

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ UO_2 В РЕЖИМАХ РАБОТЫ РЕАКТОРА LWR

Зорькин А.И., Украинцев О.А.

Научный руководитель: Беденко С.В., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: aizork1995@gmail.com

В настоящее время для коммерческих легководных реакторов промышленного назначения в качестве ядерного топлива используют диоксид урана (UO_2), который демонстрирует наиболее оптимальные характеристики с точки зрения соотношения его промышленной эффективности и экономической составляющей. Преимуществом диоксида урана является высокая степень удержания газа деления, химическая стабильность, высокая температура плавления и кубическая кристаллическая структура [1-2].

Однако в качестве недостатков UO_2 отмечают его низкую теплопроводность, что приводит к развитию относительно большого температурного градиента по размеру всей топливной таблетки. Данный температурный градиент является ограничительным фактором в эксплуатационных характеристиках реакторных установок типа LWR [3-4].

Высокая температура топлива может быть снижена и улучшена производительность реактора за счет разработки ядерного топлива с повышенной теплопроводностью. Ядерное топливо с высокой теплопроводностью снизило бы температуру топлива и способствовало бы уменьшению взаимодействия оболочки гранул за счет уменьшения тепловых напряжений, которые приводят к растрескиванию топлива, перемещению и набуханию [5].

В настоящей работе приводятся результаты исследований с различными вариантами таких топливных добавок для UO_2 , улучшающие его свойства, основными из которых являются соединения SiC и BeO. Данные соединения демонстрируют совместимость с UO_2 , в результате чего получаемое композитное ядерное топливо обладает повышенной эффективной теплопроводностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chandramouli D.A., Revankar T.S. Development of Thermal Models and Analysis of UO_2 -BeO Fuel during a Loss of Coolant Accident // International Journal of Nuclear Energy. – 2014. – p. 1-9.
2. Zhou W.V., Liu R.S., Revankar T.S. Fabrication methods and thermal hydraulics analysis of enhanced thermal conductivity UO_2 -BeO fuel in light water reactor // Annals of Nuclear Energy. – 2015. – p. 1-9.
3. Zhou W.V., Liu R.S., Chan P.K. Fully coupled multiphysics modeling of enhanced thermal conductivity UO_2 -BeO fuel in light water reactor // Nuclear Engineering and Design. – 2015. – p. 511-523.
4. Zhou W.V., Liu R.S., Mehrdad S.B. Microstructure Based Thermal Conductivity and Thermal Behavior Modeling of Nuclear Fuel UO_2 -BeO // Heat Transfer Engineering. – 2017. – p. 1-53.
5. Zhou W.V., Wenzhong Z.V. Thermophysical and Mechanical Analyses, SiC, and FeCrAl Claddings // Metals. – 2017. – p. 1-14.

ГЕНЕРАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО ПУЧКА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ДЕЙТЕРИРОВАННОЙ МИШЕНИ УСКОРЕННЫМИ АТОМАМИ

Прима А.И.

Научный руководитель: Пушкарёв А.И., д.ф.-м.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: aip17@tpu.ru

Нейтронные пучки являются важной составляющей современной медицины. Они нашли применение в бор-захватной нейтронной терапии при лечении злокачественных опухолей [1] и для наработки короткоживущих радиоизотопов для медицинских целей [2]. Радиоизотопы применяются при позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), являющейся одним из самых совершенных диагностических инструментов, и для проведения других диагностических исследований. При диагностических исследованиях, для обеспечения низкой радиационной нагрузки на пациентов, используют короткоживущие радиоизотопы с периодом полураспада менее 100 минут [2]. Подготовка таких радиоизотопов требует наличия безопасного и недорогого генератора нейтронов.

В работе представлен новый метод генерации импульсного нейтронного пучка. Для инициирования D-D реакции дейтерированная мишень облучается пучком ускоренных атомов дейтерия, а не дейтронов. Выполнен анализ выхода нейтронов за импульс для параметров импульсного ионного генератора ТЕМП-6 (250-300 кВ, длительность импульса 120 нс) [3]. Ускоритель обеспечивает облучение образцов импульсным пучком ускоренных атомов с энергией 250-600 кэВ и плотностью энергии в фокусе 3-10

Дж/см². Формирование ускоренных атомов происходит за счет перезарядки ускоренных ионов дейтерия при взаимодействии с молекулами остаточного газа в диодной камере ускорителя [4].

При облучении металлической мишени ионами значительная часть энергии (более 80%) расходуется на электронные потери без инициирования ядерных реакций [5]. Облучение ускоренными атомами позволяет снизить эти потери. При облучении мишени ускоренными атомами дейтерия суммарный выход нейтронов может быть в 4-5 раз выше и составить $(1-5) \cdot 10^9$ за импульс [6]. При облучении мишени ускоренными атомами также увеличивается энергия столкновения. Энергия столкновения ускоренного атома дейтерия (с энергией 0.2 – 0.4 МэВ) с атомом дейтерия в мишени превышает 50 кэВ, а энергия столкновения ускоренного иона дейтерия (с энергией 0.2-0.4 МэВ) с атомом дейтерия в мишени менее 1 кэВ. Полный выход нейтронов на один дейтрон в D-D реакции увеличивается в ≈ 200 раз с ростом энергии столкновения от 30 кэВ до 220 кэВ. При этом суммарный выход может увеличиться более чем в 10 раз и составить $(1-5) \cdot 10^{10}$ нейтронов за импульс.

Использование ускоренных атомов дейтерия для генерации нейтронных пучков на установке ТЕМП-6 позволяет получать нейтроны с энергией 2.45 МэВ и интегральным выходом $(1-5) \cdot 10^{10}$ нейтронов за импульс, что превышает интегральный выход лучших портативных генераторов нейтронов с вакуумными и газонаполненными трубками при использовании D-D реакции (10^7-10^8).

Выполненные исследования поддержаны РФФИ, грант 19 - 38 - 90001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wagner F.M., Loeper-Kabasakal B. and Breitzkreutz H. Journal of Instrumentation. – 2012. – Т. 7 – С. 1-14
2. Веревкин А. А., Стервиедов Н. Г., Ковтун Г. П. Получение и применение короткоживущих и ультракороткоживущих изотопов в медицине // Вісник Харківського національного університету ім. Каразіна, серія фізична «Ядра, частинки, поля». – 2006. – №. 746. – С. 54-70.
3. Zhu X. P., Lei M. K., Ma T. C. Characterization of a high-intensity bipolar-mode pulsed ion source for surface modification of materials //Review of scientific instruments. – 2002. – Т. 73. – №. 4. – С. 1728-1733.
4. Pointon T. D. Charge exchange effects in ion diodes //Journal of applied physics. – 1989. – Т. 66. – №. 7. – С. 2879-2887.
5. Was G. S. Challenges to the use of ion irradiation for emulating reactor irradiation //Journal of Materials Research. – 2015. – Т. 30. – №. 9. – С. 1158.
6. Pushkarev A., Prima A., Zhu X.P., Ding L., Zhang Q., Isakova Yu., Lei M.K.. Thermal imaging diagnostics of fast radiation processes // 6th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. Tomsk: . – 2018. – С. 516.

СИНТЕЗ В ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ «ОКСИД НЕОДИМА-ОКСИД САМАРИЯ - ОКСИД МАГНИЯ»

Андреев Д.В.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dval17@tpu.ru

К явным преимуществам применения плазмы для синтеза сложных оксидных композиций (СОК) из диспергированных смешанных водных нитратных растворов (ВНР) следует отнести: одностадийность; высокую скорость образования соединений; возможность активно влиять на размер и морфологию частиц; компактность технологического оборудования. Однако плазменная переработка только ВНР требует значительных энергозатрат (до 4 МВт·час/т) и не позволяет получать в одну стадию оксидные композиции требуемого стехиометрического состава без дополнительного водородного восстановления [1].

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто в воздушно-плазменном потоке при плазмохимическом синтезе СОК, включающих оксиды РЗЭ и оксидную матрицу с высоким коэффициентом теплопроводности, из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны и др.), и имеющих низшую теплотворную способность не менее 8,4 МДж/кг [2]. Плазменная переработка таких растворов ВОНР приведет к снижению энергозатрат на их обработку (до 0,1 МВт·час/т), повысит производительность, а также обеспечит условия в плазмохимическом реакторе для прямого синтеза в воздушной плазме наноразмерных СОК с равномерным распределением фаз с требуемым стехиометрическим составом.

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса плазмохимического синтеза СОК «оксид неодима-оксид самария- оксид магния» в воздушно-плазменном потоке. На рис. 1 показано влияние температуры на равновесный состав конденсированных продуктов плазменной переработки раствора ВОНР, включающего водные растворы нитратов неодима, самария и магния, а также органический компонент (ацетон). при массовой доле воздуха 69 %: