

ФОРМИРОВАНИЕ И ВЫБОР ФАКТОРОВ ДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕМОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОЕКТЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ АЭС

А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В работе представлена общая схема проектирования технологических процессов демонтажа оборудования блоков АЭС на этапе подготовки их вывода из эксплуатации. Дополнительное внимание уделено начальной стадии проектирования, когда формируется набор составляющих пространства функционирования технологических процессов и на его основе факторов их действия, используемых после многоступенчатого отбора для формирования технологических операций и компоновки их в технологический процесс.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, блок АЭС, технологический процесс, демонтаж оборудования, факторы действия.

В настоящее время в связи с принятием концерном РЭА решения о демонтаже ранее остановленных блоков первой очереди Нововоронежской АЭС (НВАЭС) становится актуальным проектирование сложных и радиационно-опасных технологических процессов демонтажа основного оборудования: корпусных реакторов и кольцевых баков реакторных установок; парогенераторов; сепараторов, деаэраторов, компенсаторов давления; главных циркуляционных насосов; трубопроводов, арматуры большого диаметра и др. [1].

Для принятия конкретных технологических решений целесообразно использовать проблемно-ориентированную систему проектирования технологических процессов демонтажа оборудования [2-5], назначение которой состоит в информационной и методической поддержке разработчика-технолога.

Компонентами системы проектирования являются:

- реляционная модель (РМ) среды действия и объектов воздействия демонтажной технологии – 6 классов объектов, 21 схема отношений, 184 атрибута (код 20000);
- реляционная модель представления знаний в области демонтажных работ – 5 классов объектов, 16 схем отношений, 120 атрибутов (код 40000);
- структурированный список составляющих пространства демонтажных работ – 4 группы, 9 подгрупп, 94 составляющих (код 00000);
- структурированный список факторов действия технологических процессов демонтажа – 6 групп, 39 подгрупп, 165 факторов (код 10000);
- структурированный список граничных условий) – 3 группы, 8 подгрупп, 51 условие (код 30000);
- структурированный список условий безопасности – 1 группа, 2 подгруппы, 15 условий (код 50000);
- комплекс выходных параметров и характеристик технологии демонтажа) – 3 группы, 13 подгрупп, 80 параметров и характеристик (код 60000);
- комплекс критериев и оценок принятия решений (качественные и пороговые – для оценки выходных параметров и характеристик по выбору, интегральный – для оценки технологических затрат и расходов, связанных с радиационной защитой и ущербом от облучения).

Принятие решений по факторам действия технологических процессов требует выявления отношения между каждым из них и атрибутами или условиями указанных выше компонент системы проектирования (кроме критериев и оценок принятия решений). Для обращения с обширным информационным массивом разработчик (далее по тексту –

технолог) формирует матрицы отношений вида $A = [F_a(x_i; y_i)]_{i=\overline{1,m}; j=\overline{1,p}}$. Например, составляются матрицы отношений от атрибутов классов «данные среды действия и объектов воздействия (код 20000)» к каждому из классов «факторы действия технологии демонтажа» (код 10000) (соответственно строки и столбцы матрицы), в них выделяется существование и отсутствие частных отношений между ними.

Первичные матрицы отношений упрощают за счет их расчленения на кортежи сечений (построчных подмножеств) по каждому фактору, затем их модифицируют таким образом (табл. 1), чтобы технолог мог работать с сечением, в котором первая координата ограничена набором данных по коду 20000, необходимых, по его мнению, для принятия решения по фактору действия (второй координате по коду 10000) опосредовано через применения атрибутов реляционной модели знаний (по коду 40000). В среде последних разработчик анализирует влияние факторов первой координаты и делает заключения по принятию решений.

