



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014107229/07, 25.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.02.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.02.2014

(45) Опубликовано: 10.07.2015 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU2461084 C1, 10.09.2012 .
КУЛИКОВ Г.Г. и др. О физико-технических преимуществах применения радиогенного свинца для охлаждения ядерных реакторов. Научн. сессия МИФИ, Москва., 2009, т.1, с.45. КУЛИКОВ Г.Г. и др. О возможности использования радиогенного свинца в ядерной энергетике. Известия ВУЗОВ, Ядерная энергетика, Москва, 2010, N3. Куликов С.А. (см. прод.)

Адрес для переписки:

115409, Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ
МИФИ, Отдел управления интеллектуальной
собственностью Управления научными
исследованиями, Бейгул Г.В.

(72) Автор(ы):

Куликов Геннадий Генрихович (RU),
Шмелев Анатолий Николаевич (RU),
Апсэ Владимир Александрович (RU),
Куликов Евгений Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

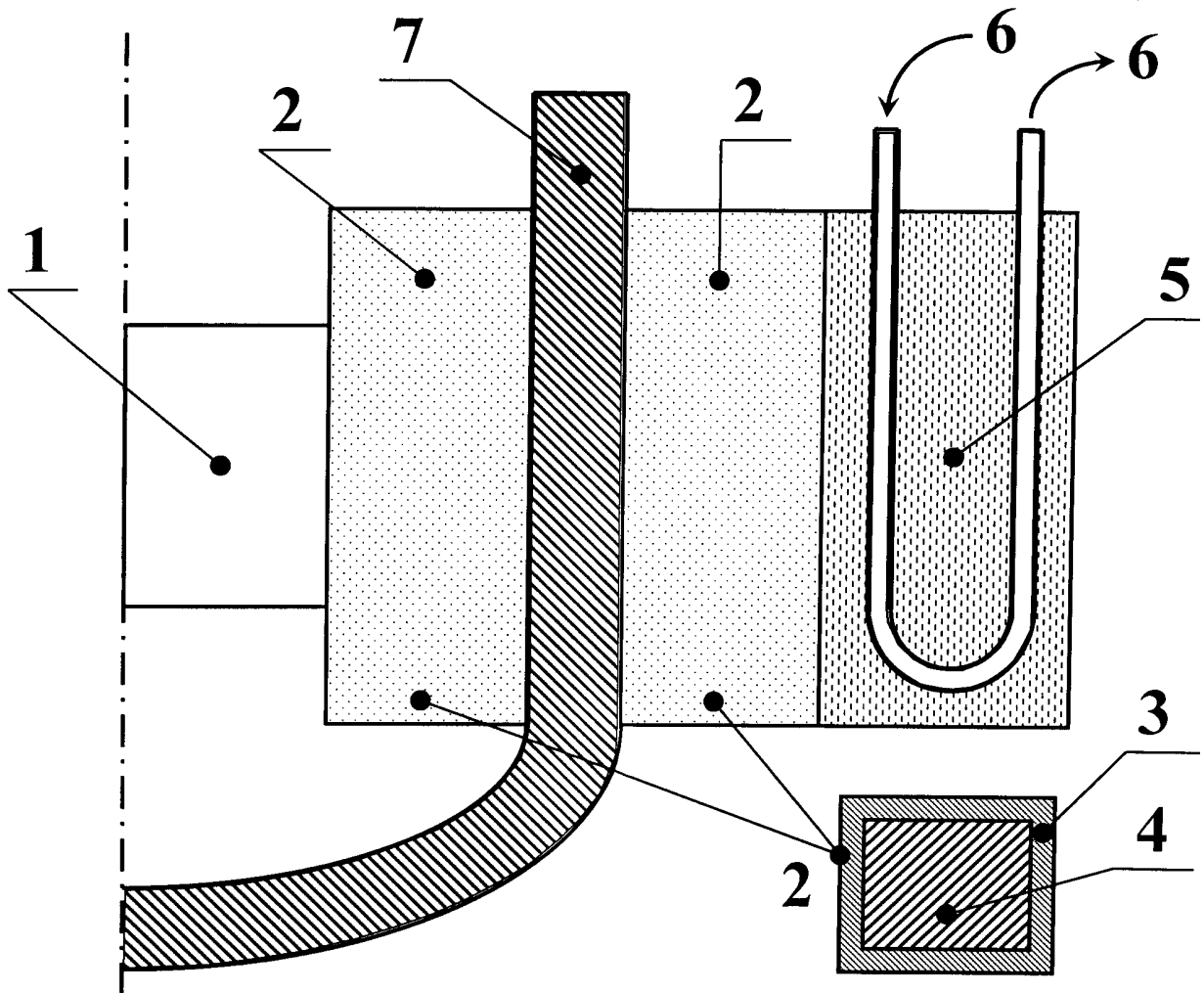
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Национальный исследовательский ядерный
университет МИФИ" (НИЯУ МИФИ) (RU)

