



# ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№2

2017

## СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

### О ПЕРЕРАБОТКЕ ОЯТ РЕАКТОРОВ ВВЭР

Основные проблемы, стоящие перед атомной энергетикой, – это обращение с отработавшим ядерным топливом, радиоактивными отходами, проблемы сырьевого ресурса ядерного топлива. Переработка отработавшего ядерного топлива с «замыканием» ядерного топливного цикла энергетических реакторов рассматривается мировым ядерным сообществом как стратегическое направление обращения с ОЯТ, позволяющее повысить безопасность обращения и снизить объемы отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов, создать предпосылки для вовлечения в ядерный топливный цикл всех ресурсов ядерного топлива.

В настоящее время основная масса отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) энергетических реакторов находится на промежуточном хранении. Причины сравнительно невысоких объемов переработки ОЯТ обусловлены проблемами, присущими достигнутому уровню технологий переработки, – экологическими (сбросы жидких радиоактивных отходов) и экономическими (высокая стоимость переработки и низкая доля использования делящихся нуклидов из ОЯТ).

Последовательное улучшение экологических и экономических параметров переработки является базовой тенденцией развития технологий переработки ОЯТ. Новые технологии должны быть экологически безопасными, исключая попадание в окружающую среду радиоактивных отходов (РАО), включая жидкие и газообразные, экономически привлекательными, чтобы затраты на переработку были сопоставимы с расходами на длительное хранение и значительно дешевле прямого захоронения ОЯТ. Выделенные полезные вещества должны быть в дальнейшем использованы, а неиспользуемые компоненты безопасно утилизированы.

В основе всех современных технологических схем переработки ОЯТ лежат экстракционные процессы, чаще всего Пьюрекс-процесс. Он подразумевает экстракционное извлечение ценных компонентов из раствора после растворения предварительно измельченных отработавших тепловыделяющих сборок. При этом водная переработка ОЯТ имеет значительный потенциал развития, технологии на базе Пьюрекс-процесса продолжают развиваться и совершенствоваться. С экологической точки зрения можно выделить четыре поколения технологий переработки. Каждое последующее поколение заводов по переработке ОЯТ имеет значительно улучшенные экологические показатели. Конкретные схемы переработки отличаются набором применяемых реагентов, последовательностью отдельных технологических стадий, аппаратным оформлением.

Политика Российской Федерации в области обращения с ОЯТ основывается на принципе его переработки для обеспечения экономически выгодного и экологически приемлемого обращения с продуктами деления и возврата в ядерный топливный цикл регенерированных ядерных материалов с целью реализации концепции замкнутого

топливного цикла на основе тепловых и быстрых реакторов. Реализация концепции обеспечит сохранение конкурентоспособности атомной энергетики по отношению к альтернативным видам генерации, стабилизацию ресурсной базы для тепловых реакторов (в условиях конечности запасов природного урана, нестабильности и неопределенности мировых цен на уран), укрепление режима нераспространения ядерных материалов. Комплексное решение проблемы обращения с ОЯТ и РАО через замыкание ядерного топливного цикла уже в среднесрочной перспективе позволит избежать ее перекладывания на будущие поколения.

Главный принцип стратегии РФ по переработке – централизация обращения с ОЯТ. Гибкость инфраструктурной стратегии Госкорпорации «Росатом» в формировании системы обращения с ОЯТ заключается в наличии двух центров: Федерального государственного унитарного предприятия «ПО «Маяк» (ФГУП «ПО «Маяк») и Федерального государственного унитарного предприятия «Горно-химический комбинат» (ФГУП ГХК). Это обеспечивает оптимизацию технико-экономических решений по обращению с отработавшим топливом всей имеющейся номенклатуры, а также в перспективе с ОЯТ реакторов нового поколения. На этих комплексах при хранении и переработке ОЯТ отрабатываются, уже частично применяются и планируются к применению новые технологии.

### **Радиохимическое производство ПО «Маяк»**

В настоящее время основные компетенции в области радиохимической переработки ОЯТ сосредоточены на единственном действующем производстве – радиохимическом заводе «Маяк» или РТ-1 (аббревиатура от «регенерации твэлов»). На РТ-1 на сегодняшний день осуществляется переработка практически всей имеющейся номенклатуры ОЯТ и топливных композиций реакторов энергетического назначения, транспортных энергетических судовых установок подводного и надводного морского флота, исследовательских реакторов, промышленных реакторов «Маяка», СХК и ГХК.

Технологической схемой является модифицированный Пьюрек-процесс. При переработке по этой схеме помимо урана и плутония возможно также выделение нептуния. Кроме этого, на РТ-1 имеется установка фракционирования высокоактивных отходов по выделению нуклидов для производства изотопной продукции. Федеральной целевой программой РФ по ядерной и радиационной безопасности на ПО «Маяк» предусмотрено выполнение мероприятий по модернизации технологических схем переработки ОЯТ для снижения объемов радиоактивных отходов, а также обеспечения возможности приема и переработки всех типов отработавшего топлива, включая те, которые до настоящего времени не перерабатывались.

Так, в декабре 2016 года была вывезена на «Маяк» и уже переработана первая партия отработавшего ядерного топлива ВВЭР-1000 Ростовской АЭС. До конца 2017 года был запланирован вывоз 20 тонн топлива ВВЭР-1000 с Балаковской АЭС. На «Маяке» радиоактивные отходы от переработки ОЯТ ВВЭР-1000 остекловываются и размещаются на долговременное хранение.

По заявлению представителя руководства завода, «Маяк» практически готов к промышленной переработке ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200, а также готов регенерировать любое ОЯТ зарубежного дизайна и имеет возможности перерабатывать дефектные топливные сборки.

### **Перспективы радиохимического производства на Горно-химическом комбинате**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат» – ключевое предприятие Росатома по созданию технологического комплекса замкнутого ядерного топливного цикла на основе инновационных технологий нового поколения. На ГХК впервые в мире будут сосредоточены сразу три высокотехнологичных передела – хранение отработавшего ядерного топлива реакторов АЭС, его переработка и производство нового МОХ и REMIX топлива.

Предполагается, что этот комплекс, обладая достаточной технологической гибкостью, обеспечит хранение, крупнотоннажную переработку ОЯТ и выпуск «свежего» топлива для

энергетических реакторов как на быстрых, так и на тепловых нейтронах различного дизайна, в том числе зарубежного.

На ГКХ строится опытно-демонстрационный центр (ОДЦ, прототип завода 3-го поколения) по переработке ОЯТ с целью получения достоверных исходных данных для проектирования и сооружения крупномасштабного перерабатывающего комплекса, включая завод РТ-2.

На ОДЦ будут отрабатываться инновационные технологии, основанные на водных методах переработки (упрощенный Пьюрекс-процесс, переработка с использованием кристаллизационной очистки урана, экстракционное фракционирование высокоактивных отходов, другие водные процессы), а также неводный метод переработки – флюидная экстракция. Технологическая схема основной технологической линии ОДЦ обеспечит замкнутый по воде технологический цикл и уменьшение объемов РАО для захоронения. На ОДЦ будет изучаться возможность переработки ОЯТ в режиме «заказа потребителя», то есть с заданными заказчиком номенклатурой и качеством продуктов регенерации. По экологическим показателям ОДЦ будет превосходить другие перерабатывающие предприятия, действующие в России и за рубежом.

ОДЦ – первая линия мощного производства по переработке ОЯТ на ГКХ. Второй линией будет завод РТ-2 (прототип завода 4-го поколения).

Некоторые ожидаемые (после завершения строительства) характеристики ОДЦ и РТ-2, как поколения 3 и 4 заводов по переработке ОЯТ, представлены в таблице.

#### Некоторые параметры заводов по переработке ОЯТ разного поколения

Завод по переработке ОЯТ	Поколение технологии завода			
	1 – первое	2 – второе	3 – третье	4 – четвертое
	<b>РТ-1</b> (до модернизации) ПО «Маяк» (Россия) UP1 (Франция)	<b>UP2,3</b> (Франция), <b>Rokkasho</b> (Япония)	<b>ОДЦ (ГКХ)</b>	<b>РТ-2 (ГКХ)</b>
<b>Обращение с жидкими РАО</b>	Сбросы жидких САО (около 50 м <sup>3</sup> /т ОЯТ) и НАО (большой объем сбросных НАО и САО)	Сбросы жидких НАО (100 м <sup>3</sup> /т ОЯТ) (сокращение сбросных РАО. Ликвидация категории САО)	Нет жидких сбросов. (Резкое сокращение сбросов НАО. САО отверждаются)	Нет жидких сбросов
<b>Твердые ВАО</b>	0,80 м <sup>3</sup> /т ОЯТ	0,15 м <sup>3</sup> /т ОЯТ	0,1 м <sup>3</sup> /т ОЯТ	Трансмутация ТПЭ; ВАО – хранение до САО и приповерхностное захоронение, ВАО – нет; САО – 4 м <sup>3</sup> /т ОЯТ
<b>Экономика</b>	Относительно невысокая стоимость переработки	Увеличение стоимости переработки ОЯТ	Снижение стоимости переработки по сравнению со 2-м поколением	
<b>Потенциал развития</b>	Прекращение сбросов САО, модернизация до 2-го поколения		Не выделяется чистый Pu, гомогенный продукт для МОКС БР, улучшенные экологические показатели (полное отсутствие сбросов жидких РАО)	

В характеристики ОДЦ уже заложена коммерческая привлекательность тех услуг, которые будут оказываться. Существующая сегодня на рынке средняя цена на переработку ОЯТ составляет ~ 1000 долл./ кг т. м. В рамках строительства ОДЦ эта цена рассматривается как максимально возможная, ставится цель ее снизить. Еще одно требование – возможность

использования продуктов переработки в технологиях, замыкающих ядерно-топливный цикл (изготовление МОХ и REMIX топлива).

Отработавшие ТВС (ОТВС) реакторов ВВЭР-1000, вывезенные к настоящему времени на ГХК из приреакторных бассейнов АЭС на долговременное хранение, размещены в централизованном «мокрое» хранилище. Для дальнейшего увеличения емкости хранения ОЯТ создано централизованное «сухое» хранилище камерного типа, куда уже перемещена первая партия ОТВС реакторов ВВЭР-1000. Находясь в водной среде, ОТВС рано или поздно начинают корродировать, чего не происходит за счет инертной среды при «сухом» хранении. При этом «сухое» хранение значительно дешевле «мокрого».

В контексте стратегической цели по сокращению накопленного ОЯТ созданное на ФГУП «ГХК» «сухое» хранилище дает большие возможности. Оптимальным экономическим решением на перспективу принят вариант перемещения на «сухое» хранение максимально возможного количества долгохранящихся ОТВС и наращивание мощности по переработке, вовлекая в переработку, в первую очередь, «горячие» сборки, поступающие прямо с АЭС. Этим будет минимизироваться дорогое «мокрое» хранение и создаваться балансирующий резерв в «сухом» хранилище. Когда мощность по переработке ОЯТ на ОДЦ превысит совокупное поступление «свежих» ОТВС ВВЭР-1000 с атомных станций, начнется постепенное вовлечение в переработку ОЯТ, безопасно хранящегося в «сухом» хранилище.

\*\*\*

Отработавшее топливо содержит большое количество радионуклидов, обладающих разнообразными ядерно-физическими, радиационными и физико-химическими свойствами. Оптимальная задача переработки ОЯТ заключается в том, чтобы для каждого из этих радионуклидов найти такой способ обращения, который гарантировал бы безопасность внешней среды на протяжении всего времени их существования.

Источники:

1 <http://www.atomic-energy.ru/articles/2015/04/01/55910>

2 <https://ria.ru/atomtec/20170209/1487563389.html>

3 ФЦП-ЯРБ 2030 РФ

4 <http://atominfo.ru/newso/v0993.htm>

5 Вестник атомпрома. – 2017. – № 2.

6 Вестник ГХК. – 2017. – № 8.

Материал подготовили: Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.

**Адреса для контактов:**

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99

тел.: 391-14-43, факс: 391-13-35, Web-site: <http://www.sosny.bas-net.by>

E-mail: [valentina.brylioiva@yandex.by](mailto:valentina.brylioiva@yandex.by)

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь