

# ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ ПРИ ВЫВОЗЕ НА ПЕРЕРАБОТКУ

## SPENT FUEL FROM RESEARCH REACTORS – REMOVAL FOR REPROCESSING

В.Г. ВОЛКОВ, *д.т.н.*,

А.А. ДРОЗДОВ,

В.П. ЕВСТИГНЕЕВ,

Ю.А. ЗВЕРКОВ, *к.т.н.*,

С.Г. СЕМЕНОВ,

А.В. ЧЕСНОКОВ, *к.ф.-м.н.*

(РНИЦ «Курчатовский институт»)

А.Э. АРУСТАМОВ, *к.т.н.*

(ГУП МосНПО «Радон»)

V.G. VOLKOV, *Doctor of Technical Science,*

A.A. DROZDOV,

V.P. YEVSTIGNEYEV,

Y.A. ZVERKOV, *Candidate of Technical Science,*

S.G. SEMENOV,

A.V. CHESNOKOV,

*Candidate of Physics and Mathematic Science*

(Kurchatov Institute)

A.E. ARUSTAMOV, *Candidate of Technical Science*

(Radon Moscow)

■ В 2004 году после 10-летнего перерыва в РНИЦ «Курчатовский институт» был возобновлен вывоз на переработку накопленного отработавшего ядерного топлива исследовательских реакторов. К настоящему времени на ПО «Маяк» отправлено восемь эшелонов ОЯТ; с территории центра удалено 376 отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС). Последние два года удалялось ОЯТ реакторов ВВР-2 и ОР, хранилища которого расположены на территории комплекса «Газовый завод».

■ In 2004, after a 10-year break, the Kurchatov Institute resumed the removal for re-processing of its backlog of spent nuclear fuel from its research reactors. By now, eight train-loads of spent fuel have gone to the Mayak Plant; a total of 376 spent fuel assemblies (SFAs) have been removed from the Institute site. During the last two years, removal was performed of the spent fuel from the VVR-2 and OR reactor installations, whose storage facilities are located within the Gas Plant complex.

### ОСОБЕННОСТИ ОЯТ КОМПЛЕКСА «ГАЗОВЫЙ ЗАВОД»

Комплекс «Газовый завод» является экспериментальной базой Института ядерных реакторов РНИЦ «Курчатовский институт». В 1954 году на его территории был пущен первый в Советском Союзе исследовательский реактор ВВР-2 водо-водяного типа на обогащенном уране, до 1983 года здесь эксплуатировались два исследовательских водо-водяных реактора мощностью 3 МВт (ВВР-2) и 300 кВт (ОР), демонтированные в связи с реконструкцией комплекса. ОЯТ, хранящиеся в настоящее время на территории комплекса, является результатом перегрузок топлива реакторов, а также выгрузки из них ОЯТ при реконструкции объекта.

В реакторах использовались тепловыделяющие сборки, содержащие 16 и 11 твэлов (рис. 1). В реакторе ВВР-2 применялись также сборки из восьми и четырех твэлов.

В начале 2007 года во временных «мокрых» хранилищах ОЯТ на объекте находилось 300 ОТВС, 70% сборок содержали топливо типа  $UO_2$  MgO с обогащением 10% (ЭК-10), около 30% – топливо типа UAl с обогащением 36% (С-36).

На территории комплекса имеется четыре хранилища ОЯТ, одно в специальном здании хранилищ ОЯТ и ТРО (здании 209) и три в реакторном зале. Они представляют собой заглубленные емкости, заполненные водой (объем воды в каждом хранилище – около 6 м<sup>3</sup>), закрытые защитными плитами. В нижней части емкостей расположены специальные конструкции, включающие в себя поглотители для обеспечения ядерной безопасности и ячейки для размещения ОТВС.

### SPECIFICS OF SPENT FUEL FROM THE GAS PLANT COMPLEX

The Gas Plant complex is the experimental base of the Institute of Nuclear Reactors, which is part of the Kurchatov Institute. In 1954, it saw the commissioning of the first Soviet water-cooled water-moderated research reactor VVR-2 on enriched uranium, and until 1983 the complex operated two research water-cooled water-moderated reactors 3 MW (VVR-2) and 300 kW (OR) capacity, which were dismantled in connection with the overall upgrades of the complex. The spent fuel that is currently stored at the complex is the result of reloading of the reactors fuel, as well as discharge of spent fuel performed during the upgrades.

The reactors used fuel assemblies that contained 16 (fig. 1) and 11 fuel rods. The VVR-2 reactor also used assemblies consisting of eight and four fuel rods.

In early 2007, the temporary “wet” storage facilities for spent fuel on the site accommodated 300 SFAs, 70% of which contained  $UO_2$  MgO fuel enriched to 10% (EK-10), and the remaining 30% UAl fuel enriched to 36% (S-36).

The complex features four storage facilities for spent fuel, one in a dedicated building for storage of spent fuel and solid radwaste (building 209) and three in the reactor building. They are sub-surface vessels filled with water (the volume of water in each is about 6 m<sup>3</sup>), closed with top shielding slabs. The lower part of the vessels features special structures that include absorbers for the assurance of nuclear safety and the cells that accommodate the SFAs.

Preliminary inventory check of the storage facilities revealed that some of the SFAs have structural deviations in terms of shape and size, as well as surface contaminations with organic coolant (monoisopropyldiphenyl  $C_{15}H_{16}$ ). The results of spectrometry analysis demonstrated that there has been no direct contact between the fuel material inside the fuel rods and

Предварительная инвентаризация хранилищ показала, что некоторые ОТВС имеют конструктивные нарушения, изменения размеров и формы, а также поверхностные загрязнения органическим теплоносителем (моноизопропилдифинил  $C_{15}H_{16}$ ). Результаты спектрометрического анализа показали, что прямого контакта топливной композиции твэлов с водой нет. Это позволяет загружать ОТВС непосредственно в чехлы транспортных упаковочных комплектов (ТУК).

### ТРЕБОВАНИЯ К ОТВС ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ

Условия поставки ОТВС на переработку, сформулированные в руководящем документе (ОСТ 95 10297-95), включают в себя следующие требования.

Отработавшие сборки должны проверяться на герметичность оболочек твэлов по методике, согласованной научным руководителем или главным конструктором предприятия-разработчика ТУК и заводом по регенерации. Методика должна обеспечивать выявление ОТВС с дефектами, приводящими к контакту топливной композиции с водой хранилища.

ОТВС не должны иметь:

- нарушений конструктивной целостности, то есть не должны быть оборванными, обрезанными, оплавленными и т.д.;
- существенных отклонений геометрической формы и размеров;
- повреждений, затрудняющих их загрузку в чехол для ОТВС и выгрузку из него по штатной технологии;
- повреждений захватного устройства, препятствующих нормальной работе соответствующего инструмента;
- нарушений герметичности твэлов, приводящих к контакту топливной композиции с водой хранилища ОЯТ и теплоносителем в ТУКе (допускается наличие микродефектов и соответствующей «газовой неплотности» оболочек твэлов);
- ила и других загрязнений на поверхности.

Поставка ОТВС, не отвечающих требованиям стандарта, может осуществляться по отдельным техническим условиям.

В 2007 году в хранилище здания 209 были отображены 50 ОТВС с твэлами с обогащением 36%, которые отвечали условиям поставки их на завод регенерации по ОСТ 95 10297-95.

### ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБРАЩЕНИЯ С ОТВС

При отправке этого ОЯТ особое внимание уделили разработке транспортно-технологической схемы обращения с ОТВС, позволяющей решить проблемы загрузки ОТВС в ТУК непосредственно на площадке «Газового завода» и транспортировки ТУК с ОТВС автотранспортом по городу на основную территорию РНЦ «Курчатовский институт», где производилась установка ТУК в вагон-контейнер.

Были рассмотрены несколько вариантов загрузки ОТВС в ТУК, для чего проведены расчетные и экспериментальные исследования транспортных операций с учетом радиационной обстановки.

В результате для окончательной проработки была выбрана транспортно-технологическая схема, включающая загрузку ТУК-19 под слоем воды, что обе-



Рис. 1. Тепловыделяющая сборка (сечение 68×68 мм, длина 700 мм, масса около 3,5 кг) и отдельные твэлы реактора ВВР-2

Fig. 1. Fuel assembly (section 68×68 mm, length 700 mm, weight about 3.5 kg) and individual fuel rods of the VVR-2 reactor

the water. This means that the SFAs can be loaded directly into the baskets of transport overpacks.

### REQUIREMENTS TO SFAS TO BE SENT FOR REPROCESSING

The conditions for SFAs delivery for reprocessing, as formulated in the code OST 95 10297-95, include the following requirements.

The spent assemblies must be checked for leak-tightness of fuel rod claddings following the process approved by the scientific director or chief designer of the transport overpacks and the re-processing plant. The process must ensure detection of SFAs with defects that can cause contact between the fuel material and the water of the storage facilities.

The SFAs must not have:

- structural integrity disruptions, i.e. breaks, tears, melts, etc.;
- considerable deviations from the prescribed geometry and shape;
- damages that would make difficult the loading of the SFA into the basket and its retrieval using standard methodology;
- damages of the grapple that would hamper normal operation of the respective ancillaries;
- breaches in the fuel rod claddings that cause contact between the fuel material and the water of the spent fuel storage facilities and the coolant in the transport overpack (permissible are micro-defects and the respective non-air-tightness of the fuel rod claddings);
- silt and other surface contaminants.

Delivery of SFAs that do not meet the standard requirements may be performed under separate technical specifications.

In 2007, 50 SFAs from the storage facilities of building 209 were picked out with 36% enrichment, which met the requirements for shipment to the re-processing plant according to OST 95 10297-95.

### OUTLINE OF LOADING OPERATIONS FOR SFAS

When shipping the spent fuel, particular attention was paid to be development of the SFAs loading operations, that would address the problem of loading the SFAs into the transport overpacks directly at the Gas Plant complex site and transporting the overpacks with SFAs by trucks across the city to the main site of the Kurchatov Institute, where the transport overpacks could be loaded onto the transport wagon.

Several options were considered of SFAs loading into the transport overpacks, for the purpose of which calculations and experiments were carried out to investigate the transport operations, taking into account the radiological situation.

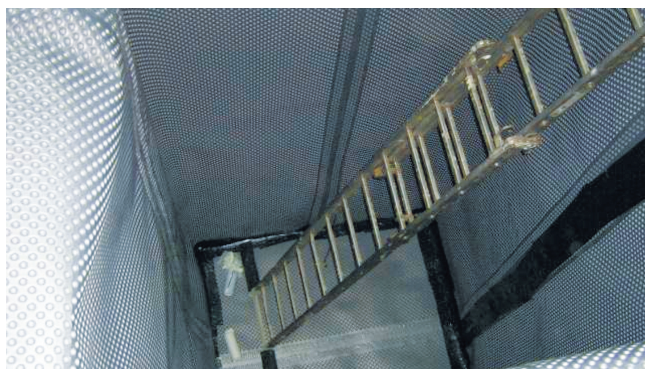


Рис. 2. Внешний вид «бассейна загрузки»  
Fig. 2. Appearance of the "loading pool"

спечивало прямую видимость операций, защиту персонала слоем воды, простоту работы, использование объектового перегрузочного контейнера ПК-2100 и расположенной в здании 209 кран-балки грузоподъемностью 5 т.

В соседнем отсеке здания 209 одно из хранилищ РАО было специально переоборудовано в «бассейн загрузки», заполненный водой, для установки в нем ТУК-19. Хранилище было гидроизолировано, сооружена специальная подставка для установки ТУК-19, модернизирована штатная траверса для обеспечения работы с ТУК, оборудована система очистки (осветления) воды и т.д.

Таким образом, транспортно-технологическая схема включала в себя:

- доставку автотранспортом ТУК-19 от железнодорожной ветки РНЦ «Курчатовский институт» на территорию объекта «Газовый завод» и установку его в специально сооруженном стапеле;
- подачу ТУК-19 в помещение хранилища ОЯТ с помощью автопогрузчика;
- подготовку ТУК-19 к установке его в «бассейн загрузки» и загрузке ОТВС (снятие крышки, установку в чехол подставок под ОТВС, зачистку на специальной траверсе для спуска в бассейн);
- установку ТУК-19 в «бассейн загрузки»;
- выгрузку ОТВС из хранилища ОЯТ и загрузку ее в ТУК-19 по специальной технологии с использованием перегрузочного контейнера ПК-2100 для внутриобъектовых перемещений сборки и кран-балки (рис. 3);
- установку крышки ТУК-19, находящегося в «бассейне загрузки» и загруженного ОТВС;
- извлечение ТУК-19 из «бассейна загрузки», уплотнение крышки, проверку на герметичность и радиационный контроль загруженного контейнера в соответствии с инструкцией на его эксплуатацию, перевозку ТУК с помощью автопогрузчика на стапель-накопитель;
- опломбирование крышек ТУК, погрузку его на спецавтотранспорт, доставку автотранспортом с площадки объекта «Газовый завод» на железнодорожную ветку РНЦ «Курчатовский институт» и погрузку его в вагон-контейнер.

По этой схеме с объекта в 2007 году было отправлено 12 ТУК-19 с 48 ОТВС типа С-36. Отработанная схема загрузки ОЯТ в ТУК-19 была утверждена для последующих отправок ОЯТ в 2008-2009 годах.

As a result, chosen for final development was the loading process that involved the loading of the TUK-19 overpack under a layer of water, which would assure direct visibility of the loading operations, shielding of personnel, simplicity of operation, utilisation of the available on-site transfer cask PK-2100 and overhead crane in building 209, lifting capacity 5 tonnes.

In a neighbouring compartment of building 209, one of the radwaste storage facilities was re-fitted to be used as a loading pool, filled with water that would receive the TUK-19 overpack. The storage facility was hydraulically sealed, and a special pedestal was constructed for the TUK-19 to be sat upon, with upgrades to the standard lifting yoke to enable operations with the transport overpacks, and installation of a water treatment system, etc.

Therefore, the loading process would feature:

- delivery by motor transport of the TUK-19 from the rail road spur from the Kurchatov Institute to the Gas Plant complex site and positioning it in a dedicated slipway;
- delivery of TUK-19 into the spent fuel storage facility using a forklift;
- preparation of TUK-19 for installation into the "loading pool" and loading of the SFAs (lid removal, loading into the basket the SFA supports, splice on a special beam for lowering into the pool);
- installation of the TUK-19 into the "loading pool";
- removal of the SFAs from the storage facilities and installation into the TUK-19 using the specialised transfer cask PK-2100 for on-site movements of the assemblies and the overhead crane (fig. 3);
- installation of the lid upon the TUK-19 positioned in the "loading pool" and loaded with SFAs;
- removal of the TUK-19 from the "loading pool", tightening of the lid, leak-tightness test and radiation inspection of the loaded cask as per the cask operation manual, transfer of the overpacks using the forklift onto the buffer storage slipway;
- sealing the lids of the transport overpacks, loading them onto the special motor transport vehicle, and delivery by motor transport from the Gas Plant complex to the rail road leading to the Kurchatov Institute and loading it onto the rail wagon.

This process was used in 2007 to ship 12 TUK-19 containing 48 S-36 SFAs. The spent fuel loading process into the TUK-19 was approved for subsequent shipments of spent fuel during 2008-2009.

#### METHODS OF SFA IDENTIFICATION BY TYPE OF FUEL RODS

A vital issue of the 2008 campaign, which needed to be resolved before the loading of the SFAs into the TUK-19, was the need to perform identification of the SFAs by type of fuel rods. OST 95 10297-95 prohibits mixed loading of SFAs with different fuel rod types into the same transport overpack; but at the same time the fuel rods that contain various types of fuel material ( $UO_2$ , MgO or UAl) are identical in appearance and outside geometry.

In order to resolve the problem, methodologies were developed for identification of the SFAs. The first methodology provides for weighing of the assemblies and the individual fuel rods under a layer of water inside the storage facilities and comparing their weight to the weight of non-irradiated fuel rods with a known fuel type. The weighing was performed using the electronic digital scale Fisherman Champion 25 with 2% precision. The difference in weight between fuel rods of



### МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТВС ПО ТИПАМ ТВЭЛОВ

Принципиальным вопросом работ 2008 года, который необходимо было решить до загрузки ОТВС в ТУК-19, была необходимость идентификации ОТВС по типам твэлов. ОСТ 95 10297-95 запрещает смешанную загрузку ОТВС с твэлами разного типа в один ТУК, между тем твэлы, содержащие разные типы топлива ( $UO_2$ , MgO или UAl), идентичны по внешнему виду и геометрическим размерам.

Для решения проблемы были разработаны методики идентификации ОТВС. Первая предполагает взвешивание сборок и отдельных твэлов под слоем воды в хранилище и сравнение их веса с весом необлученных твэлов с известным типом топлива. Взвешивание проводилось с использованием электронного цифрового безмена типа «Fisherman Champion 25» с точностью 2%. Разница в весе твэлов разных типов в среднем составила 30 г. Были изготовлены приспособления для извлечения твэлов из ОТВС и их взвешивания.

В основе второй методики определения характеристик ОЯТ спектрометрическим способом [2] лежит измерение аппаратурного спектра излучения, как материалов самого ядерного топлива, так и продуктов деления. Для проведения измерений в помещении хранилища ОЯТ (здании 209) была сооружена экспериментальная установка, включающая в себя необходимую спектрометрическую аппаратуру высокого разрешения и свинцовый защитный «домик» для установки в нем ОТВС и твэлов.

Метод взвешивания оказался более простым в осуществлении, обеспечивающим радиационную безопасность персонала, поскольку операции выполняются под защитным слоем воды бассейна.

В результате подготовительных работ были отобраны ОТВС для отправки на ПО «Маяк». Методом взвешивания была обеспечена комплектация загрузки 20 ТУК-19, вывезенных с территории «Газового завода» в 2008-2009 годах. Было отправлено 96 ОТВС, в том числе, с твэлами типа ЭК-10 – 68 штук, с твэлами типа С-36 – 28 штук, всего 1148 твэлов. Спектрометрический способ определения характеристик облученного ядерного топлива служил независимым методом контроля при выполнении этой работы.

\*\*\*

В процессе многолетних работ по вывозу ОЯТ использовались не только стандартные ТУК-19 (вес – 5 т, вместимость – четыре ОТВС ВВР-2), но и разработанные специально для транспортирования топлива исследовательских реакторов ТУК-128 весом 10 т и вместимостью до 20 ОТВС [2]. За это время восстановлены технологические схемы безопасного выполнения операций по загрузке ОТВС в ТУК-19 и ТУК-128, реконструировано все необходимое оборудование, решены основные организационные и технические вопросы. Сегодня работы по вывозу ОЯТ ведутся совместно специалистами Курчатовского института и компании «Альянс-гамма».

#### Литература:

1. Потапов В.Н. и др. Спектрометрический способ оценки характеристик отработавшего ядерного топлива / В.Н. Потапов, А.Г. Волкович, Ю.Н. Смирский // – Атомная энергия. – 2009. – Т.106, вып. 5. – С. 273–277.
2. Волков В.Г. и др. Подготовка и вывоз на переработку отработавшего ядерного топлива ВВР-2 и ОР РНЦ «Курчатовский институт» / В.Г. Волков, А.Г. Волкович, А.С. Данилович и др. // – Атомная энергия. – 2009. – Т. 106, вып. 4. – С. 201–209.

various types in average was determined to be 30 g. Accessories were fabricated for the removal of fuel rods from the SFAs and their weighing.

The second methodology was based on measuring the characteristics of the spent fuel by spectrometry [2], determining the spectrum of radiation emitted by both the fuel material and the fission products. For the purpose of measurements, the spent fuel storage facility (building 209) was equipped with an experimental installation that included the necessary high-definition spectrometry instruments and a lead shield “house” to accommodate the SFAs and the fuel rods.

The weighing method proved to be simpler, and safer in terms of personnel exposure, as the operations are performed under a layer of shielding water of the pool.

As a result of the preparations, a certain number of SFAs were chosen for sending to the Mayak Plant. Weighing was used to find enough assemblies to load twenty TUK-19 overpacks, which were transported from the Gas Plant complex during 2008-2009. A total of 96 SFAs were shipped, including 68 with EK-10 fuel rods, and 28 with S-36 fuel rods, making it a total of 1,148 fuel rods. The spectrometry method of spent fuel characterization was used as an independent verification method.

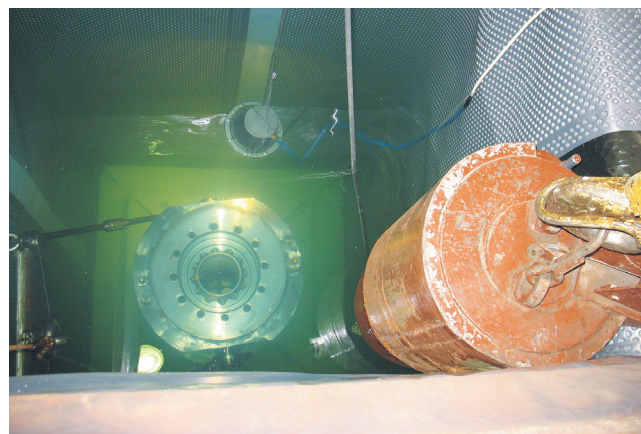


Рис. 3. Загрузка ОТВС в ТУК-19  
Fig. 3. SFAs loading into the TUK-19

\*\*\*

Over the many years of spent fuel movement operations, not just the standard TUK-19 overpacks (weighing 5 tonnes, capacity 4 VVR-2 SFAs) were used, but also the TUK-128 overpacks designed specifically for transport of spent fuel from research reactors, weighing 10 tonnes and capacity up to 20 SFAs [2]. Over this time, measures were undertaken to restore the safe SFAs loading processes for the TUK-19 and TUK-128 overpacks, upgrades were performed on all of the involved equipment, and resolutions were found to the key administrative and technical issues. Today SNF exportation is jointly being done by specialists of the Kurchatov Institute and of “Alyans Gamma”

#### References:

1. Potapov V.N., Volkovich A.G., Simirsky Yu.N. Spectrometry analysis of spent nuclear fuel characteristics. «Atomic Energy». 2009 - Vol. 106, issue 5. Pages 273-277.
2. Volkov V.G., Volkovich A.G., Danilovich A.S. Preparation and transportation of SNF from VVR-2 and the Kurchatov Institute reactors for reprocessing. «Atomic Energy». 2009 - Vol. 106, issue 4. Pages 201-209.