alpha$  к плоскости поверхности торцевой площадки равным  $20 - 30^\circ$ , а отношение ширины фаски к диаметру таблетки составляет  $l_f/D = 0,02-0,15$ . Обеспечение безопасной эксплуатации усовершенствованного топлива ВВЭР достигается за счет повышения прочностных характеристик, уменьшения количества сколов и снижения образования крошки внутри твэла при снаряжении и транспортировке. Данный результат достигается за счет снижения остаточных напряжений в топливной таблетке, в особенности в областях вблизи наружных фасок, что способствует повышению прочности прессонок и спеченных таблеток и, соответственно, уменьшению повреждаемости таблеток в процессе их изготовления. Для снижения остаточных напряжений в топливной таблетке была разработана математическая модель прессования [Математическое моделирование процесса прессования порошка диоксида урана при изготовлении таблеток ядерного топлива О. А. Бахтеев, А. В. Лысиков, Е. Н. Михеев, А.

Н. Жиганов, А. Д. Истомин, А. А. Матолыгин, М. Д. Носков, А. А. Чеглоков // Вестник  
национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Изд.: МАИК  
"Наука/Интерпериодика" (Москва), 2014, т. 3, № 6, с. 618], с помощью которой  
5 выполнены многовариантные вычислительные модельные эксперименты на массиве  
экспериментальных данных прессования таблеток. Для минимизации компонент тензора  
остаточных напряжений проведена оптимизация геометрических параметров таблеток в  
современных производственных условиях изготовления, что позволило повысить  
прочность прессовок и таблеток и, как следствие, снизить количество и размеры  
образуемых дефектов в процессе производства топливных таблеток. Оптимальные  
10 геометрические параметры для уменьшения скальваемости таблеток ядерного топлива –  
угол наружной фаски равный  $20 - 30^\circ$  по отношению к плоскости поверхности  
торцевой площадки и отношение ширины фаски к диаметру таблетки равное  $l_f/D =$   
 $0,02-0,15$ .

В практике реакторных исследований и эксплуатации известны случаи отказа  
15 твэлов по причине разгерметизации оболочки, которая происходила в местах появления  
дефектов топливной таблетки, появляющихся в процессе изготовления таблеток,  
снаряжения твэлов, транспортных операциях или в процессе эксплуатации [Krupkin A.,  
Kuznetsov V., Nesterov B, Novikov V. Simulation of ramp tests on WWER-1000 fuel rod  
without a central hole in ANSYS software // In Proc.: 11 th International Conference on WWER  
20 Fuel Performance, Modeling and Experimental Support, Varna, Bulgaria, 2015. – p.p.416-421].  
Исследования напряженно-деформированного состояния оболочки методами численного  
моделирования в условиях скачка мощности и при наличии скола таблетки подтвердили  
возможность образования трещины в оболочке по механизму коррозионного  
растрескивания под напряжением. Проведены работы по определению величины прироста  
25 напряжений на внутренней поверхности оболочки твэла при различных геометрических  
параметрах дефекта топливной таблетки. Как видно из приведенной диаграммы (фиг. 3),  
критерий напряжений SC1 оболочки твэла для кратковременных режимов (величиной  
350 МПа) ограничивает допустимый размер единичного дефекта, примыкающего к  
наружной границе фаски таблетки ядерного топлива, величиной, соответствующей 0,7 %  
30 от общей площади поверхности таблетки. На основании этих данных установлены  
требования на максимально допустимую площадь единичных дефектов поверхности  
топливной таблетки, которая позволяет обосновать прочность оболочки твэла в  
переходных режимах эксплуатации реактора. Исходя из наличия статистической  
вероятности совмещения двух дефектов, примыкающих к наружной границе фаски, для  
35 двух соседних таблеток или на одной таблетке со стороны как торцевой так и боковой

поверхностей, максимальная площадь единичных дефектов для торцевой и боковой цилиндрической поверхности рассчитана как эквивалентная площадь двух совмещенных дефектов.

