

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ**

(21)(22) Заявка: 2018145437, 09.06.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
09.06.2016 US 62/347,969

(43) Дата публикации заявки: 09.07.2020 Бюл. № 19

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 09.01.2019(86) Заявка РСТ:
US 2017/036744 (09.06.2017)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2018/067208 (12.04.2018)Адрес для переписки:
119019, Москва, ул. Гоголевский бульвар, 11,
"Гоулинг ВЛГ (Интернэшнл) Инк."

(71) Заявитель(и):

ФЕНИКС ЛЛС (US)

(72) Автор(ы):

**СЕНГБУШ Эван Р. (US),
КОБЕРНИК Арне В. (US),
МОЛЛ Эли Р. (US),
СЕЙФЕРТ Кристофер М. (US),
РЭЙДЕЛ Росс Ф. (US),
ТОМАС Марк (US),
ХЕКЛА Джейк (US)**(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ АКТИВНОГО СКАНИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОГО СТЕРЖНЯ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(57) Формула изобретения

1. Система для активного сканирования топливного стержня ядерного реактора, причем система содержит:

генератор нейтронов с электрическим приводом, содержащий ионный источник, ускоритель и мишень;

замедлитель, расположенный вокруг генератора нейтронов и выполненный с возможностью замедления нейтронов, сгенерированных генератором нейтронов;

канал для первого топливного стержня, расположенный внутри замедлителя, причем канал для первого топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем первого топливного стержня ядерного реактора и воздействия на первый топливный стержень ядерного реактора потоком нейтронов с заданными параметрами; и

множество детекторов излучения,

в которой нейтроны индуцируют вспомогательное излучение мгновенных и запаздывающих гамма-лучей, нейтронное излучение или их комбинацию, обнаруживаемые множеством детекторов излучения для определения количества делящегося вещества в первом топливном стержне ядерного реактора и пространственного распределения делящегося вещества по длине первого топливного стержня ядерного реактора.

2. Система по п. 1, в которой канал для первого топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем первого топливного стержня ядерного реактора,

содержащего выгорающий поглотитель.

3. Система по п. 2, в которой канал для первого топливного стержня содержит внутреннюю надтепловую оболочку, наружный слой которой состоит из выгорающего поглотителя и выполнен с возможностью поглощения тепловых нейтронов.

4. Система по п. 3, в которой внутренняя надтепловая оболочка дополнительно содержит внутренний слой, выполненный с возможностью рассеяния быстрых нейтронов в надтепловой области, причем внутренний слой расположен концентрично относительно наружного слоя.

5. Система по п. 4, в которой внутренний слой выполнен из бериллия.

6. Система по любому из пп. 2–4, в которой канал для первого топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем первого топливного стержня ядерного реактора, содержащего гадолиний или бор.

7. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой поток нейтронов с заданными параметрами представляет собой поток надтепловых нейтронов, причем надтепловые нейтроны индуцируют вспомогательное излучение, обнаруживаемое множеством детекторов излучения.

8. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой ионный источник представляет собой микроволновой ионный источник или ионный источник на основе электронного циклотронного резонанса (ЭЦР).

9. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой мишень представляет собой твердую мишень, состоящую из по меньшей мере одного из титана, меди, циркония, урана, палладия или алюминия.

10. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой замедлитель содержит камеру, расположенную вокруг мишени, замедлитель нейтронов, расположенный вокруг камеры, и дополнительный замедлитель нейтронов, расположенный вокруг замедлителя нейтронов.

11. Система по п. 10, в которой камера содержит твердый, жидкий или газообразный диэлектрик.

12. Система по п. 11, в которой камера содержит жидкость Fluorinert.

13. Система по любому из пп. 10–12, в которой замедлитель нейтронов, расположенный вокруг камеры, состоит из графита, D₂O или полиэтилена.

14. Система по любому из пп. 10–13, в которой дополнительный замедлитель нейтронов состоит из полиэтилена.

15. Система по любому из пп. 10–14, в которой дополнительный замедлитель нейтронов состоит из полиэтилена с содержанием бора 5 %.

16. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой канал для первого топливного стержня содержит внутреннюю надтепловую оболочку, наружный слой которой состоит из выгорающего поглотителя и выполнен с возможностью поглощения тепловых нейтронов.

17. Система по любому из предыдущих пунктов, дополнительно содержащая канал для второго топливного стержня, выполненный с возможностью размещения в нем второго топливного стержня ядерного реактора и воздействия на второй топливный стержень ядерного реактора потоком тепловых нейтронов с заданными свойствами, в которой канал для второго топливного стержня расположен внутри замедлителя, и

в которой тепловые нейтроны индуцируют вспомогательное излучение гамма-лучей, нейтронное излучение или их комбинацию во втором топливном стержне ядерного реактора, которое обнаруживается по меньшей мере одним из множества детекторов излучения для определения количества делящегося вещества и пространственного распределения делящегося вещества по длине второго топливного стержня ядерного

реактора.

18. Система по п. 17, в которой канал для второго топливного стержня содержит внутреннюю тепловую оболочку, наружный слой которой состоит из алюминия, а внутренний слой состоит из полиэтилена.

19. Система по любому из предыдущих пунктов, дополнительно содержащая по меньшей мере один дополнительный канал для топливного стержня, выполненный с возможностью размещения в нем топливного стержня ядерного реактора и воздействия на топливный стержень ядерного реактора потоком надтепловых нейтронов или потоком тепловых нейтронов,

в которой нейтроны потока надтепловых нейтронов или потока тепловых нейтронов индуцируют вспомогательное излучение гамма-лучей, нейтронное излучение или их комбинацию в топливном стержне ядерного реактора, которое обнаруживается по меньшей мере одним из множества детекторов излучения для определения количества делящегося вещества и пространственного распределения делящегося вещества по длине топливного стержня ядерного реактора.

20. Система по п. 17,

в которой мишень представляет собой твердую мишень из титана;

в которой замедлитель нейтронов состоит из графита;

в которой дополнительный замедлитель нейтронов состоит из борированного полиэтилена;

в которой канал для первого топливного стержня содержит внутреннюю надтепловую оболочку, наружный слой которой состоит из гадолиния и выполнен с возможностью поглощения тепловых нейтронов, а внутренний слой состоит из бериллия и выполнен с возможностью рассеяния быстрых нейтронов в надтепловой области энергий;

в которой канал для первого топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем топливного стержня ядерного реактора, содержащего гадолиний;

в которой канал для второго топливного стержня содержит внутреннюю тепловую оболочку, наружный слой которой состоит из алюминия, а внутренний слой состоит из полиэтилена; и

в которой канал для второго топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем топливного стержня ядерного реактора, который не содержит выгорающий поглотитель.

21. Система по п. 17,

в которой мишень представляет собой твердую мишень из титана;

в которой замедлитель нейтронов состоит из графита;

в которой дополнительный замедлитель нейтронов состоит из борированного полиэтилена;

в которой канал для первого топливного стержня содержит внутреннюю надтепловую оболочку, наружный слой которой состоит из бора и выполнен с возможностью поглощения тепловых нейтронов, а внутренний слой состоит из бериллия и выполнен с возможностью рассеяния быстрых нейтронов в надтепловой области энергий;

в которой канал для первого топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем топливного стержня ядерного реактора, содержащего бор;

в которой канал для второго топливного стержня содержит внутреннюю тепловую оболочку, наружный слой которой состоит из алюминия, а внутренний слой состоит из полиэтилена; и

в которой канал для второго топливного стержня выполнен с возможностью размещения в нем топливного стержня ядерного реактора, который не содержит выгорающий поглотитель.

22. Способ активного сканирования топливного стержня ядерного реактора, причем

способ предусматривает:

генерирование нейтронов с помощью генератора нейтронов с электрическим приводом, содержащего ионный источник, ускоритель и мишень;

замедление нейтронов с помощью замедлителя, расположенного вокруг генератора нейтронов;

размещение первого топливного стержня ядерного реактора в канале для первого топливного стержня, расположенного внутри замедлителя;

воздействие на первый топливный стержень ядерного реактора потоком нейтронов с заданными параметрами для индуцирования вспомогательного излучения мгновенных и запаздывающих гамма-лучей, нейтронного излучения или их комбинации; и

обнаружение вспомогательного излучения с помощью множества детекторов излучения для определения количества делящегося вещества и пространственного распределения делящегося вещества по длине первого топливного стержня ядерного реактора.

23. Способ по п. 22, в котором первый топливный стержень ядерного реактора содержит выгорающий поглотитель.

24. Способ по п. 22 или 23, в котором первый топливный стержень ядерного реактора содержит гадолиний или бор.

25. Способ по любому из пп. 22–24, в котором поток нейтронов с заданными параметрами представляет собой поток надтепловых нейтронов, и надтепловые нейтроны индуцируют вспомогательное излучение, обнаруживаемое множеством детекторов излучения.

26. Способ по любому из пп. 22–25,

в котором канал для первого топливного стержня содержит внутреннюю надтепловую оболочку со слоем из выгорающего поглотителя; и

в котором воздействие на первый топливный стержень ядерного реактора потоком нейтронов с заданными параметрами предусматривает поглощение тепловых нейтронов наружным слоем внутренней надтепловой оболочки.

27. Способ по п. 26, дополнительно предусматривающий рассеяние быстрых нейтронов в надтепловой области энергий внутренним слоем внутренней надтепловой оболочки.

28. Способ по любому из пп. 22–27, дополнительно предусматривающий:

размещение второго топливного стержня ядерного реактора, который не содержит выгорающий поглотитель, в канале для второго топливного стержня;

воздействие на второй топливный стержень ядерного реактора потоком тепловых нейтронов с заданными свойствами для индуцирования вспомогательного излучения гамма-лучей, нейтронного излучения или их комбинации; и

обнаружение вспомогательного излучения второго топливного стержня ядерного реактора с помощью по меньшей мере одного из множества детекторов излучения для определения количества делящегося вещества и пространственного распределения делящегося вещества по длине второго топливного стержня ядерного реактора.

29. Способ по п. 28,

в котором канал для второго топливного стержня содержит внутреннюю тепловую оболочку, наружный слой которой состоит из алюминия, а внутренний слой состоит из полиэтилена; и

способ дополнительно предусматривает уменьшение плотности надтепловых нейтронов с помощью внутреннего слоя и наружного слоя внутренней тепловой оболочки.

30. Способ по любому из пп. 22–29, дополнительно предусматривающий:

размещение топливного стержня ядерного реактора, который не содержит

выгорающий поглотитель, в по меньшей мере одном дополнительном канале для топливного стержня;

воздействие на топливный стержень ядерного реактора потоком надтепловых нейтронов с заданными свойствами или потоком тепловых нейтронов для индуцирования вспомогательного излучения гамма-лучей, нейтронного излучения или их комбинации;

и обнаружение вспомогательного излучения топливного стержня ядерного реактора по меньшей мере другим из множества детекторов излучения для определения количества делящегося вещества и пространственного распределения делящегося вещества по длине топливного стержня ядерного реактора.

31. Способ по любому из пп. 22–30,

в котором мишень представляет собой твердую мишень, содержащую атомы дейтерия,

и в котором генерирование нейтронов с помощью генератора нейтронов с электрическим приводом предусматривает обстрел твердой мишени пучком ускоренных ионов дейтерия для генерирования нейтронов в результате термоядерной реакции дейтерий–дейтерий.

32. Способ по п. 31, дополнительно предусматривающий восполнение атомов дейтерия, содержащихся в твердой мишени, за счет облучения твердой мишени пучком ускоренных ионов дейтерия.

33. Способ по п. 32, в котором твердая мишень состоит из по меньшей мере одного из титана, меди, циркония, урана, палладия или алюминия.

34. Способ по любому из пп. 22–33, в котором замедлитель содержит камеру, расположенную вокруг мишени, замедлитель нейтронов, расположенный вокруг камеры, и дополнительный замедлитель нейтронов, расположенный вокруг замедлителя нейтронов, и

в котором замедление нейтронов с помощью замедлителя предусматривает применение замедлителя нейтронов для замедления до тепловой скорости нейтронов, сгенерированных генератором нейтронов с электрическим приводом, и поглощение замедленных до тепловой скорости нейтронов дополнительным замедлителем нейтронов.

35. Способ по п. 34, в котором замедлитель нейтронов, расположенный вокруг камеры, состоит из графита, D₂O или полиэтилена, и

в котором дополнительный замедлитель нейтронов состоит из полиэтилена.

36. Способ по п. 34 или п. 35, в котором камера содержит твердый, жидкий или газообразный диэлектрик.

37. Способ по п. 36, в котором камера представляет собой камеру Fluorinert, содержащую жидкость Fluorinert.