

## **ПОЛУЧЕНИЕ МОКС-ТОПЛИВА КАК ОДИН ИЗ ЭТАПОВ ЗАМЫКАНИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

**Косарев И.Ю.,**

**научный руководитель д-р. техн. наук Власов О.А.**

***ГОСКОРПОРАЦИЯ РОСАТОМ ФГУП ГХК***

Особенностью атомной энергетики является длительность процесса внедрения инновационных решений по типу используемых реакторов и их топливному циклу. В то же время принятые в оптимальные сроки правильные решения в области инновационного развития определяют перспективы и экономическую привлекательность (конкурентоспособность) отрасли на десятилетия вперед.

Передовой с точки зрения технологии атомный реактор БН-800 готовится к запуску, однако промышленного производства топлива для него в стране нет. Официальный пуск строящегося реактора БН-800 на Белоярской атомной станции намечен на второй квартал 2014 года.

Урана Россия потребляет 5 тыс. тонн в год, а добывает только 3,4 тысячи. И если Россия продолжит интенсивное развитие АЭС, мы столкнемся с дефицитом урана еще раньше, чем с дефицитом нефти и газа. Таким образом, планы развития атомной энергетики нельзя признать надежно обеспеченными ресурсной базой природного урана.

Сейчас в России идет работа по созданию полномасштабного промышленного производства МОКС-топлива, но плановых объемов выпускаемой продукции реально достичь лишь к 2015 году. С учетом этих обстоятельств госкорпорация Росатом приняла решение о пуске БН-800 с так называемой гибридной активной зоной реактора, которая будет содержать 25% МОКС-топлива и 75% уранового оксидного (двуокиси урана). Изготовление МОКС-топлива для гибридной зоны началось в 2012 году на имеющихся в отрасли установках малой производительности. По мере создания промышленного производства МОКС-топлива реактор БН-800 будет постепенно переходить на него путем замены топлива из двуокиси урана. Формирование стационарной активной зоны реактора БН-800, предусмотренной проектом, начнется в 2015 году и будет завершено не позднее 2017 года.

В традиционных реакторах на тепловых (медленных) нейтронах в качестве горючего Россия использует  $U^{235}$ . Этот изотоп в любой единице массы добываемого урана составляет 0,7%, а оставшиеся 99,23% уходят в отвал. Отвал - это  $U^{238}$ , который не является ядерным топливом. И только в реакторе БН под действием быстрых нейтронов превращает неиспользованный  $U^{238}$  в  $Pu^{239}$ . Запасов  $U^{238}$  в мире скопилось в сто раз больше, чем располагаемых запасов  $U^{235}$  (на 50 - 60 лет). Выход из этой ситуации - создание ядерной энергетики на быстрых нейтронах.

Реактор БН-800, путем круговорота топлива между реакторами на быстрых и тепловых нейтронах, обеспечит формирование замкнутого ядерного топливного цикла и обеспечение атомной энергетики страны топливом на длительную перспективу за счет его воспроизводства.

Использование "оружейного" плутония в виде МОКС-топлива для гражданской атомной энергетики представляет одну из проблем, изучаемых во всем мире. Реализации процесса получения таблеточного МОКС-топлива, используемого в энергетических ядерных реакторах в промышленных масштабах, должен предшествовать процесс разработки технологии его производства.

Несмотря на то, что процесс производства таблеточного смешанного оксидного уран-плутониевого топлива давно освоен и изучены основные закономерности операций технологического процесса, новое производство с учетом всех особенностей и конкретных требований предприятий, выпускающих топливо, и предприятий, потребляющих это топливо, требует освоения и проверки на опытном промышленном участке. В России и мире нет опыта получения таблеточного МОКС-топлива в печах садочного типа с загрузкой 15-20 кг, и как следствие отсутствием данных по керамическим свойствам полученного продукта.

Для решения этой задачи, а также с целью пуска производства таблеточного МОКС-топлива в декабре 2014 года (в соответствии с ФЦП «ЯЭТНП») и обеспечения требуемой производительности для топливообеспечения реакторной установки БН-800 (Белоярская АЭС) выбрана площадка ФГУП «ГХК» для размещения опытного стенда в выработках Радиохимического завода.

#### **Задачи решаемые при выполнении НИР:**

1. Проведение исследований в промышленной садочной печи с проверкой рекомендованных ОАО «ВНИИНМ» режимов спекания с загрузкой (до 20 кг по МОКС), обеспечивающей проектную производительность производства, включающее:

– определение влияния расхода восстановительной газовой смеси на качество получаемых таблеток МОКС-топлива;

– оптимизация температурных режимов спекания;

– определение максимально возможной загрузки печи.

2. Отработка методик измерений ЦЗЛ, необходимых для тестирования качества топливных порошков и изготовленных таблеток.

