

Т а б л и ц а 6. Характеристики продуктов переработки

Борная кислота	Порошок B_4C	Таблетки B_4C
Содержание $H_3BO_3 \geq 99,5\%$ $B_{\text{общ}} \geq 17,3\%$ $\Sigma Fe, Al, Si, Mg \leq 0,2\%$	Содержание $B_{\text{общ}} \geq 74\%$ $C_{\text{общ}} \leq 20\%$ $C_{\text{своб}} \geq 1\%$ $B_4C \text{ } 98\%$	Диаметр 8—36 мм Плотность 2,1—2,3 г/см ³
Радиоактивность — на уровне естественного фона	Размер частиц $\leq 10 \text{ мкм}$	

Таким образом, важнейшими принципами повышения эффективности ядерной энергетики в XXI веке становятся:

- замыкание ядерного топливного цикла;
- оптимизация технологических систем;
- наивысший уровень внутренне присущей (естественной) безопасности.

Для их реализации должны быть решены проблемы организации непрерывной комплексной разработки всех элементов топливного цикла и осуществлена координация требований ко всем элементам топливного цикла на различных стадиях разработки реакторных установок и АЭС (НИОКР, конструирование, проектирование, эксплуатация).

Обращение с отработавшим ядерным топливом

*Солонин М.И., Иолтуховский А.Г., Поляков А.С.,
Полуэкттов П.П. (ГНЦ РФ—ВНИИНМ им. А.А. Бочвара), Грачев А.Ф.,
Голованов В.Н., Новоселов А.Е. (ГНЦ РФ—НИИАР), Аден В.Г., Булкин С.Ю.,
Вазингер В.В., Иванов Ю.А., Соколов А.В. (НИКИЭТ), Сафутин В.Д.,
Шафрова Н.П. (ВНИПИЭТ)*

Атомный комплекс — это обороноспособность и энергетическая независимость страны. Если сегодня доля атомной энергии в общем производстве составляет 13%, то в будущем она должна возрасти, особенно с учетом роста цен на нефть и газ. Ядерная энергетика является более экологически безопасной и экономичной по сравнению с энергетикой на органическом топливе, и ее развитие — залог будущей энергетической независимости, сохранения обороноспособности страны.

Темпы развития ядерной энергетики в настоящее время в значительной степени определяются безопасностью и экономичностью технологии внешних составляющих ядерного топливного цикла, суть которых состоит в обращении с отработавшим топливом, именно технологии:

- долговременного хранения;
- регенерации, вовлечения в цикл невыгоревших урана и плутония и утилизации радиоизотопов;
- кондиционирования и включения отходов переработки отработавшего ядерного топлива в твердую стабильную матрицу;
- хранения и захоронения.

В связи с этим обращение с отработавшим топливом относится к стратегическим направлениям промышленного и научно-технического развития Минатома. Подтверждением этого

является то большое внимание, которое в последнее время уделяется данному вопросу, — на заседаниях НТС и его секций, научных советов, коллегий рассматривалась нормативно-законодательная база обращения с отработавшим топливом, подготовка к сухому хранению, модернизация завода по переработке топлива РТ-1, ход подготовки отраслевой концепции по обращению с отработавшим топливом. Рассмотрение не ограничивалось только решением технических вопросов, оно было направлено на возможность и необходимость расширения услуг Минатома на мировом рынке обращения с отработавшим топливом.

Такой рынок только еще начинает формироваться. В то же время многие страны уже оценили его значимость. В Великобритании и Франции созданы высокорентабельные радиохимические производства, разрабатывается технология сухого долговременного хранения, имеются предложения по международному хранению топлива, которые поддерживаются США, Великобританией, некоторыми странами Юго-Восточной Азии. Таким образом, проявив инициативу и открыто объявив о стремлении расширить рынок услуг, Минатом вступил в конкурентную борьбу. Рассчитывать в этой ситуации на политическую и экономическую помощь других стран-конкурентов в этой сверхприбыльной деятельности не приходится.

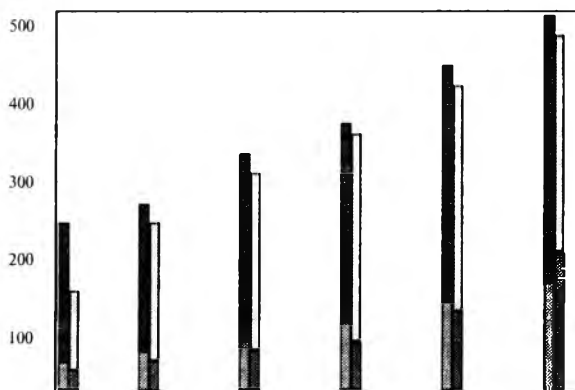
Взгляды Минатома на обращение с отработавшим ядерным топливом обобщены в концепции, в которой сделана попытка системного изложения проблемы с учетом значимости для конкурентоспособного развития замыкающей технологии ядерного топливного цикла.

Ключевой вопрос обращения с отработавшим топливом — отношение к радиохимической переработке. Стратегическим направлением развития ядерной энергетики России является замыкание ядерного топливного цикла, в результате которого должны более полно использоваться природное ядерное топливо и искусственные делящиеся материалы, образующиеся при работе ядерных реакторов (плутоний и др.), обеспечиваться минимизация отходов переработки топлива, приближение к радиационно-миграционной эквивалентности захораниваемых отходов и исходного природного топлива. Ведущая идея состоит в максимально возможной по объему и номенклатуре переработке отработавшего топлива на радиохимических производствах, действующих, реконструируемых и вновь создаваемых. Поскольку накопление отработавшего топлива в мире и России существенно опережает возможности радиохимической переработки, то необходимым условием является его длительное контролируемое хранение (см. рисунок). Мощность радиохимических заводов в мире 3 тыс. т/год по состоянию на 2000 г., 5,5–7 тыс. т в 2015 г., в России — 150 т/год в 2000 г. и 400 т/год в 2007 г.

Поэтому наряду с модернизацией имеющихся и созданием новых радиохимических производств не менее важной задачей является надежное длительное хранение всех видов топлива, за исключением промышленно перерабатываемого топлива на заводе РТ-1.

Хранение отработавшего ядерного топлива. Используемая на большинстве ядерных объектов технология хранения

в воде необходима на начальной стадии, так как обеспечивает эффективное охлаждение. Однако в водной среде протекают процессы коррозии отработавших ТВС и конструкционных материалов, вследствие чего мокрое хранение в течение длительного времени сопровождается образованием отходов. Важнейшим вопросом, требующим решения до 2002 г., является определение предельных сроков водного хранения с учетом состояния среды. На второй стадии хранения необходим переход на сухой способ хранения, при котором коррозия ТВС и конструкционных материалов будет незначительна и существенно сократится количество образующихся отходов.



Суммарное накопление и переработка отработавшего ядерного топлива в мире (тыс. т тяж. мет. ■) и России (сотни т тяж. мет. ■)

В ближайший период необходимо обосновать предельно допустимые сроки хранения и определить оптимальные режимы сухого хранения отработавших ТВС в течение до 50 лет. Это относится к хранению как герметичных неповрежденных, так и дефектных отработавших ТВС. Для создания безопасных условий хранения негерметичные отработавшие ТВС, предполагаемые к переработке, размещаются в герметичных пеналах, ТВС, имеющие перспективу захоронения, подлежат омоноличиванию. В процессе и по окончании хранения должна быть обеспечена возможность извлечения отработавшего топлива для инспекции, переработки или подготовки к захоронению. Для реализации подобной возможности сухое хранение должно быть контролируемым.

В настоящее время разрабатываются двухцелевые металлобетонные контейнеры для перевозки и сухого хранения топлива транспортных реакторов и РБМК.

Принято решение о создании к 2005—2007 гг. На Горно-химическом комбинате хранилища для сухого отработавшего топлива ВВЭР-1000 и РБМК. В настоящее время рассматриваются разные варианты конструкции железобетонного массива, поверхностных хранилищ колодезного типа.

Переработка отработавшего ядерного топлива. На опытно-промышленном заводе РТ-1 в настоящее время перерабатываются отработавшие ТВС ВВЭР-440, быстрых реакторов, транспортных и исследовательских. Наиболее значимые объемы отходов ВВЭР-1000 и РБМК не перерабатываются и находятся на хранении. Завод РТ-1 нуждается в модернизации, прежде всего для расширения номенклатуры переработки топлива ВВЭР-1000 и соответствующих зарубежных PWR, а также увеличения объема переработки топлива транспортных реакторов. Существенно, что завод функционирует более 20 лет и реконструкция необходима для замены оборудования и модернизации технологии. При реконструкции завода, проведение которой запланировано до 2005—2007 гг., будут учтены возможности фракционирования отработавшего топлива и отходов, увеличения годового объема переработки до 400 т и расширения номенклатуры переработки, в том числе дефектных отработавших ТВС в герметичных пеналах, топлива транспортных ЯЭУ и исследовательских реакторов.

В ближайшей перспективе необходимо определить судьбу (переработка или захоронение) отработавшего топлива транспортных ЯЭУ с композицией U—Zr и U—Be, находящихся на хранении. Что касается топлива исследовательских реакторов, то в настоящее время перерабатывается только его часть. Необходимо расширять переработку такого топлива на опытных установках, например, НИИАР.

Нерешенным до конца является сбалансированное использование продуктов регенерации отработавшего топлива. Если регенерированный уран отработавшего топлива ВВЭР-440 и транспортных ЯЭУ частично используется для изготовления топлива РБМК и быстрых реакторов, плутоний и другие продукты регенерации не находят применения вообще. Это является одной из причин прекращения строительства завода РТ-2. Пуск промышленного завода по переработке мощностью 1500 т возможен после 2020 г., если будет сбалансировано применение продуктов регенерации и будет развиваться крупномасштабная ядерная энергетика. С учетом приоритетов безопасности и экономики представляется необходимым дальнейшее развитие имеющихся проектных решений по переработке отработавшего топлива на РТ-2, включая сухие методы. В составе радиохимических заводов, действующих и проектируемых, необходимо создать опытно-промышленное производство ТВС на основе смешанного уран-плутониевого топлива.

Проблемным является обращение с отработавшим топливом РБМК, которое в настоящее время находится на пристанционном хранении. Его вывоз на длительное сухое хранение на Горно-химический комбинат будет возможен после создания на АЭС узлов резки отработавших ТВС на два пучка (после 2003—2005 гг.). В ближайшее время необходимо провести технико-экономическое сравнение различных вариантов обращения с отработавшим топливом РБМК, включая технологию длительного мокрого и сухого хранения, переработки на РТ-2 и захоронения, с уточнением сроков хранения и учетом категорирования (по радионуклидному составу, времени выдержки и состоянию сборок) и решить вопрос о технической и экономической предпочтительности технологических вариантов для максимального приближения к радиационно-миграционной эквивалентности захораниваемых отходов и исходной природной составляющей топлива.

Хранение и захоронение отходов. Актуальной является минимизация отходов. Количество отвержденных отходов будет сокращаться за счет оптимизации переработки, включая выделение широкой номенклатуры нуклидов при фракционировании отходов при переработке топлива, развития гибкой технологии включения отходов в матрицы и разработки матриц разного назначения. Для фракционированных долгоживущих радионуклидов необходимо использовать особо стойкие матрицы, близкие по свойствам к природным минералам. Одновременно следует разрабатывать технологию окончательного удаления отходов, включая трансмутацию и захоронение при условии радиационно-миграционной эквивалентности.

Как говорилось, на пути развития атомной отрасли страны имеются препятствия не только технического, но и законодательного характера. Законодательство по использованию атомной энергии и радиационной безопасности стало создаваться только в 90-е годы. Оно является неполным, и уже сейчас видна необходимость его изменений и дополнений.

В течение 1998 — 2000 гг. проделана большая работа по корректировке законодательной базы. В настоящее время Государственная дума должна приступить в первом чтении к рассмотрению пакета из четырех законов, новых и дополнительных — законы «О лизинге», «Об атомной энергии», «Об охране окружающей природной среды», «О радиационно-реабилитационных мероприятиях». Принятие этих документов позволит создать не только надежную основу для развития всего комплекса замыкания ядерного топливного цикла, но и решить экологические проблемы. Кампания по дискредитации Минатома интенсивно развернулась в связи с инициативой расширения участия в мировом рынке обращения с отработавшим топливом. Необходима активная наступательная позиция в объяснении экологической значимости системы обращения с топливом для страны в целом и ее отдельных регионов, в разъяснении безопасности и экологической целесообразности создаваемой наукоемкой системы, ее необходимости для поддержания научно-технического потенциала страны и устойчивости.

Не следует сегодня выходить за рамки международных стандартов по обращению с отработавшим топливом, продуктами его регенерации и отходами. Необходимо только понимать, что сроки их возврата определяются в межправительственных соглашениях, так как вопросы окончательного захоронения радиоактивных отходов не решены в мире, что и является идеологической основой для негативного отношения к их невозврату в страны-поставщики.

ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

*Козлов Ю.В., Сафутин В.Д., Тихонов Н.С., Токаренко А.И., Спичев В.В.
(ВНИПИЭТ)*

Хранение отработавшего ядерного топлива. По первоначально принятым решениям в отношении топливного цикла не предусматривалось длительное хранение отработавшего ядерного топлива. Однако из-за отсутствия вывоза отработавшего топлива РБМК с АЭС и задержкой строительства завода РТ-2 для переработки топлива ВВЭР-1000 длительность мокрого хранения топлива РБМК достигла уже 27 лет, ВВЭР-1000 — около 20. Опыт и выполненные исследования подтверждают надежность этого метода при хранении на срок 30 лет, однако дальнейшее продление срока требует обоснования.

Мокрые хранилища на АЭС с РБМК будут заполнены в 2004—2008 гг., хранилище топлива ВВЭР-1000 на Горно-химическом комбинате даже с учетом реконструкции и повышения вместимости с 6 тыс. т (по урану) до 9 тыс. т может быть заполнено между 2011 и 2015 гг.