(54) ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к ядерной технике, а именно к конструкции отражателей нейтронов быстрых ядерных реакторов. В ядерном реакторе активная зона окружена свинцовым отражателем нейтронов. В прилегающей части к активной зоне отражателя находится свинец, в котором более 90% изотопа ²⁰⁸Pb, а в периферийной части - материал-замедлитель нейтронов с малым атомным весом в аморфном состоянии при криогенной температуре. Технический результат - исключение разгона реактора при скачках реактивности, заметно превышающих по

величине долю запаздывающих нейтронов. При этом в одном частном случае корпус реактора выполняют из слабо поглощающего нейтроны поликристаллического материала, например, сплава Mo-Zr и встраивают в состав отражателя нейтронов. В другом частном случае между корпусом и периферийной частью отражателя с материалом-замедлителем нейтронов с малым атомным весом размещают поликристаллический материал с большим атомным весом, например, свинец с содержанием изотопа ²⁰⁸Pb более 90%. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

Оптимизация замедлителей нейтронов для высокопоточных источников. Реф. дисс. на соиск. " к.ф.-м.н., Дубна, 2006. US20040062340 A1, 01.04.2004

RU 2556036 C1

RU 2556036 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014107229/07, 25.02.2014

(24) Effective date for property rights:
25.02.2014

Priority:

(22) Date of filing: 25.02.2014

(45) Date of publication: 10.07.2015 Bull. № 19

Mail address:

115409, Moskva, Kashirskoe sh., 31, NIJaU MIFI,
Otdel upravlenija intellektual'noj sobstvennost'ju
Upravlenija nauchnymi issledovanijami, Bejgl
G.V.

(72) Inventor(s):

**Kulikov Gennadij Genrikhovich (RU),
Shmelev Anatolij Nikolaevich (RU),
Apeh Vladimir Aleksandrovich (RU),
Kulikov Evgenij Gennad'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj
issledovatel'skij jadernyj universitet MIFI"
(NIJaU MIFI) (RU)**

(54) **FAST-NEUTRON NUCLEAR REACTOR**

(57) Abstract:

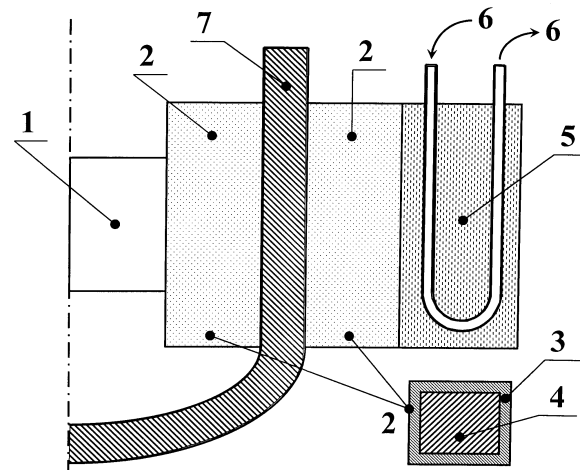
FIELD: power industry.

SUBSTANCE: nuclear reactor core is enveloped with a lead neutron reflector. In the reflector part adjacent to the core there is lead in which more than 90% of ²⁰⁸Pb isotope, and in the peripheral part - a neutron retarding material with low atomic weight in an amorphous state at cryogenic temperature. According to one particular case, the reactor housing is made from polycrystalline material slowly absorbing neutrons, for example Mo-Zr alloy and built into composition of the neutron reflector. According to another particular case, between the housing and the peripheral part of the reflector with the neutron retarding material with low atomic weight there arranged is polycrystalline material with high atomic weight, for example lead with content of ²⁰⁸Pb isotope of more than 90%.