3. Анализ результатов выполнения НИОКР с выдачей рекомендаций по режимам спекания (подготовка технологического регламента подготовки «мастер-смеси» и условий спекания).

На стенде будет размещается 11 защитных перчаточных боксов, для выполнения технологических операций по приему исходных продуктов, их смешиванию, прессованию, спеканию, определению плотности и геометрических размеров таблеток МОКС-топлива.

Для достижения соответствующей плотности должны быть проконтролированы три фактора.

1. Исходный порошок. Порошок  $UO_2$  и  $PuO_2$  обеспечивающий образование флюоритовой кубической фазы. Конечный контроль площади поверхности порошка и размеров зёрен.

2. Температура спекания. Спекание проводится в интервале температур  $1650^{\circ}C$ - $1700^{\circ}C$  для обеспечения обратной диффузии катионов.

3. Атмосфера. Для контроля окислительно-восстановительных процессов в смеси, используется смешанная атмосфера аргона и водорода.

Оборудование стенда располагается в герметичных защитных боксах, оснащенных перчатками (крагами) для проведения технологических операций и обслуживания оборудования. Плутоний является высокотоксичным соединением, поэтому к производству МОКС-топлива предъявляют повышенные требования к технике безопасности, которые значительно выше, чем в производстве топливных таблеток из  $UO_2$ .

#### **Основное содержание работ по НИР:**

1. Разработка проектов рабочих инструкций по определению насыпной плотности с утряской, прессуемости порошков, спекаемости, размера зерна и структуры таблеток, гидростатической плотности спеченных таблеток и фракционного состава, а также технологической документации участка тестирования.

2. Провести термодинамические, газодинамические и кинетические расчеты процесса спекания таблеток МОКС в садочных печах. Оценить условия моделирования процессов спекания таблеток МОКС-топлива и последующего масштабирования этих условий. Выполнить моделирование.

3. Определить причины деградации таблеток при увеличенных загрузках в садку:

– исследовать причины деградации таблеток при увеличенных загрузках, спровоцировав условия деградации таблеток (имитаторов и МОКС-топлива) в существующих лабораторных печах и найти режимы, препятствующие деградации таблеток;

– провести исследования в промышленной садочной печи на имитаторе и МОКС-топливе с учетом опыта исследований в лабораторных печах.

#### **Выполнение НИР позволит:**

– Выбрать необходимую производительность (до 20 кг), обеспечивающую получение таблеток, соответствующих ТУ на таблеточное МОКС-топливо для РУ БН-800.

Отработать технологические режимы спекания таблеток МОКС-топлива в садочной печи «GERO» и обеспечить внедрение их в производство.

#### **Где используется новое топливо**

Его давно и успешно применяют во многих ядерных державах для легководных реакторов типа PWR, получивших наибольшее распространение. МОКС-топливо используется в 33 реакторах Франции, Германии, Бельгии и Швейцарии. Получена лицензия и подана заявка на загрузку такого топлива еще в 22 реактора. В настоящее время топливо из регенерированного плутония используется все шире. Подтверждением тенденции к большему применению МОКС-топлива в легководных реакторах является намерение Японии перевести на МОКС-топливо в ближайшее время четыре реактора PWR и BWR, а далее завершить перевод 18 реакторов. Другим подтверждением служит решение Министерства энергетики США о проектировании установки FFF (Fuel Fabrication Facility) для изготовления МОКС-топлива с использованием и оружейного плутония. Полагают, что через 10 лет до 50 легководных реакторов будут работать с частичной загрузкой зоны МОКС - топливом.

В России расчетные исследования возможности использования энергетического плутония в реакторах ВВЭР-1000, легководных реакторах, аналогичных зарубежным PWR, проводятся уже более пятнадцати лет. В настоящее время проведены работы по модернизации топливного цикла реакторов ВВЭР-1000, что позволило достичь существенного улучшения целого ряда принципиальных параметров. В частности, эффективность аварийной защиты увеличена примерно на 25 процентов и снижен поток нейтронов на корпус реактора. Анализ расчетов активной зоны ВВЭР-1000 загруженной на одну треть МОКС - топливом, показал, что характеристики безопасности находятся в допустимых для этого типа реактора пределах.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Применение МОКС-топлива в десятки раз повышает эффективность сырьевых топливных ресурсов атомной энергетики. Наилучшим образом это достигается при использовании МОКС-топлива в реакторах на быстрых нейтронах, расширенное использование которых позволит замкнуть ядерный топливный цикл, что и является основной стратегической задачей развития быстрых реакторов. Замкнутый топливный цикл избавляет от необходимости разрабатывать новые труднодоступные месторождения урана и проводить его дорогостоящее обогащение.