Таблица 1 – Модифицированное сечение матрицы отношения от атрибутов по коду 20000 к факторам по коду 10000, связанных с атрибутами знаний по коду 40000

Преобразованные данные классов атрибутов «факторы среды действия и объектов воздействия» технологии демонтажа	(11100) Демонтаж целиком, разборкой, разделкой в наборе факторов знаний («М{41100, 44100}, Пр, Вб, Сд»)
Данные помещений «М{21100, 21200, 26100}, Вб, Пр, Сд»	1
Данные оборудования «М{22100, 22200, 22300, 22400, 26200}, Вб, Пр, Сд»	1
Данные трубопроводов «М{23100, 23200, 23400, 26300}, Вб, Пр, Сд»	1
Данные металлоконструкций «М{24100, 26400}, Вб, Пр, Сд»	1
Данные электрической компоненты «М{25100, 26500}, Вб, Пр, Сд»	1
Данные по штатным средствам перемещения «М{29100}, Вб, Пр, Сд»	1

В данной матрице *Пр, Сд, Вб* – специальные операции реляционной алгебры – проекция, соединение, выбор [6].

Следует заметить, что в силу своей компетентности технолог принимает значительную часть решений, рассматривая матрицы отношений и их сечений умозрительно.

Аналогичные процедуры производятся с совместной матрицей отношений от граничных условий (код 30000) и условий безопасности (код 50000) к отобранным ранее факторам действия технологических процессов (в рассматриваемом случае – по способам демонтажа). Если процедуры с рассмотренной выше матрицей отношений решают техническую сторону принятия решений, то процедуры с данной матрицей определяют возможность их применения с позиций действующих ограничений.

Принятые решения по факторам действия позволяют синтезировать варианты операций технологических процессов и последовательность их выполнения, т. е. сформировать альтернативные технологические процессы. Следующим шагами проектирования становятся выявление и расчет выходных параметров и характеристик каждого из альтернативных технологических процессов (код 60000), затем отбор наиболее рационального из них, исходя из принятого комплекса критериев и оценок принятия решений.

В представленном процессе проектирования недостаточное внимание уделено его начальному этапу – формированию структурированных списков составляющих пространства функционирования технологических процессов демонтажа оборудования (код 00000) и факторов действия (код 10000) этих процессов, а также отношению от составляющих пространства функционирования демонтажных работ к факторам действия технологических процессов демонтажа. Ниже представлены некоторые соображения по организации и формализации данного действия в системе проектирования.

Для решения технологических задач проектирования необходимо организовать как можно более полный набор составляющих пространства функционирования

технологических процессов демонтажа оборудования и извлекаемых по результатам их анализа набора факторов действия технологических процессов в сложившихся условиях проведения работ. Представленные выше списки по кодам 00000 и 10000 должны быть доработаны и дополнены для конкретных условий вывода из эксплуатации блоков первой очереди НВАЭС.

Составляющие пространства функционирования (табл. 2) включают проведение подготовительных, основных и вспомогательных технологических операций, выполняемых на площадях реакторного отделения, машинного зала, блока химводоочистки и, при необходимости, на отведенной территории блока АЭС, связанных с демонтажем систем, оборудования, металлоконструкций и достижением их конечного состояния в соответствии с проектом вывода из эксплуатации (ВЭ) блока АЭС.

Таблица 2 – Составляющие пространства функционирования технологических процессов демонтажа оборудования (выборочно)