EFFECT: excluding runaway of a reactor at jumps

of reactivity, which considerably exceed a fraction of delayed neutrons as to the value.

3 cl, 2 dwg



RU 2 556 036 C1

RU 2 556 036 C1

Изобретение относится к ядерной технике, а именно к конструкции отражателей нейтронов ядерных реакторов на быстрых нейтронах (к быстрым реакторам).

Известен импульсный быстрый реактор, содержащий активную зону, которая окружена отражателем-замедлителем нейтронов, за которым в свою очередь размещены
5 отдельные блоки дополнительного замедлителя, находящегося при криогенных температурах [1].

Недостатком этого реактора при производстве энергии является то, что он характеризуется коротким временем жизни нейтронов и пониженной безопасностью при скачках реактивности, сопоставимых и больше, чем доля запаздывающих нейтронов.

10 В качестве прототипа выбран быстрый реактор с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем, содержащий корпус, топливо в активной зоне, окруженной отражателем нейтронов, в прилегающей части к активной зоне которого размещен свинец, в котором более 90% изотопа ^{208}Pb , а в периферийной части - материал-замедлитель нейтронов с малым атомным весом [2].

15 Указанный реактор обладает следующим недостатком. Увеличение времени жизни нейтронов в цепной реакции деления (в активной зоне) этого реактора ограничено высокой скоростью диффузии нейтронов из отражателя назад в активную зону, что приводит к недостаточно длительной задержке нейтронов при диффузии в отражателе. Поэтому безопасность этого реактора при скачках реактивности, заметно превышающих
20 долю запаздывающих нейтронов, недостаточно высока и требуется использовать тепловыделяющие элементы с очень малой величиной постоянной времени твэла, характеризующего скорость отекания тепла из него в теплоноситель (малая тепловая постоянная твэла).

25 Технический результат, на достижение которого направлено настоящее изобретение, заключается в повышении ядерной безопасности быстрого реактора и исключении разгона реактора при скачках реактивности, заметно превышающих по величине долю запаздывающих нейтронов. При решении указанной задачи обеспечивается получение такого технического результата, как повышение безопасности быстрого реактора. Этот реактор по спектру нейтронов в активной зоне остается быстрым, но многократно
30 замедляется цепная реакция на мгновенных нейтронах (в активной зоне), благодаря задержке во времени нейтронов, утекших в слой свинцового отражателя, а затем в слой замедлителя с малым атомным весом, замедлившихся там до меньших скоростей и в результате диффузии возвратившихся в активную зону.

35 Технический результат достигается тем, что в ядерном реакторе на быстрых нейтронах, содержащем корпус, топливо в активной зоне, окруженной отражателем нейтронов, в прилегающей части к активной зоне которого размещен свинец, в котором более 90% изотопа ^{208}Pb , а в периферийной части - материал-замедлитель нейтронов с малым атомным весом, выбирают так, чтобы материал-замедлитель нейтронов
40 находился в аморфном состоянии при криогенной температуре.

При этом в одном частном случае предлагается корпус реактора выполнить из слабо поглощающего нейтроны поликристаллического материала, например, сплава $^{92}\text{Mo-Zr}$ и встроить в состав отражателя нейтронов.

45 В другом частном случае предлагается между корпусом и периферийной частью отражателя с материалом-замедлителем нейтронов с малым атомным весом разместить поликристаллический материал с большим атомным весом, например, свинец с содержанием изотопа ^{208}Pb более 90%.

Ядерный реактор на быстрых нейтронах, выполненный в соответствии с данным

изобретением и показанный на фиг.1 и фиг.2, содержит активную зону 1, которая набрана из тепловыделяющих сборок. Вокруг активной зоны 1 размещен свинцовый отражатель нейтронов 2, который предназначен для снижения утечки нейтронов и возвращения их в активную зону 1.

5 Свинцовый отражатель нейтронов 2 может быть выполнен из блоков, каждый из которых содержит чехол 3, заполненный свинцом 4, доля изотопа ^{208}Pb в котором более 90%. Для того чтобы повысить эффективность замедления эпитепловых нейтронов в глубине свинцового отражателя и сократить его габариты, за свинцовым отражателем дополнительно размещен материал-замедлитель нейтронов с малым атомным весом 10 5, например, графит.

