

УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Воронов Е.О., Сорокин В.В., Рябиченко Е.Н., Соколовская Н.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кашеев В.П.

Ядерные технологии имеют огромный потенциал, позволяющий обеспечить непрерывно возрастающую потребность в энергии, не увеличивая при этом выбросы в атмосферу углекислого газа и других загрязняющих веществ.

Но современные технологии уран-плутониевого топливного цикла имеют недостатки. Необходимо существенно снизить стоимость ядерной энергетики и повысить ее безопасность путем совершенствования составов топлива и технологий ядерного топливного цикла. Только переход на другой, более дешевый и безопасный ядерный топливный цикл способен усилить конкурентоспособность ядерной энергетики.

Сегодня 16 % электрической энергии в мире производится на атомных электрических станциях (АЭС). Прогнозируется рост потребления электроэнергии к 2020 году на 75 % с 12.8 миллиардов кВт.ч до 22.4 миллиардов кВт.ч, а современная ядерная энергетика на уран-плутониевом топливном цикле не может обеспечить увеличения мощностей даже на 5 % из 75 % планируемых к 2020 году. Поэтому выброс парниковых газов к 2020 году увеличится на 40 %. Современная ядерная энергетика на уран-плутониевом топливном цикле при равных мощностях:

- опаснее энергетики на органическом топливе;
- порождает большой объем отходов на 1 МВт вырабатываемой мощности;
- обеспечивает распространение ядерного оружия.

Но атомная энергетика необходима, поскольку не производит выбросов CO_2 ; NO_2 ; IO_2 ; CO ; NO ; C и так далее. Следовательно, свойства современной ядерной энергетики необходимо принципиально изменить. Это можно осуществить путем перехода на уран-ториевый топливный цикл. Основной вклад в стоимость электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, вносит капитальная составляющая, которая в свою очередь высока из-за проблем высокой ядерной опасности. В США утвержден стандарт “в десять раз снизить вероятность аварийных ситуаций, связанных с радиоактивным загрязнением от работающих АЭС за период равный 50 годам, то есть менее одного случая за 50 лет работы АЭС, путем перехода на топлива, содержащие торий и переход на модульное оборудование, полностью производимое и контролируемое на заводах. А на площадках строящихся АЭС только сборка готового оборудования”.

Топливо для новых реакторов PWR планируется изготавливать с содержанием тория. Запасы тория только в рудах редкоземельных элементов в 3 раза превышают все запасы урана на Земле, но эти запасы урана в водах морей и океанов (U_3O_8). Нарработка урана-233, которого нет в природе, может достичь величины 90% от загружаемого тория-232 в зоны ядерных реакторов. Таким образом, реальный топливный потенциал ядерной энергетики увеличивается в 100 раз и ядерная энергетика может стать базовой вместо сегодняшней базовой энергетики на органическом топливе [1].

Уран-ториевое топливо позволяет организовать длинные компании топлива до 20 лет и более за счет повышения глубины выгорания в 5-7 раз. Повышение глубины выгорания топлива в несколько раз позволяет сократить производство тепловыделяющих сборок и во столько же раз и снизить число захораниваемых сборок, соответственно. Для оболочек уран-ториевого топлива не нужен дорогой цирконий ядерной чистоты. Оболочки можно изготовить из стали. Соответственно нет опасности возникновения пароциркониевой реакции. Нет препятствий для производства топливных таблеток из смеси оксидов урана и тория на существующих заводах по производству топлива из оксидов урана [2].

В уран-ториевом топливе нарабатывается нептуния в 100 раз, плутония в 2000 раз, америция в 100000 раз, кюрия в 1000000 раз меньше чем в урановом топливе. Выгоревшее

топливо со столь малым содержанием плутония и других младших актиноидов не требует захоронения в геологических породах и может храниться в обычных приповерхностных хранилищах.

Использование тория вместо инертной матрицы в современном плутониевом топливе позволяет коренным образом улучшить нейтронно-физические характеристики активных зон ядерных реакторов на плутонийсодержащем топливе [3].

Более высокая надежность и безопасность ядерного реактора достигается за счет:

–снижения начальной избыточной реактивности в активной зоне, так как делящиеся изотопы урана-233 нарабатываются в ней в процессе кампании из тория-232;

–большого в 2-3 раза водо-уранового отношения в активных зонах реакторов типа ВВЭР;

–более слабого, чем у урана взаимодействия тория с водой и паром;

–более высокой температуры плавления оксида тория;

–более высокой теплопроводности оксида тория;

–более высокой радиационной стойкости оксида тория;

–более высокой коррозионной стойкости оксида тория (на 2 порядка выше, чем у оксида урана);

–более низкого коэффициента диффузии ксенона в поликристаллической смеси оксидов тория и урана (на порядок ниже, чем в поликристаллическом диоксиде урана).

Отработанное топливо: оксид урана – оксид тория лучшая форма ядерных отходов, чем отходы традиционного топлива диоксидов урана, так как диоксид тория – это самый высокий окисел, а диоксид урана окисляется водой до триоксида урана (UO_3).

При использовании торийсодержащего топлива возникают более благоприятные условия для предотвращения хищения делящихся материалов из-за наработки урана-232, который имеет период полураспада 72.6 года, излучает жесткие гамма-кванты (26 МэВ) и выделяет высокую тепловую энергию, недопустимую для ядерного оружия (сегодня это решающее преимущество для достижения недоступности отработанного ядерного топлива) [4].

Высокая химическая стабильность торийсодержащего топлива усложняет его переработку после облучения, что также повышает возможности обеспечения режима нераспространения ядерного оружия. Использование ядерного топлива из смеси оксидов плутония и тория, позволяет сократить запасы накопленного плутония (~2100 тонн) путем выжигания его в активных зонах реакторов типа PWR и ВВЭР. При глубине выгорания топлива 70 МВт сут/кг т.а. выжигается весь плутоний-239, а далее выжигается уран-233 и плутоний-241.

Характер изменения коэффициентов реактивности у такого топлива такой же, как и у топлива UO_2 . Скорость выжигания плутония в смеси с торием выше в 2.5 раза, чем в смеси с ураном. Высокотемпературные ядерные реакторы типа HTGR более экономичны, чем PWR с уран-ториевым топливным циклом. Открытый ядерный топливный цикл, планируемый в PWR и HTGR, исключает основной источник загрязнения окружающей среды – радиохимический завод. Отработанное топливо продолжает находиться в тепловыделяющих сборках. То есть не происходит размазывание радиоактивности по огромным площадям в виде растворов и газов при штатных и нештатных выбросах. Исчезают все проблемы, связанные со строительством радиохимических заводов: финансирование и материальные затраты на строительство, эксплуатацию заводов, зарплату, электроэнергию, тепло, водоснабжение. На огромное количество защитного оборудования и техники, химических реагентов, агрессивных, ядовитых, горючих и взрывоопасных (кислот, щелочей, органических жидкостей) и т.д. Исчезает необходимость закачивания в землю трития, устраняется проблема утилизации радиоактивного йода, жидких и газообразных отходов.

Сроки контролируемого хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) – 60 лет, почти такие же как и для выделенных и отвержденных высокоактивных отходов. В то же время хранилище (могильник) для ОЯТ – это компактное “месторождение” урана и плутония. Сопоставление стоимости открытого и замкнутого ядерного топливного цикла

(ЯТЦ) показало, что в США замкнутый ЯТЦ дороже открытого в 4.5 раза. Основное назначение обедненного урана – изготовление оболочек бронебойных снарядов и авиационных бомб, предназначенных для поражения подземных бункеров (бомба проходит сквозь бетон толщиной до 6 метров или земляной грунт толщиной до 30 метров).

Необходимо создавать безопасные и технологически легко изготавливаемые ядерные реакторы, чтобы любое государство могло развернуть собственную ядерную энергетику примерно за период 20 лет. В частности, США разрабатывает несколько технологий реакторов PWR на уран-ториевом топливном цикле. После испытаний шести типов PWR до 2030 года будут отобраны два лучших, которые пойдут в серийное производство. За 20 лет, с 2030 по 2050 годы, в США будут введены в эксплуатацию 300 блоков PWR-100 с торий содержащим топливом, отвечающих требованиям МАГАТЭ и СБ ООН к широкомасштабной ядерной энергетике. Согласно им необходимо использовать только ядерные топливные циклы, гарантирующие обеспечение режима нераспространения. Поэтому программа разработки любого ядерного топливного цикла должна включать анализ риска распространения ядерного оружия. То есть ядерный топливный цикл определяет всю деятельность, связанную с производством ядерной энергии от добычи урановых руд и руд всех элементов, применяемых в ядерной энергетике, до захоронения отходов.

Потребление природного урана в оптимизированном варианте реактора ВВЭР-1200:

- природный уран – 245.0 т/год;
- свежее топливо – 23.89 т/год.

Глубина выгорания топлива на ВВЭР-1200 составляет ~50 МВт сут/кг т.а. за счет использования тория-232. Повышение глубины выгорания торийсодержащего топлива изменяет изотопный состав выгоревшего топлива, обеспечивая режим нераспространения из-за снижения в нем количества делящихся изотопов.

Выводы

Открытый (однократный) топливный цикл наилучшим образом соответствует критериям экономичности, безопасности, нераспространения.

Литература

1. A. Galperin, M. Todosow. Thorium based fuel designed to reduce the proliferation potential and waste disposal requirements of light water reactors – Proceedings of OECD/NEA ARWIF-2001 conference – Advanced Reactors with Innovative Fuels, Chester, UK, October 22-24, 2001.
2. Juhn P. Thorium fuel cycle options for advanced reactors. Overview of IAEA activities. Villigen, Switzerland/NEA, 1998.
3. Weaver K.O., Herring J.J. Performance of Thorium-based mixed-oxide for the consumption of Plutonium in current and advanced reactors. Nuclear technology, 2003, v. 143, №1, p. 22-36.
4. Маршалкин В.Б., Трутнев Ю.А. Возможности торий-уранового топливного цикла в снижении риска распространения расщепляющих материалов. Ж. Альтернативная энергетика и экология, 2007, №11, с. 23-24.