

## **МАТЕРИАЛЫ РЕАКТОРОВ НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ**

УДК 621.039.4

### **КОНВЕРСИЯ ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО ТОПЛИВА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ ИНИЦИАТИВЫ**

**И. Вишневский<sup>1</sup>, В. Слисенко<sup>1</sup>, В. Боднар<sup>1</sup>, И. Большинский<sup>2</sup>, Дж. Дьюес<sup>2</sup>,  
Н. Мазина<sup>1</sup>, В. Макаровский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>**Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина;**

<sup>2</sup>**Национальная ядерная администрация по безопасности**

**Министерства энергетики США**

**E-mail: slisenko@kinr.kiev.ua**

Министерство энергетики США и Национальная администрация по ядерной безопасности выступили с инициативой по снижению риска хищения и незаконного использования ядерных и радиоактивных материалов. В рамках этой инициативы при выполнении программы возврата российского топлива с исследовательских реакторов (RRRFR) обслуживающий персонал и специалисты осуществили возврат высокообогащенного топлива в РФ и выполнили конверсию исследовательского реактора ИЯИ НАН Украины на топливо с низкообогащенным ураном (НОУ < 20 % U-235). Были также выполнены работы по модернизации систем, важных для безопасной эксплуатации реактора. Украина выполнила свои международные обязательства и в срок освободила свою территорию от высокообогащенного урана.

В мировой практике рассматриваются три варианта обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ): *отложенное решение* (т.е. временное хранение ОЯТ до принятия решения о его дальнейшей утилизации), *переработка* и *захоронение*. Анализ стоимости последних двух вариантов указывает на их незначительную разницу в общих затратах ядерного топливного цикла (ЯТЦ), и важную роль при определении политики в области ЯТЦ играют соображения национальной энергетической политики, воздействие на окружающую среду, приемлемость для общественности. В Украине, как и во многих странах, принят первый вариант – *отложенное решение*. Этот вариант предусматривает наличие хранилищ для длительного хранения ОЯТ. И если для АЭС такие хранилища уже планируются, строятся и эксплуатируются, то ОЯТ исследовательских ядерных реакторов хранится в бассейнах выдержки, которые не предназначены для длительного хранения. Кроме того, в исследовательских реакторах используется топливо с высоким обогащением (содержание U-235 более 20 %), что представляет потенциальную угрозу мировому сообществу.

В 2004 году Министерство энергетики США и Национальная администрация по ядерной безопасности выступили с инициативой по снижению риска хищения и незаконного использования ядерных и радиоактивных материалов и обеспечению надежного хранения данных материалов (Глобальная инициатива по снижению угрозы (GTRI)). Одним из элементов GTRI является программа возврата высокообогащенного топлива исследовательских реакторов и высокообогащенных ядерных

материалов в страну, которая их произвела. Российская Федерация (РФ) поддержала эту инициативу, и 27.05.2004 года в Москве было подписано соглашение между правительствами РФ и США о возврате в РФ высокообогащенного, изготовленного в России, ядерного топлива исследовательских реакторов (так называемая Программа возврата российского топлива с исследовательских реакторов (RRRFR)). Через год президенты США и РФ подтвердили актуальность и необходимость осуществления деятельности в рамках GTRI.

В Украине работы по программе возврата высокообогащенного топлива в РФ начались в мае 2006 г. В ходе выполнения программы предусматривалось: осуществить конверсию исследовательского реактора на топливо с низкообогащенным ураном (НОУ < 20 % U-235), получить пробную партию топлива с НОУ и в случае возможности его использования получить такое топливо в эквиваленте вывезенному высокообогащенному урану (ВОУ), выполнить работы по повышению безопасности реактора, подготовить и утвердить необходимые документы, произвести необходимую техническую подготовку для вывоза ВОУ и вывезти его.

Последний вывоз ОЯТ с ИЯИ НАН Украины на ПО «Маяк» (РФ) был осуществлен в 1988 г. Поэтому на начало выполнения программы RRRFR на реакторе накопилось, в пересчете на одиночные, более 700 штук отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС). Это тепловыделяющие сборки (ТВС) типа ВВР-М2 и ВВР-М5 (М7) с 36 и 90 % обогащением по урану-235 соответственно.

ОТВС находились в хранилище, введенном в эксплуатацию одновременно с пуском реактора в

1960 г. Учитывая темпы заполнения хранилища и его ограниченную емкость, было принято решение о строительстве нового хранилища ОЯТ. Первоначально проектом предусматривалось создание дополнительного бассейна выдержки (БВ-2), в котором предполагалось временное хранение всего имеющегося на реакторе ОЯТ. По этому проекту БВ-2 был приспособлен для

использования российских контейнеров ТУК-19 (емкостью – 4 тройных или 16 одиночных ТВС типа ВВР-М2) для вывоза ОЯТ за пределы реактора. Однако с появлением контейнеров типа VPVR/M («Шкода», Чехия) было принято решение использовать их для вывоза ОТВС (емкость контейнера – 36 тройных или 108 одиночных ТВС такого же типа).



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

Учитывая различие в габаритах, весе и существенное различие в технологии загрузки ОТВС, возникла необходимость изменить проектную документацию: в части конструкции бака хранения ОЯТ; конструкции верхней биологической защиты (крышки) бака хранилища (рис. 1); грузоподъемного механизма (рис. 2); помещения (рис. 3), в котором находится БВ-2; линии транспортировки ОТВС из БВ-1 (старое хранилище ОЯТ) в БВ-2 (рис. 4). Изменения были выполнены, согласованы с регулирующими органами, и помещение с БВ-2 было построено и введено в эксплуатацию. Финансовую поддержку осуществляла Национальная ядерная администрация по безопасности Министерства энергетики США.

С целью обеспечения безопасности и создания нормальных условий обращения с ОТВС был выполнен ряд работ:

- установлен рельсовый путь и изготовлена тележка с электрическим приводом для перевозки внутреннего транспортного контейнера (рис. 5) из

реакторного зала в помещение БВ-2 и контейнера VPVR/M на специальную площадку;

- сделано специальное покрытие пола в месте проведения перегрузочных работ и в районе рельсовых путей для обеспечения возможности оперативной и качественной дезактивации в случае аварийной ситуации;

- установлена дополнительная система видеонаблюдения, цифровой записи и хранения информации, а также система управления телекамерами;

- установлена дополнительная система радиационного контроля (контроль и сигнализация о самоподдерживающейся цепной реакции, мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, объемной активности бета-аэрозолей; загрязненности радионуклидами инструмента, спецодежды и тела персонала, индивидуальной дозы облучения персонала);

- проведена соответствующая модернизация системы физической защиты и автоматической пожарной сигнализации;

- перестроена часть подъездных путей к помещению с БВ-2.

Таким образом, с технической точки зрения ИЯИ НАН Украины к декабрю 2009 года был готов к осуществлению вывоза ОТВС.

В апреле 2010 г. на Вашингтонском саммите по ядерной безопасности Президент Украины заявил о намерении Украины полностью освободиться от ВОУ до следующего саммита по ядерной безопасности (Сеул, Южная Корея, 26 марта 2012 года). Это решение позволило нам перейти к следующему этапу выполнения программы RRRFR, а именно, получению необходимых разрешений и отправке груза.

Для осуществления вывоза высокообогащенных ОТВС российского происхождения в регулирующих органах Украины были получены соответствующие разрешения и лицензии (разрешения Кабинета Министров Украины на вывоз ОТВС, Государственной санитарной эпидемиологической службы Министерства охраны здоровья Украины на проведение работ с источниками ионизирующих излучений; лицензии Государственного комитета ядерного регулирования Украины на перевозку

радиоактивных материалов, на осуществление деятельности, связанной с подготовкой, загрузкой, отправкой грузов и упаковок с ОЯТ).

Для получения лицензии были разработаны процедуры обеспечения качества относительно всех основных работ по перевозке; программа обеспечения качества; программа радиационного контроля; план аварийных мероприятий; отчет по анализу безопасности осуществления деятельности по перевозке радиоактивных материалов.