Для дополнительного снижения скорости нейтронов и, следовательно, для увеличения времени задержки нейтронов, которые диффундируют к активной зоне, замедлитель нейтронов с малым атомным весом снабжен системой криогенного охлаждения 6.

15 Поскольку внутрикорпусные устройства быстрого реактора находятся при температурах, которые определяются термодинамической эффективностью преобразования тепловой энергии в электрическую, а периферийная часть отражателя снабжена криогенной системой охлаждения 6, то корпус реактора 7 разделяет свинцовую часть отражателя на «горячую» (внутрикорпусную) и на «холодную» (закорпусную.) Для дополнительной задержки недостаточно замедленных нейтронов в замедлителе с 20 малым атомным весом между корпусом реактора и этим замедлителем дополнительно размещен поликристаллический замедлитель с большим атомным весом 8.

Поэтому участок корпуса реактора 7, который, по существу, будучи встроенным в отражатель, должен быть выполнен из слабо поглощающего нейтроны материала, например, сплава Mo-Zr и для холодных нейтронов должен быть прозрачен. Это 25 сокращает длину пути замедленных нейтронов внутри материала корпуса реактора и, следовательно, сокращает число соударений нейтронов с ядрами материала и поглощения ими. В соответствии с законом Вульфа-Брэгга материал этого участка корпуса должен находиться в поликристаллическом состоянии [3]. А так как за корпусом 30 размещен поликристаллический материал с большим атомным весом, то через него будут фильтроваться в сторону активной зоны преимущественно холодные нейтроны из периферийной криогенной части отражателя.

Как известно, рассеяние холодных нейтронов в поликристаллических замедлителях носит пороговый характер (в соответствии с законом Вульфа-Брэгга) и, следовательно, 35 замедлитель в периферийной части (в данном случае с малым атомным весом) становится практически прозрачным для медленных («холодных») нейтронов. Это значит, что, во-первых, дальнейшее замедление нейтронов практически прекращается, а во-вторых, резко возрастает утечка нейтронов из этой области. Чтобы эти паразитные эффекты не проявлялись, необходимо, чтобы замедлитель с малым атомным весом по своей 40 структуре находился в аморфном состоянии.

Замедленные нейтроны из глубины отражателя диффундируют частично в сторону активной зоны 1, достигая ее и принимая участие в продолжении цепной реакции деления. Вклад этих нейтронов в цепную реакцию происходит с временной задержкой, определяемой их замедлением, охлаждением и диффузией в материалах отражателя.

45 Для того чтобы замедленные нейтроны из толщи отражателя имели заметную вероятность достичь активной зоны 1 и оказать влияние на цепную реакцию деления, нужно, чтобы длина диффузии замедленных нейтронов была сопоставима или больше, чем среднее смещение быстрых нейтронов из активной зоны вглубь отражателя в процессе их замедления.

Как известно, среднее смещение замедляющихся нейтронов вглубь отражателя 2 характеризуется корнем квадратным из величины возраста нейтронов при замедлении до области тепловых энергий. Поэтому длина диффузии замедленных нейтронов, возвращающихся в активную зону, должна превышать по крайней мере половину
5 величины среднего смещения замедляющихся нейтронов, чтобы заметная их часть смогла достичь активной зоны. В то же время, для свинца природного состава величина длины диффузии в четыре с лишним раза короче, чем величина смещения нейтронов при замедлении. Поэтому при использовании свинца природного состава замедленные нейтроны в глубине отражателя имеют малую вероятность вернуться в активную зону
10 и этот эффект практически незаметен. Когда же в отражателе нейтронов размещается свинец, в изотопном составе которого доля изотопа ^{208}Pb составляет более 90%, то указанные параметры миграции нейтронов выполняются и эффект замедления цепной реакции достигается.

Для увеличения времени задержки нейтронов в периферийном слое отражателя материалы этого слоя поддерживаются при криогенной температуре, что обеспечивает дополнительное замедление нейтронов до меньших скоростей. Таким образом, эти нейтроны, по существу, попадают в категорию так называемых «холодных» нейтронов. При этом их скорость с характерной величины 2200 м/с для тепловых нейтронов (293 К) до «холодных» (30 К или 3 К) снижается в 3,1 или в 10 раз, соответственно. В такой же мере возрастает и время их диффузии в периферийном слое отражателя. Но, при
20 одном условии, если исключаются интерференционные эффекты при рассеянии этих холодных нейтронов, связанные с тем, что длина волны де Бройля нейтрона оказывается больше, чем расстояние между ядрами замедлителя. Для того чтобы эти интерференционные эффекты не проявлялись, необходимо, чтобы материал
25 периферийной части замедлителя с малым атомным весом по своей структуре находился в аморфном состоянии [3]. При таком «беспорядочном» взаимном расположении соседних ядер упомянутые интерференционные эффекты взаимно компенсируют друг друга и поэтому не проявляются.

