

УДК 621.039.59:66.085
© 1999

ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА КОМПЛЕКСЕ РТ-1

Е.Г. Дзекун, Д.Н. Колупаев, А.Г. Лутовинин, С.И. Ровный
Россия, г. Озерск, ПО «Маяк»

Рассмотрены вопросы будущей реконструкции комплекса РТ-1. Проанализировано состояние оборудования и переделов начальной стадии переработки отработавшего ядерного топлива. Сформулированы основные положения этапов предстоящей работы.

Как известно, в России принята концепция развития замкнутого ядерного топливного цикла. В соответствии с этим в 1977 году был введен в эксплуатацию первый и единственный в России комплекс по регенерации отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) РТ-1 [1].

За прошедшие годы комплекс прошел путь от первых пробных переработок отдельных видов ядерного топлива до мощного стабильно работающего производства с широкой номенклатурой перерабатываемого ОЯТ. Сегодня комплекс РТ-1 осуществляет переработку ОЯТ:

- энергетических реакторов (ВВЭР-440, 365, 210, БН-600, 350);
- транспортных ядерных силовых установок;
- исследовательских и промышленных реакторов.

Комплекс РТ-1 имеет три независимые технологические цепочки, способные осуществлять переработку нескольких видов ОЯТ одновременно, с общей производительностью до 400 тУ/год по энергетическому топливу.

Одной из наиболее важных сторон деятельности комплекса РТ-1 является переработка энергетического ядерного топлива. На данный момент в мире ведется промышлен-

ная переработка энергетического ОЯТ на трех предприятиях: УР-2, 3 (Франция), THORP (Великобритания) и РТ-1 (Россия). Несмотря на единство основных принципов переработки (применение метода «резка-выщелачивание», водно-экстракционной схемы с использованием Пурекс-процесса и т.д.), каждое из этих предприятий имеет свои особенности организации технологии, порой существенно отличающиеся. Комплекс РТ-1 в этом плане занимает особое положение. Благодаря изначальной многоцелевой ориентации перерабатываемого производства, а также постоянным усилиям российских специалистов по модернизации технологического процесса комплекс РТ-1 обладает наибольшими технологическими возможностями и гибкостью построения технологической схемы по сравнению с аналогичными предприятиями.

Однако с течением времени меняются внешние условия, в которых работает предприятие, изменяются цели и задачи его работы. Для проведения эффективной модернизации производства возникает необходимость оценки существующей технологии с позиций сегодняшнего дня. В основу такой оценки можно положить два главных прин-

ципа.

- Производство, в нашем случае переработка ОЯТ, не должно ухудшать условия жизни и деятельности человека, сводя при этом свое воздействие на окружающую среду к реально достижимому минимальному уровню. Такая постановка вопроса определяет главенствующую роль вопросов безопасности производства, включая экологический аспект.
- Любая человеческая деятельность должна быть рациональной. Производственная деятельность должна вести к достижению поставленных целей оптимальным образом и быть рентабельным. Этот тезис выводит на первый план в качестве критерия оптимальности производственной деятельности экономические показатели производства. Таким образом, возникает необходимость рассмотрения всех технических и организационных решений построения производства сквозь призму экономики.

В настоящее время перед ПО «Маяк» стоит сложная задача реконструкции комплекса РТ-1 с целью организации переработки ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 [2]. Существенное различие размеров и массы отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 определяет необходимость реконструкции начальных стадий переработки. Реконструкция комплекса РТ-1 в рамках программы «ВВЭР-1000» включает в себя следующие работы:

- завершение строительства дополнительного хранилища ОЯТ;
- создание транспортной схемы передачи ОЯТ из дополнительного хранилища;
- реконструкция одной из камер ОПИР (отделение подготовки изделий к резке);
- разработка и создание нового агрегата резки для переработки ВВЭР-1000;
- разработка и создание аппарата-растворителя большей производительности;
- возможная модернизация некоторых переделов химической переработки ОЯТ (по мере необходимости).

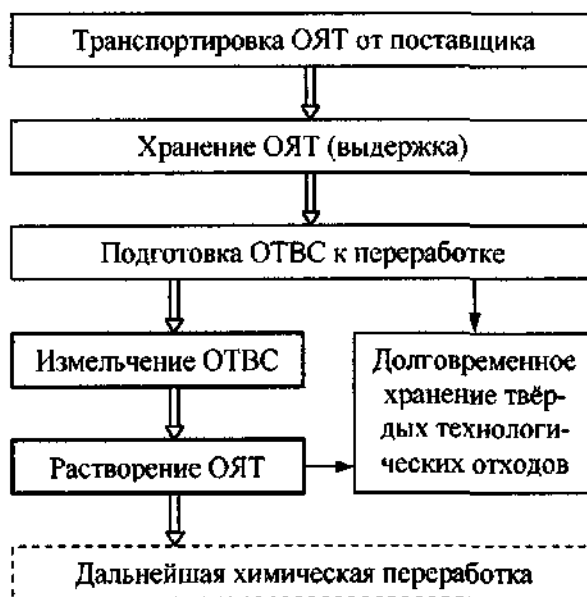


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема начальной стадии переработки ОЯТ

Таким образом, реконструкция затронет все начальные стадии переработки ОЯТ на комплексе РТ-1.

Очевидно, что для реализации эффективной модернизации производства необходим комплексный критический анализ существующей технологии. Результатом этой работы должна стать выработка обоснованного, взвешенного подхода к разработке техпроцесса и нового технологического оборудования для его обеспечения.

Последовательность основных технологических операций головного производства комплекса РТ-1 приведена схематично на рис. 1.

Ниже кратко дадим описание основных технологических переделов головного производства комплекса РТ-1.

1. Транспортировка ОЯТ от поставщика (АЭС и другие предприятия) производится железнодорожным транспортом в специализированных вагон-контейнерах.

2. Хранение ОЯТ осуществляется под слоем воды в специальном бассейне-хранилище

с целью накопления топлива перед переработкой и выдержкой его для снижения удельной активности ОЯТ.

3. Подготовка ОТВС к переработке заключается в комплектации определенного количества ОТВС (в рамках данной партии переработки) и отделении концевых деталей от активных зон ОТВС. Отделенные концевые детали транспортируются с помощью электромагнитного транспорта на долговременное хранение.

4. Измельчение ОТВС осуществляется на универсальных агрегатах резки периодического действия типа АРП, представляющих собой сложный комплекс гидромеханического оборудования. Измельчение активной зоны ОТВС производится с целью разделения ее на фрагменты определенной величины и вскрытия топливной композиции для последующего выщелачивания. В процессе операции измельчения активная зона тепловыделяющей сборки по мере продвижения с определенным шагом в камеру резки АРП последовательно проходит следующие стадии механического воздействия: предварительная деформация прижимом, отрезание фрагментов ОТВС первой парой режущих кромок, расположенных под углом 45° к направлению подачи ОТВС, повторное измельчение фрагментов ОТВС второй парой режущих кромок, расположенных под углом 135° , просеивание кусков ОЯТ.

5. Растворение ОЯТ производится в аппарате-растворителе кольцевого типа периодического действия (РП, РПСК). В аппарате-растворителе в процессе переработки одной партии ОЯТ последовательно реализуются следующие процессы: загрузка в аппарат предварительно измельченного ОЯТ, растворение топливной композиции в растворе азотной кислоты с последующей выдачей готового раствора из аппарата, контрольное растворение свежим раствором азотной кислоты, промывка нерастворимых оболочек (конструкционного материала) ОТВС конденсатом, пневмовыгрузка оболочек из аппарата-растворителя (и транспортирование их с помощью пневмотран-

спорта в хранилище твердых отходов на долговременное хранение).

6. Долговременное хранение твердых технологических отходов осуществляется в трех отсеках специального хранилища. Первый отсек предназначен для хранения концевых деталей ОТВС, стружки и отработавшего режущего инструмента установок отделения концевых деталей, второй — для хранения нержавеющей оболочек ОТВС, третий — для хранения циркониевых оболочек ОТВС. Хранилище оборудовано эффективной газоочистной системой и обеспечивает надежную изоляцию твердых отходов, исключаящую попадание радиоактивных продуктов в окружающую среду.

7. Дальнейшая химическая переработка обеспечивает получение регенерированного урана, плутония и нептуния в формах пригодных для последующего использования и/или хранения, а также концентратов стронция, цезия, технеция, палладия и других элементов.

Основными переделами головного производства по сложности технологического процесса и значительной величины производственных издержек являются измельчение и растворение ОЯТ.

В ходе предстоящей реконструкции производства необходимо проведение всестороннего анализа действующего производства с позиций вышеизложенных принципов. Одной из составляющих этой работы должен стать технико-экономический анализ работы действующих узлов, целями которого являются: во-первых, повышение технико-экономических показателей существующего производства и, во-вторых, получение исходных данных для сравнительного технико-экономического анализа при разработке новых процессов и нового оборудования.

В данной работе представлены некоторые результаты технико-экономической оценки работы узлов измельчения и растворения при переработке ОЯТ реакторов ВВЭР-440 на третьей технологической цепочке комплекса РТ-1.

УЗЕЛ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОЯТ

Используемые на комплексе РТ-1 агрегаты резки периодического действия (АРП) не имеют аналогов в мире по своим технологическим возможностям. Они позволяют производить измельчение ОЯТ в широком спектре геометрических размеров, форм и конструкций, не требуя предварительной расчехловки ОТВС с внешней чехловой трубой. Оригинальный принцип измельчения, положенный в основу при создании АРП еще в 60-х годах, позволяет на любой из трех технологических ниток РТ-1 производить переработку всего регламентного ОЯТ. Однако существуют и слабые стороны этого оборудования. Прежде всего, это относительно невысокая надежность и низкие экономические показатели работы.

За годы эксплуатации АРП подверглись значительной модернизации, в основном, с целью повышения их надежности. Тем не менее, последние статистические оценки показывают, что в среднем, через каждые 2-3 партии переработки ОЯТ ВВЭР (1900 циклов работы) наблюдается отказ в той или иной группе устройств АРП, что свидетельствует в целом о достаточно низкой надежности оборудования. Все это, несомненно, обусловлено большой конструктивной сложностью агрегатов резки типа АРП. Анализ статистики отказов позволил не только определить пути повышения надежности действующих агрегатов резки, но и определить основные требования к вновь разрабатываемому оборудованию.

Эти требования в кратком виде можно изложить следующим образом:

- конструкция агрегата резки должна быть максимально простой, иметь минимальное количество подвижных частей и уплотнений;
- на стадии проектирования должна закладываться наибольшая ремонтпригодность агрегата;
- проектный режим работы агрегата резки должен быть максимально «ровным» как в силовом плане, так и в плане технологи-

ческого газообеспечения;

- системы управления агрегатами резки должны обладать высокой надежностью и расширенными возможностями по диагностике работы всех систем и устройств;
- при проектировании отдельных узлов необходимо учитывать опыт разработки и эксплуатации действующего оборудования АРП.

В современных экономических условиях остро встает вопрос о себестоимости переработки ОЯТ. Возникает задача оценки экономической эффективности действующего производства с целью снижения затрат и определения путей этого снижения.

Для оценки экономической эффективности агрегатов резки АРП был проведен анализ структуры технологической себестоимости операции измельчения ОЯТ ВВЭР-440 на третьей нитке РТ-1 при программе переработки 120 тU/год. Результат анализа в виде диаграммы представлен на рис. 2.

Анализ составляющих технологической себестоимости позволил определить основные пути уменьшения себестоимости переработки.

- Уменьшение затрат на инструмент. Модернизация конструкции сменного инструмента (блока ножей) с целью обеспечения автономной замены его интенсивно изнашивающихся частей, а также с целью снижения его стоимости.
- Модернизация систем энергообеспечения с целью повышения их КПД. (АРП обладают значительным, в среднем четырехкратным, запасом по мощности, при этом общий КПД составляет менее 18%).
- Реконструкция систем цикловой автоматики агрегатов резки с использованием средств современной вычислительной техники (отказ от систем пневмоавтоматики). Существующие в настоящее время системы пневмоавтоматики характеризуются большим энергопотреблением и относительно низкой надежностью.
- Уменьшение затрат на ремонт оборудования путем модернизации ряда узлов АРП с целью повышения надежности их работы.