Повышение безопасности при эксплуатации в маневренных режимах, в режимах  
5 нормальной эксплуатации и нарушения нормальной эксплуатации достигается за счет того, что уменьшен допустимый размер единичных поверхностных дефектов внешнего вида (фиг. 2). По сравнению с действующими техническими требованиями, предъявляемыми к таблеткам для реакторов ВВЭР, площадь единичного дефекта 1 торцевой поверхности уменьшена с 1,7 % до 1,3 % от площади наружной  
10 поверхности таблетки. Площадь единичного дефекта 2 боковой цилиндрической поверхности уменьшена с 2,0 % до 1,0 % от площади наружной поверхности таблетки. Площадь единичного дефекта 3, примыкающего к наружной границе фаски, уменьшена с 1,7 % до 0,7 % от площади наружной поверхности таблетки.

Повышение уровня выгорания достигается, главным образом, за счет  
15 использования топлива с увеличенным размером зерна. Существующие требования предполагают средний размер зерна для «штатных» топливных таблеток из диоксида урана без микродобавок 10-25 мкм; для таблеток с микродобавками алюминия и кремния – не менее 25 мкм; для таблеток с добавкой оксида гадолиния – от 6 до 25 мкм. Для заявляемой таблетки в зависимости от используемых добавок оптимальный размер зерна  
20 составляет от 6 до 35 мкм. Снижение выхода ГПД обеспечивается за счет введения добавок алюминия и кремния, увеличивающих размер зерна до 25-35 мкм [A.V. Medvedev, J.K. Bibilashvili, O.V. Milovanov, S.M. Bogatyr Influencing and optimizing fuel pellet parameters for achievement of extended burnup // IAEA-TECDOC-1036 In Proc.: Technical Committee meeting, Tokyo, Japan, 1996. – p.p. 257-266.], благодаря чему ГПД  
25 удерживаются во внутризеренных порах и тем самым уменьшается выход ГПД в связанные поры, расположенные по границам зерен, и замедляет образование rim-структуры. Увеличение размера зерна больше 35 мкм, во-первых, приводит к снижению пластичности топлива и уменьшению скорости ползучести, которая обратно пропорциональна квадрату размера зерна, что в итоге повышает взаимодействие топлива с  
30 оболочкой. Во-вторых, увеличение размера зерна больше 35 мкм приводит к повышению скальваемости таблеток при снаряжении и транспортировании твэлов за счет повышения хрупкости вследствие изменения механизма распространения трещин с межкристаллитного на транскристаллитный [Вязкость разрушения топливных таблеток ВВЭР и PWR из диоксида урана с разным размером зерна. Новиков В.В., Сивов Р.Б.,



Михеев Е.Н., Федотов А.В. // Атомная энергия, 2015, т. 118, вып. 2, с. 91-96.] и изменения характера пористости.

Повышение безопасности при эксплуатации при повышенных уровнях выгорания достигается за счет того, что в частном варианте выполнения таблетки ядерного топлива она содержит алюминий – от 0,002 до 0,020 мас. % и кремний – от 0,001 до 0,010 мас. % в виде оксидов, распределенных равномерно по всему объему таблетки, а размер зерна диоксида урана составляет от 25 до 35 мкм. Этот диапазон размера зерна, с одной стороны, способствует эффективному уменьшению выхода ГПД, с другой стороны, лимитирует повышение скальваемости и позволяет минимизировать количество вводимых добавок для активации роста зерна при изготовлении таблеток. При этом в других частных вариантах выполнения таблетки ядерного топлива она содержит от 0,3 до 10,0 мас. % гадолиния или от 0,3 до 2,5 мас. % эрбия, которые в виде твердого раствора с диоксидом урана равномерно распределены по всему объему таблетки, а размер зерна составляет от 6 до 25 мкм.

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРИМЕНИМОСТЬ

Описываемая таблетка ядерного топлива изготавливается известным образом с помощью обычных средств на стандартном оборудовании. Топливо должно иметь определенный фазовый состав, средний размер зерна, и прочие стандартные параметры.

Технология изготовления таблеток ядерного топлива заключается в следующем. В смесителе, в частности, двух- или трехплоскостном гравитационного типа, готовится многокомпонентная смесь двуокиси урана ( $UO_2$ ), закиси-окиси урана ( $U_3O_8$ ), порообразователя, микродобавок кремния и алюминия в виде  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$  или  $Al(OH)_3$ . Далее смесь подвергается грануляции, после чего в гранулят через лигатуру вводится пластификатор и производится перемешивание в смесителе и рассев через сито. Далее осуществляется прессование таблеток, мягкая укладка таблеток в молибденовую лодочку и высокотемпературное спекание. После этого производится шлифование на бесцентровом шлифовальном станке и автоматическая укладка таблеток на паллеты.

При изготовлении таблеток с добавками гадолиния или эрбия этап подготовки гомогенизированной смеси порошков может дополнительно включать лигатурное смешивание компонентов с последующей обработкой в смесителе и/или вибромельнице.

Таким образом, разработана конструкция таблетки ядерного топлива, обеспечивающая безопасную работу твэлов в режимах нормальной эксплуатации,

нарушения нормальной эксплуатации и маневренных режимах работы реактора за счет уменьшения размера единичных дефектов внешнего вида таблетки и снижения растягивающих окружных напряжений в оболочке твэлов, а также повышение глубины выгорания топлива за счет введения добавок, увеличивающих размер зерна и снижения

5 выхода газообразных продуктов деления.

10

15

20

25

30

35

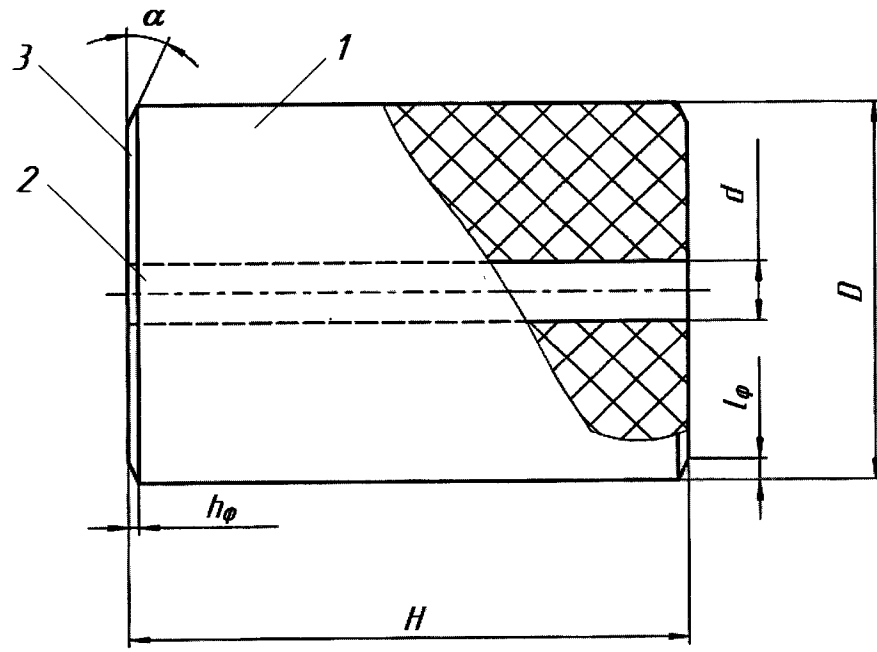
**Формула изобретения**

1. Таблетка ядерного топлива из диоксида урана для ядерных реакторов типа ВВЭР, выполненная в форме цилиндра с наружными фасками и с центральным отверстием вдоль продольной оси, отличающаяся тем, что наружная фаска, соединяющая боковую цилиндрическую поверхность с торцевой площадкой, проходит под углом  $\alpha$  к плоскости поверхности торцевой площадки равным 20 - 30°, а отношение ширины фаски к диаметру таблетки составляет  $l_f/D = 0,02-0,15$ , при этом размер единичных дефектов внешнего вида таблетки не более 1,3 % от площади наружной поверхности таблетки для дефектов торцевой поверхности, не более 1,0 % от площади наружной поверхности таблетки для дефектов боковой цилиндрической поверхности и не более 0,7 % от площади наружной поверхности таблетки для дефектов, примыкающих к наружной границе фаски, причем средний размер зерен диоксида урана составляет от 6 до 35 мкм.
2. Таблетка по п. 1, отличающаяся тем, что она содержит алюминий – от 0,002 до 0,020 мас. % и кремний – от 0,001 до 0,010 мас. % в виде оксидов, распределенных равномерно по всему объему таблетки.
3. Таблетка по п. 1, отличающаяся тем, что она содержит от 0,3 до 10,0 мас. % оксида гадолиния, который в виде твердого раствора с диоксидом урана равномерно распределен по всему объему таблетки.
4. Таблетка по п. 1, отличающаяся тем, что она содержит от 0,3 до 2,5 мас. % оксида эрбия, который в виде твердого раствора с диоксидом урана равномерно распределен по всему объему таблетки.