Если же материал находится в кристаллическом (поликристаллическом) состоянии, то рассеяние нейтронов, чья длина волны больше, чем удвоенный шаг кристаллической решетки этого материала (закон Вульфа-Брэгга [3]), существенно ослабляется и замедлитель становится, по существу, прозрачным для нейтронов, что влечет за собой как беспрепятственное быстрое перемещение нейтронов, так и их потери.

В то же время материал прочного корпуса, который, как правило, содержит нуклиды с заметным поглощением нейтронов, должен быть «прозрачен» для диффундирующих к активной зоне медленных нейтронов, обеспечивая их прямые прострелы через толщину
35 корпуса. Для этого материал корпуса должен находиться в поликристаллическом состоянии. В качестве примера материала для участка корпуса реактора на уровне активной зоны - отражателя можно назвать сплав на основе изотопно-обогащенного
40 ^{92}Mo с цирконием (сечение захвата нейтронов тепловых энергий изотопа ^{92}Mo составляет 0.02 барна).

Как показано на Фиг.2, для увеличения времени диффузии нейтронов из периферийной части отражателя к активной зоне целесообразно между корпусом и отражателем с малым атомным весом (находящимся при криогенной температуре) разместить
45 поликристаллический материал с большим атомным весом 8, например, свинец с содержанием изотопа ^{208}Pb более 90%. Технический результат заключается в пропускании из периферийной части отражателя предпочтительно замедленных и

холодных нейтронов с энергией ниже порога Вульфа-Брэгга.

Ядерный реактор на быстрых нейтронах, выполненный в соответствии с данным изобретением, работает следующим образом.

В активную зону 1 быстрого реактора загружают тепловыделяющие сборки с тепловыделяющими элементами (ТВЭлами), и после подачи в активную зону теплоносителя выводят реактор на мощность. В результате цепной реакции деления в активной зоне 1 рождаются быстрые нейтроны. Они претерпевают рассеяние, замедление и поглощение в активной зоне.

Причем часть нейтронов претерпевает утечку в отражатель нейтронов 2, окружающий активную зону реактора. В результате диффузии и замедления эти нейтроны углубляются в толщу отражателя, удаляясь от активной зоны. Поскольку при приближении энергии нейтронов к области тепловых энергий замедление на материале отражателя с тяжелым атомным весом становится слабым, то прилегающий к нему замедлитель с легким атомным весом 3 это замедление делает более эффективным. Если средняя относительная потеря энергии нейтроном на свинце составляет $\xi = \Delta E/E = 0.096$, то на графите $\xi = \Delta E/E = 0.158$, т.е. в 16 с лишним раз выше. Однако, средняя температура нейтронов в замедлителе, а значит и их средняя энергия будет определяться температурой замедлителя. Дополнительное замедление диффузии нейтронов может быть достигнуто при охлаждении замедлителя. Например, при охлаждении замедлителя в аморфном состоянии с 300 К до 3 К энергия термализованных нейтронов упадет почти в 100 раз, а скорость диффузии, соответственно, в 10 раз. Это приведет к замедлению диффузии нейтронов при возвращении в активную зону и, соответственно, к увеличению задержки нейтронов в отражателе по отношению к цепной реакции деления. Этот фактор приведет к увеличению времени жизни нейтронов по отношению к цепной реакции деления в активной зоне реактора.

Для увеличения диффузии холодных нейтронов из периферийной части отражателя к активной зоне целесообразно между корпусом и отражателем с малым атомным весом (находящимся при криогенной температуре) разместить поликристаллический материал с большим атомным весом, например, свинец с содержанием изотопа ^{208}Pb более 90%. Это позволит пропускать из периферийной части отражателя предпочтительно замедленные и холодные нейтроны с энергией ниже порога Вульфа-Брэгга. Таким образом, внешняя часть отражателя нейтронов будет работать как своеобразный фильтр. В него будут попадать из активной зоны замедляющиеся нейтроны, а вытекать в сторону активной зоны преимущественно медленные и холодные нейтроны, а недостаточно замедленные нейтроны будут оставаться в криогенном замедлителе для дальнейшего замедления.