Также был разработан и согласован с компетентными органами маршрут перевозки опасного груза, утвержден сертификат конструкции упаковки регулирующим органом Украины, получены заключение о соблюдении ядерной и радиационной безопасности при экспорте радиоактивных материалов и разрешение Государственного комитета ядерного регулирования Украины на выполнение международных перевозок радиоактивных материалов, разрешение службы Государственного экспортного контроля Украины на передачу Российской Федерации ОТВС, выводы экологической экспертизы природоохранного ведомства Украины. Подготовлены документы и проведены таможенные процедуры при поступлении контейнеров в Украину и для отправки груза ОТВС в Российскую Федерацию.



Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

Погрузка ОТВС в транспортные контейнеры осуществлялась силами персонала реактора ВВР-М с участием специалистов Чешского института ядерных исследований. ОТВС, находящиеся в БВ-1, загружались во внутренний транспортный контейнер, который устанавливался на тележку с электрическим приводом и перевозился из реакторного зала в помещение БВ-2. Мостовым краном перегрузочный контейнер устанавливался на

специальное место БВ-2, где и происходила выгрузка ОТВС (рис. 6). Далее происходила перегрузка ОТВС из БВ-2 в контейнеры VPVR/M в присутствии представителей МАГАТЭ, Национальной ядерной администрации по безопасности Министерства энергетики США, ПО «Маяк». ОТВС, помещенные в контейнер VPVR/M, подвергались сушке, вакуумированию и заполнению гелем (рис. 7). Затем контейнеры проверялись на

герметичность, выполнялись радиационный контроль и, если это было необходимо, дезактивация. После подписания протокола радиометрических измерений, опломбирования представителем МАГАТЭ в присутствии представителей от российской стороны транспортные контейнеры погружались мостовым краном на тележку с электрическим приводом и доставлялись на специальную площадку, где автокраном загружались в контейнеры ISO (рис. 8).

Контейнеры ISO с заполненными контейнерами VPVR/M закрывались в присутствии представителей заинтересованных сторон и пломбировались представителями ПО «Маяк», сопровождающими груз с ОТВС на всем пути следования по железным дорогам Украины и Российской Федерации. После заполнения всех контейнеров ISO они загружались на автотрейлеры и в составе специальной колонны (рис. 9) доставлялись на железнодорожную станцию для формирования специального состава и отправки его в Российскую Федерацию (рис. 10). На границе с Российской Федерацией осуществлялась передача груза представителям ПО «Маяк». На всех этапах вывоза ОТВС (от погрузки на территории реактора

до выгрузки в ПО «Маяк») осуществлялась физическая защита контейнеров.

Первая партия из 748 ОТВС была отправлена на переработку в ПО «Маяк» в мае 2010 г., а в марте 2012 г. была отправлена вторая партия из 218 ОТВС (табл. 1). При отправке первой партии ОТВС заполнялись все ячейки транспортного контейнера VPVR/M, поскольку до погрузки ОТВС находились долгое время в бассейне выдержки, и значение полной активности ОТВС в контейнере не должно было превышать допустимого значения (3930 ТБк), то же и для значения полного остаточного тепловыделения ОТВС в контейнере (450 Вт). В случае отправки второй партии ОТВС необходимо было определить, какие ОТВС и в каком количестве надо размещать в транспортные контейнеры, чтобы не превысить допустимые значения, поскольку эти ОТВС были извлечены из АЗ реактора в декабре 2010 года в связи с полным переходом на низкообогащенное топливо. Как видно из табл. 1, в первом случае мы использовали семь полностью заполненных транспортных контейнеров, а во втором – четыре не полностью заполненных контейнера, что дало нам возможность удовлетворить требования безопасной транспортировки ОТВС.

Таблица 1

| Тип сборки                                   | ВВР-М2   | ВВР-М5 (М7) | ВВР-М2    |
|--|----------|-------------|-----------|
|  | май 2010 |             | март 2012 |
| Исходное обогащение, %                       | 36(20)   | 90          | 36        |
| Сборки: одиночные                            | 101      | 15(5)       | 38        |
| тройные                                      | 193(6)   | (5)         | 60        |
| Количество транспортных контейнеров          | 7        |             | 4         |
| Полная активность в контейнере, ТБк          | 2053     |             | 2790      |
| Полное остаточное тепловыделение, Вт         | 209,8    |             | 217,1     |
| Количество сборок (в пересчете на одиночные) | 748      |             | 218       |
| Общая масса U-235, кг                        | 11,864   |             | 5,146     |
| Общая масса U, кг                            | 55,780   |             | 19,354    |

Как уже упоминалось, целью выполнения программы являлась также конверсия исследовательского реактора на топливо с НОУ. В Украине работы по переводу реактора на топливо с НОУ начались в 2005 г. Совместно со специалистами Аргонской национальной лаборатории Министерства энергетики США была показана возможность использования топлива с НОУ в исследовательском реакторе ИЯИ НАН Украины без конструктивных изменений в АЗ реактора. Причем, снижение плотности потока не существенно, что позволяет выполнять необходимый объем исследований. Разработанное технико-экономическое обоснование и концептуальное решение об использовании топлива с НОУ (как вместе с ВОУ, так и самостоятельно) было согласовано в регулирующем органе в 2006 г.



Рис. 11

В октябре 2008 г. ОАО ТВЭЛ (Россия) поставило 33 сборки с НОУ, изготовленным на Новосибирском заводе химических концентратов (вид сборки показан на рис. 11, а сравнительные характеристики – в табл. 2). В декабре 2009 г. эти сборки были загружены в АЗ реактора и эксплуатировались вместе ВОУ. В декабре 2010 г. было поставлено 194 сборки, а в феврале 2012 г. – 200 сборок с НОУ.



| Технические характеристики             | Число секций в топливной сборке |       |      |       |
|--|---------------------------------|-------|------|-------|
|  | 1                               | 3     | 1    | 3     |
| Обогащение, %                          | 19,7                            |       | 36   |       |
| Число топливных элементов в сборке     | 3                               | 9     | 3    | 9     |
| Масса U-235 в топливной сборке, г      | 41,7                            | 125,1 | 37,5 | 112,5 |
| Высота активной части сборки, мм       | 500                             |       |      |       |
| Толщина покрытия, мм                   | < 0,5 min                       |       |      |       |
| Толщина трубок топливного элемента, мм | 2,5                             |       |      |       |

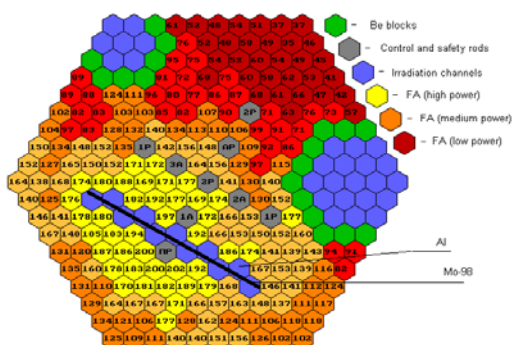


Рис. 12

В связи с международными обязательствами Украины о вывозе всего ВОУ с ее территории в декабре 2010 г. все сборки с ВОУ были удалены из АЗ реактора (на рис. 12 показана картограмма АЗ реактора, заполненной 205 ТВС с ВОУ).



Рис. 14

В АЗ реактора были догружены полученные сборки с НОУ, и в результате общее количество сборок с НОУ в АЗ реактора составило 88 штук (на рис. 13 показана картограмма АЗ реактора, заполненной ТВС с НОУ). Такое количество ТВС не позволило сразу выйти на номинальную мощность реактора (10 МВт), однако, со временем, удаляя бериллиевые отражатели (см. зеленые шестигранники на рис. 13) из АЗ и заполняя это пространство ТВС с НОУ, мы выйдем на номинальную мощность реактора. В декабре 2010 г. из ИЯИ НАН Украины было отправлено около 10 кг

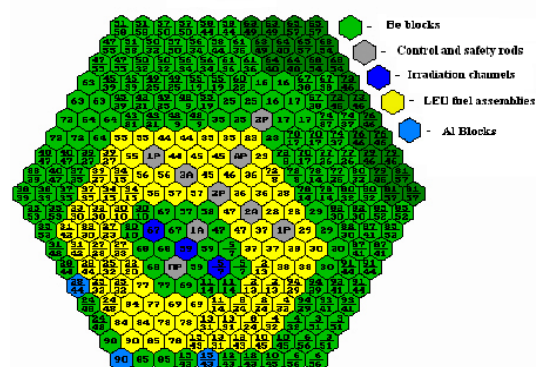


Рис. 13

необлученного ВОУ-топлива и специальных делящихся материалов российского происхождения в РФ. Это и плутониевые диски, и ВОУ (90 % по U-235) в форме таблеток, стержней и др. (рис. 14), а также ВОУ топливные сборки.

ВОУ и специальные делящиеся материалы под контролем представителей МАГАТЭ и заинтересованного учреждения РФ упаковывались в специальные контейнеры, загружались в транспортные контейнеры (рис. 15), в составе специальной колонны доставлялись в аэропорт и транспортировались в РФ.



Рис. 15

Таким образом, в результате шестилетней работы по программе RRRFR, в рамках глобальной инициативы по снижению угрозы, были модернизированы некоторые системы, важные для безопасной эксплуатации исследовательского ядерного реактора. Реактор переведен на топливо с НОУ, и из ИЯИ НАН Украины было вывезено 17 кг U-235 в составе высокообогащенного ОЯТ и около 10 кг ВОУ-топлива и специальных делящихся материалов. Учитывая тот факт, что параллельно с вывозом из ИЯИ НАН Украины был осуществлен

вывоз ВОУ и с других учреждений Украины до Сеульского саммита 2012 г., Украина в срок выполнила свои международные обязательства и полностью освободила свою территорию от ВОУ.

Основные материалы данной работы докладывались на Научно-техническом семинаре-

совещании «Развитие атомной энергетики России и Украины – фактор устойчивого межгосударственного сотрудничества», который проходил в г. Сочи, 10–12 сентября 2012 г.

*Статья поступила в редакцию 18.06.2013 г.*

## **КОНВЕРСИЯ ВИСОКОЗБАГАЧЕНОГО ПАЛИВА ДОСЛІДНИЦЬКОГО РЕАКТОРА В РАМКАХ МІЖНАРОДНОЇ ІНІЦІАТИВИ**

*І. Вишневський, В. Слісенко, В. Боднар, І. Болшинський, Дж. Д'ьюес, Н. Мазіна, В. Макаровський*

Міністерство енергетики США та Національна адміністрація з ядерної безпеки виступили з ініціативою щодо зниження ризику викрадення та незаконного використання ядерних та радіоактивних матеріалів. У рамках цієї ініціативи під час виконання програми повернення російського палива з дослідницьких реакторів (RRRFR) обслуговуючий персонал та спеціалісти здійснили повернення високозбагаченого палива до РФ і виконали конверсію дослідницького реактора ІЯД НАН України на паливо з низькозбагаченим ураном (НЗУ < 20 % U-235). Було також виконано роботи з модернізації систем, важливих для безпечної експлуатації реактора. Україна виконала свої міжнародні зобов'язання і в строк звільнила свою територію від високозбагаченого урану.

## **CONVERSION OF HIGHLY ENRICHED FUEL OF THE RESEARCH REACTORS IN THE FRAMEWORK OF INTERNATIONAL INITIATIVES**

*I. Vyshnevskiy, V. Slisenko, V. Bodnar, I. Bolshynskiy, J. Dewes, N. Mazina, V. Makarovskiy*

U.S. Department of Energy and the National Nuclear Security Administration launched an initiative to reduce the risk of theft and illegal use of nuclear and radioactive materials. In the framework of this initiative in the performance of the Russian fuel return program from the research reactors (RRRFR) the staff and experts made the restitution of highly enriched fuel to Russia and performed the conversion of the INRNAS of Ukraine research reactor to the fuel with low-enriched uranium (LEU < 20 % U-235). The works were also carried out on the systems modernization which are important to the safe operation of the reactor. Ukraine has fulfilled its international obligations and released the territory from the highly enriched uranium in time.