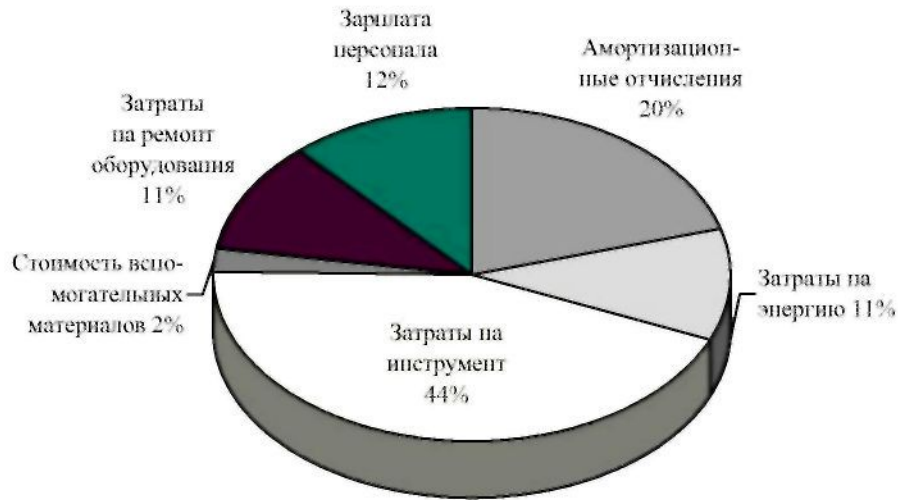


Рис. 2. Предварительный расчет затрат на операции измельчения ОЯТ

Однако из четырех приведенных направлений модернизации лишь два последних в рамках действующего производства являются реально выполнимыми. Два первых пункта, несмотря на свою весомость (по удельному вкладу), являются трудноосуществимыми по причине необходимости серьезных конструктивных изменений АРП. Однако при проектировании нового оборудования для измельчения ОЯТ именно эти задачи становятся первоочередными.

Помимо этого, при создании новых агрегатов резки на первый план выходит задача снижения стоимости оборудования. Один из самых реальных способов уменьшения стоимости оборудования — отказ в ряде случаев от создания универсальных агрегатов резки. По своим технологическим возможностям АРП — универсальное оборудование, способное перерабатывать различные виды ОЯТ. Первоначально при создании АРП эта особенность имела огромное значение в свете тех задач, которые ставились перед комплексом РТ-1 (впоследствии успешно решены). Сегодня ситуация изменилась: комплекс имеет четкую

ориентацию по перерабатываемому топливу — две технологические нитки из трех стабильно заняты переработкой энергетического ОЯТ, в основном ВВЭР-440 и ОЯТ транспортных реакторов. Вследствие этого преимущество универсальности АРП на этих нитках фактически не реализуется. В условиях сложившейся специализации технологических ниток по перерабатываемому ОЯТ создание специализированного оборудования для измельчения (с учетом особенностей перерабатываемого ОЯТ) позволит не только существенно улучшить экономические показатели оборудования, но и обеспечить надежность его работы, что напрямую определяет стабильность работы всей технологической цепочки.

Таким образом, в преддверии реконструкции комплекса РТ возникает принципиальный вопрос о направлении дальнейшего развития оборудования для измельчения ОЯТ: традиционная полная универсальность или специализация некоторых технологических ниток? Это тема для серьезного анализа и обсуждения с привлечением широкого круга специалистов.

УЗЕЛ РАСТВОРЕНИЯ

В ходе предстоящей реконструкции необходима замена существующих аппаратов-растворителей на аппараты большей производительности. За время работы комплекса РТ аппараты-растворители подвергались неоднократной модернизации, основным этапом которой стал переход с аппаратов РП-2200 (с шириной кольцевого зазора 250 мм) на аппараты типа РПСК (ширина кольцевого зазора 140 мм). Причиной модернизации была необходимость увеличения производительности аппаратов, улучшения характеристик загрузки в аппараты измельченного ОЯТ, выгрузки оболочек и пр. Однако следует отметить, что, несмотря на значительный объем выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, поиск решений в этом направлении не закончен.

На данный момент необходимо обобщить имеющийся опыт эксплуатации аппаратов-растворителей для выработки исходных требований к проектированию новых аппаратов. В рамках этой работы была проведена оценка

экономических показателей работы действующих аппаратов-растворителей периодического действия. Расчет технологической себестоимости операции растворения энергетического ОЯТ (ВВЭР) на третьей нитке комплекса РТ при программе переработки 120 тU/год выявил структуру затрат, изображенную на рис. 3. (В представленной структуре себестоимости амортизационные отчисления от оборудования не учитываются.) По абсолютной величине технологическая себестоимость операции растворения составляет около 74% от себестоимости операции измельчения ОЯТ.

Приведенная структура себестоимости указывает главный источник снижения затрат, связанный с обеспечением рационального использования энергоресурсов. Основными способами достижения этой цели для существующей технологии, на наш взгляд, являются:

- корректировка длительности основных стадий операции растворения в сторону уменьшения при ведении контроля за кинетикой процесса растворения;
- оптимизация режима энергообеспечения узла, использование современных автома-

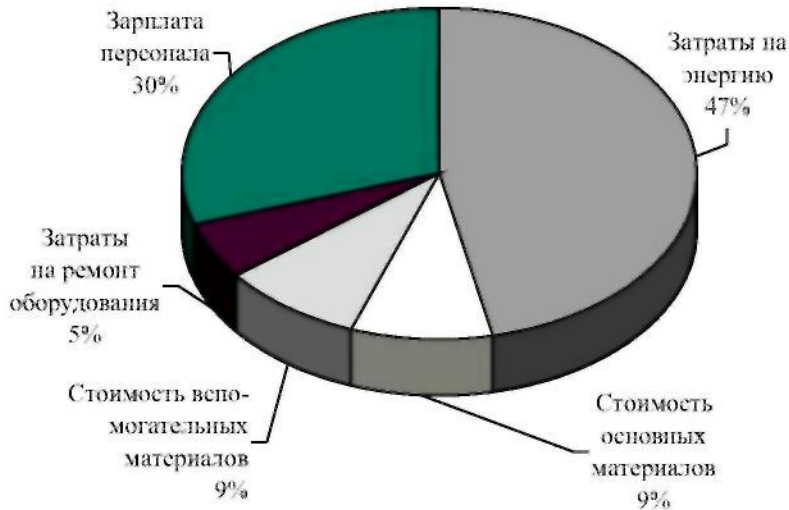


Рис. 3. Предварительный расчет затрат на операции растворения ОЯТ

тизированных систем регулирования потребления энергоресурсов;

- использование аппаратов-растворителей с улучшенными характеристиками пневмо-выгрузки оболочек ОТВС.

Однако первопричиной относительно высокого потребления энергоресурсов является периодичность реализованного процесса растворения. Периодический процесс операции растворения характеризуется значительными потерями теплоносителей, связанными с циклическими изменениями температурного режима аппарата-растворителя в рамках переработки одной партии ОЯТ: нагрев-охлаждение-нагрев. Помимо этого, на наш взгляд, нерациональным является использование достаточно энергоемкой системы технологической газоочистки, рассчитанной на пиковое газовыделение при периодическом процессе растворения. Однако это необходимое условие безопасности процесса при данной технологии растворения, но сейчас эта технологическая операция не является предметом нашего обсуждения и анализа.

Качественно новый уровень в повышении экономической эффективности операции растворения ОЯТ дает использование непрерывной технологии растворения (выщелачивания). Но при этом возникает вопрос аппаратного обеспечения такого процесса, что является достаточно сложной задачей. И хотя все фирмы, занимающиеся разработкой процессов и оборудования для переработки ОЯТ, активно работают над решением этой задачи, в промышленном масштабе технология непрерывного растворения на данный момент реализована лишь во Франции на заводах UP-2, 3. Таким образом, процесс растворения ОЯТ до сих пор является обширным полем деятельности для технического поиска.

В этой связи необходимо проведение комплексного критического анализа действующего производства по регенерации ОЯТ с позиций современных задач и возможностей предприятия, а также ближайших перспектив с последующей выработкой обоснованных исходных требований для разработки нового обо-

рудования и ряда технологических процессов. В исходных требованиях должны быть учтены достижения последних лет как в области техники и технологии, так и в области безопасности подобных производств, включая вопросы экологии, учета и контроля делящихся материалов, систем управления и т. п. Несомненно, все эти технические стороны должны быть надежно «увязаны» с экономической составляющей цикла регенерации ОЯТ. Конечным итогом всей работы должно стать создание по сути нового производства по регенерации ОЯТ всех типов энергетических и транспортных реакторов отечественной разработки, отвечающего стандартным показателям для подобных предприятий, а стало быть, — высоконадежного, эффективного и, как следствие, конкурентоспособного. Мы приглашаем наших коллег принять участие в обсуждении этой сложной и важной задачи.

Таким образом, уже предварительный этап технико-экономической оценки реконструкции даже начальных стадий переработки ОЯТ на комплексе РТ-1 показал всю многогранность и очевидную сложность предстоящих работ. В условиях кардинально изменившейся экономической ситуации, на наш взгляд, необходимо сосредоточить усилия специалистов на поиске оптимального соотношения между объемами предстоящих работ по модернизации и реконструкции оборудования отдельных переделов комплекса РТ-1 в свете технической политики предприятия, на ближайшие 10–20 лет и оправданными при этом финансовыми затратами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г., Захаркин Б.С., Ровный С.И. и др. Переработка отработавшего ядерного топлива на комплексе РТ-1: история, проблемы, перспективы // Вопросы радиационной безопасности. — 1997. — №2. — С.3–12.
2. Техничко-экономические исследования возможности переработки ОТВС реакторов ВВЭР-1000 на заводе РТ-1: Отчет / ВНИПИ-ЭТ. — СПб. — 1996.