Даже при скачке реактивности $1.3 \beta_{\text{ef}}$, т.е. заметно больше доли запаздывающих нейтронов, что, как известно, в обычном реакторе соответствует разгону на мгновенных нейтронах, благодаря задержке нейтронов в отражателе период разгона составит «всего лишь» около 0.1 сек. А если учесть, что тепловая постоянная ТВЭла (постоянная времени ТВЭла) для быстрых реакторов с металлическим, хорошо проводящим тепло топливом, тоже составляет приблизительно 0.1 сек, то при таком разгоне около половины тепловыделения в ТВЭле будет успевать стекать в теплоноситель. При этом будут успевать срабатывать почти все обратные связи, имеющиеся в конструкции активной зоны. Разумно предусмотренные в конструкции отрицательные обратные связи должны будут скомпенсировать упомянутый скачок реактивности и сохранить целостность активной зоны и реактора.

Для достижения положительного эффекта необходимо, чтобы в изотопном составе

свинца отражателя доля изотопа ^{208}Pb составляла более 90% ^{208}Pb . Свинец такого состава можно получить при добыче руды из Th- и (Th-U)-месторождений [4-6], где свинец является конечным продуктом радиоактивного распада тория и урана. В

5 добываемой на этих месторождениях руде содержание изотопа ^{208}Pb в свинце более 90%.

Расчетные оценки показывают, что проектная величина времени жизни мгновенных нейтронов для прототипа реактора БРЕСТ-300-ОД составляет приблизительно 0.5 микросекунды (отражатель - свинец природного изотопного состава). При замене

10 природного свинца отражателя на 100% ^{208}Pb и дополнительно охлажденный графит, размещенный в периферийной его части, среднее время жизни мгновенных нейтронов может возрасти до величины больше 0.1 миллисекунды, т.е. увеличиться более чем в 200 раз.

Таким образом, технический результат состоит в повышении безопасности реактора

15 на быстрых нейтронах, который может быть устойчивым к внезапным скачкам реактивности, по величине даже превышающим долю запаздывающих нейтронов.

Список литературы

1. Куликов С.А., Шабалин Е.П. (ОИЯИ, г.Дубна). Оптимизация параметров замедлителей ИБР-2М. - Атомная энергия, т.115, вып.1, июль 2013, стр.41-44.

20 2. Куликов Г.Г., Шмелев А.Н., Апсэ В.А. (РФ). Ядерный реактор на быстрых нейтронах. Патент на изобретение №2461084, приоритет изобретения 28 декабря 2010 г., МПК 21С, 1/00.

3. И.И. Гуревич, В.П. Протасов. Нейтронная физика. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Энергоатомиздат, 1997. 416 с.

25 4. Каталог изотопных дат пород украинского щита. Киев: «Наукова думка», 1978 г., стр.90-91, 136-137.

5. Jose Marcus Godoy, Maria Luiza D.P. Godoy, Claudia C. Aronne. Application of inductively coupled plasma quadrupole mass spectrometry for the determination of monazite ages by lead isotope ratios. - Journal of Brazilian Chemical Society, Vol.18, №5, Sao Paulo, 2007, pp.154-162.

30 6. A.O. Nier, R.W. Tompson, B.F. Murphey. The Isotopic Constitution of Lead and the Measurement of Geological Time. III. - Physical Review, Vol.60, July 15, 1941, pp.112-117.