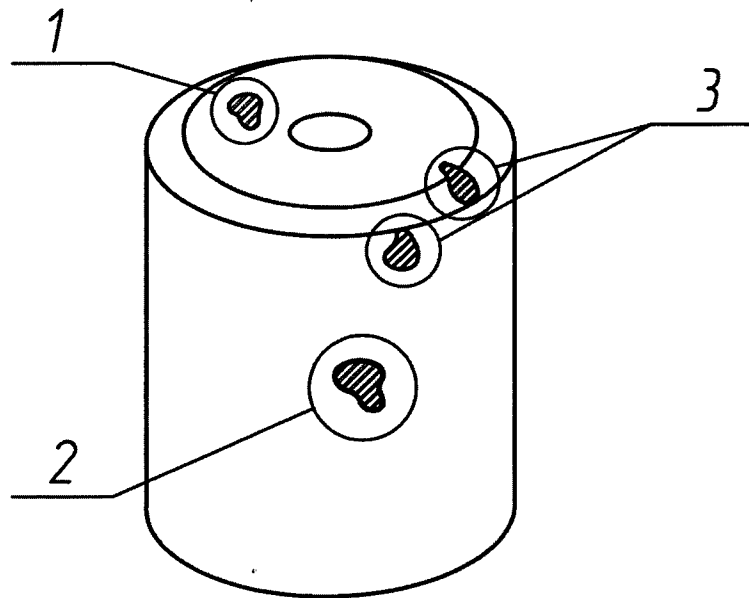
25

30

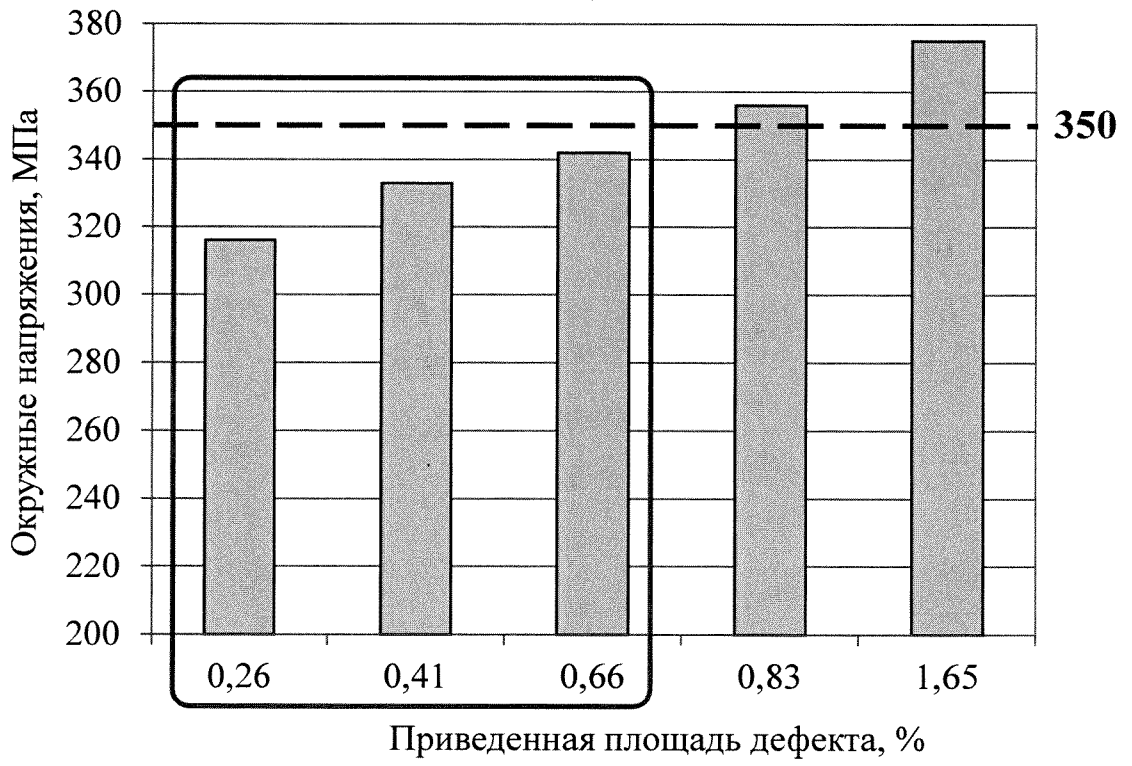
35



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/RU 2020/000579

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G21C3/62 (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 3/62, 3/00		
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), USPTO, PAJ, Esp@cenet, 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 1669308 C (PROIZVODSTVENNOE OBJEDINENIE "MASHINOSTROITELNY ZAVOD") 30.04.1994, the abstract	1-4
A	RU 2713619 C1 (AKTSIONERNOE OBSHESTVO "TVEL") 05.02.2020	1-4
A	EA 033850 B1 (FEDERALNOE GOSUDARSTVENNOE UNITARNOE PREDPRIYATIE "NAUCHNO-ISSLEDOVATELSKY INSTITUT NAUCHNO-PROIZVODSTVENNOE OBJEDINENIE "LUCH") 02.12.2019	1-4
A	KR 101622569 B1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE ) 19.05.2016	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 02 April 2021 (02.04.2021)		Date of mailing of the international search report 15 April 2021 (15.04.2021)
Name and mailing address of the ISA/ RU		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ**

Номер международной заявки

PCT/RU 2020/000579

<p><b>A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ</b>  <i>G21C 3/62 (2006.01)</i></p> <p>Согласно Международной патентной классификации МПК</p>																	
<p><b>B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА</b>                  Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)  <i>G21C 3/62, 3/00</i></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)                  PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, Information Retrieval System of FIPS</p>																	
<p><b>C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</b></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 1669308 C (ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД") 30.04.1994, реферат</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>RU 2713619 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТВЭЛ") 05.02.2020</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EA 033850 B1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ЛУЧ") 02.12.2019</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 101622569 B1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE ) 19.05.2016</td> <td>1-4</td> </tr> </tbody> </table>			Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №	D, A	RU 1669308 C (ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД") 30.04.1994, реферат	1-4	A	RU 2713619 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТВЭЛ") 05.02.2020	1-4	A	EA 033850 B1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ЛУЧ") 02.12.2019	1-4	A	KR 101622569 B1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE ) 19.05.2016	1-4
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №															
D, A	RU 1669308 C (ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД") 30.04.1994, реферат	1-4															
A	RU 2713619 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ТВЭЛ") 05.02.2020	1-4															
A	EA 033850 B1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ЛУЧ") 02.12.2019	1-4															
A	KR 101622569 B1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE ) 19.05.2016	1-4															
<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>* "А" "D" "E" "L" "O" "P"</td> <td>                     Особые категории ссылочных документов:                      документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным                      документ, цитируемый заявителем в международной заявке                      более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее                      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)                      документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.                      документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета                 </td> <td>                     "Т" "Х" "У" "&amp;"                 </td> <td>                     более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение                      документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности                      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                      документ, являющийся патентом-аналогом                 </td> </tr> </table>			* "А" "D" "E" "L" "O" "P"	Особые категории ссылочных документов: документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным документ, цитируемый заявителем в международной заявке более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее 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) документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	"Т" "Х" "У" "&"	более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности 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 документ, являющийся патентом-аналогом											
* "А" "D" "E" "L" "O" "P"	Особые категории ссылочных документов: документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным документ, цитируемый заявителем в международной заявке более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее 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) документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д. документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета	"Т" "Х" "У" "&"	более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности 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 документ, являющийся патентом-аналогом														
<p>Дата действительного завершения международного поиска                  02 апреля 2021 (02.04.2021)</p>		<p>Дата отправки настоящего отчета о международном поиске                  15 апреля 2021 (15.04.2021)</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:                  Иваненко Т.В.                  Телефон № (495) 531-64-81</p>															