Формула изобретения

1. Ядерный реактор на быстрых нейтронах, содержащий корпус, топливо в активной

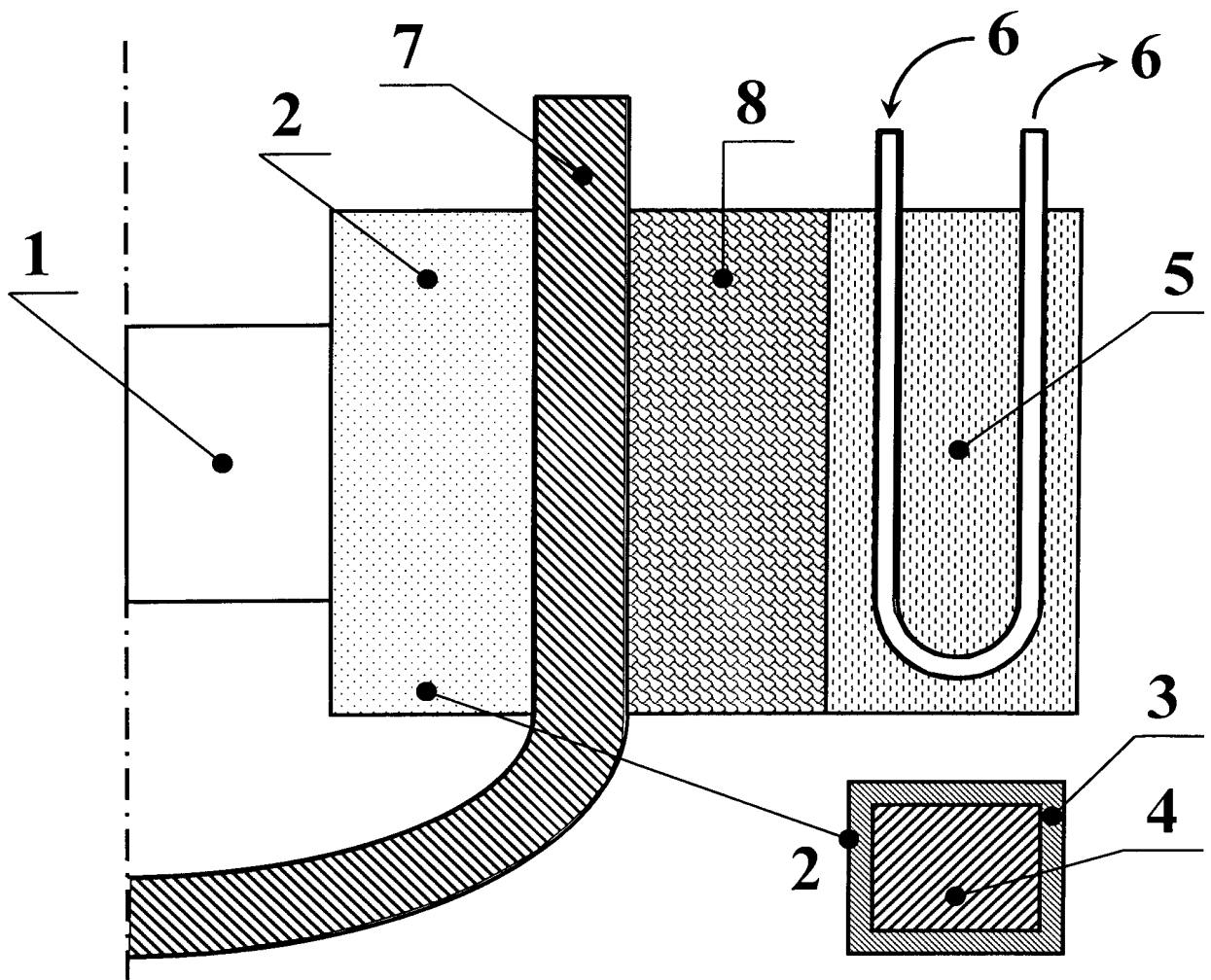
35 зоне, окруженной отражателем нейтронов, в прилегающей части к активной зоне которого находится слой свинца, с содержанием в нем более 90% изотопа ^{208}Pb , а в периферийной части - слой материала-замедлителя нейтронов с малым атомным весом, отличающийся тем, что в периферийной части отражателя слой материала-замедлителя нейтронов с малым атомным весом находится в аморфном состоянии при криогенной

40 температуре.

2. Ядерный реактор на быстрых нейтронах по п.1, отличающийся тем, что корпус реактора выполнен из слабо поглощающего нейтроны поликристаллического материала, например, сплава $^{92}\text{Mo-Zr}$ и встроен в отражатель нейтронов.

3. Ядерный реактор на быстрых нейтронах по пп.1, 2, отличающийся тем, что между корпусом и периферийной частью отражателя с материалом-замедлителем нейтронов с малым атомным весом размещен поликристаллический материал с большим атомным

45 весом, например, свинец с содержанием изотопа ^{208}Pb более 90%.



Фиг. 2