Код	Составляющие функционирования технологических процессов
01000	<i>Функциональные составляющие</i>
01100	<i>Подготовительные работы общего назначения</i>
01110	Обустройство: рабочих зон; зон вспомогательных работ и трасс перемещения
01120	Подготовка: СТО; систем энерго-, жизнеобеспечения; средств радиационной защиты
01130	Преддемонтажная дезактивация и очистка помещений, систем и оборудования
01200	<i>Демонтажные работы</i>
01210	Подготовка рабочей смены: персонала, рабочей зоны, СТО; средств безопасности
01220	Основные операции: демонтаж объектов целиком; разборка на сборочные единицы; резка на крупные фрагменты ¹ ; резка на мелкие фрагменты
01230	Операции погрузо-разгрузочные и транспортные в зоне демонтажа и перемещения
01300	<i>Вспомогательные работы</i>
01310	дезактивация и очистка рабочей зоны, СТО, упаковок РАО в ходе работ
01320	радиационный контроль рабочей зоны, СТО, РАО, упаковок РАО в ходе работ
01330	обращение с вторичными РАО в ходе работ: газообразными; жидкими; твердыми
01340	техническое обслуживание СТО в ходе работ
01350	утилизация СТО, средств радиационной защиты, вспомогательных средств по окончании демонтажных работ (при выходе из строя)
02000	<i>Территориальные составляющие</i>
02100	<i>Площади работ</i>
02110	Реакторное отделение: шахта реактора; помещения; боксы; транспортные коридоры
...	...
02140	Территория АЭС ² , отведенная под временное хранение и перегрузку продукции демонтажных работ
02200	<i>Проемы границ площадей работ</i>
03000	<i>Объекты воздействия технологических процессов</i>
03100	<i>Радиационно-опасные объекты</i>
03200	<i>Условно «чистые»³ объекты</i>
04000	<i>Продукция (отходы) технологических процессов</i>
04100	<i>Виды продукции (отходов)</i>
04200	<i>Состояние продукции (отходов) на выходе из пространства демонтажных работ</i>

Разработка массива составляющих пространства функционирования технологических процессов выполняется по результатам изучения и анализа информации, извлекаемой технологом из программы ВЭ и проекта блока АЭС, отчета КИРО, действующей нормативно-технической документации, массива сведений и данных, сформированных в период эксплуатации блока и других источников. Обработка содержащего информацию множества сообщений производится технологом с учетом их семантической и прагматической ценности. В

¹ – с последующим измельчением или без измельчения в рамках демонтажной технологии

² – территория, не используемая для переработки РАО

³ – объекты с активностью получаемых отходов менее уровня низкоактивной категории по ОСПОРБ

свою очередь такую обработку рационально проводить на базе реляционной модели представления знаний в области демонтажных работ (т. е. по факту модель должна быть сформирована технологом в начале проектной работы и по мере ее выполнения совершенствоваться).

Массив факторов действия технологических процессов демонтажа оборудования (представленных, например, в таблице 3 только в части способов демонтажа) формируется с возможно большим наполнением технологом в ходе анализа массива составляющих пространства функционирования, инструментом анализа служат его практические и теоретические знания, систематизированные в упомянутой выше реляционной модели.

Таблица 3 – Факторы действия технологических процессов демонтажа оборудования

Код	Факторы действия технологических процессов демонтажа оборудования
11000	<i>Способы демонтажа</i>
11100	<i>Демонтаж целиком, разборкой, разделкой</i>
11110	целиком: с последующей фрагментацией, без последующей фрагментации;
11120	разборка: с последующей фрагментацией, без последующей фрагментации;
11130	фрагментация: на крупные фрагменты с последующим измельчением; на крупные фрагменты без последующего измельчения; на мелкие фрагменты
11200	<i>Способы фрагментации термической резкой</i>
11210	кислородная; кислородно-флюсовая; кислородное копые; плазменно-дуговая; воздушно-дуговая; контактно-дуговая; ручная дуговая; термитная; другие виды термической резки
11300	<i>Способы фрагментации механической резкой</i>
11310	абразивная; дисковой (отрезной) фрезой; ножовочным полотном; пильной лентой; фрезерованием на стружку; ножничная; обкаточными роликами; другие способы
11400	<i>Прочие способы резки</i>
...	...
15000	<i>Способы упаковки продукции демонтажа</i>
...	...
11600	<i>Способы перемещения продукции демонтажа</i>
...	...

В проектировании технологических процессов демонтажа оборудования блоков АЭС при выводе их из эксплуатации на начальном этапе формируется набор составляющих пространства их функционирования, который используется для организации развитого массива факторов действия этих технологических процессов. Каждый фактор должен быть оценен или проработан с позиций его применения при выполнении демонтажных операций, начиная с технической возможности, затем адаптации к условиям действующих ограничений и требований безопасности, а далее соответствия критериям и оценкам отбора. Отобранные факторы действия обеспечивают наполнение технологических операций и функционирование технологического процесса. Проектирование целесообразно проводить в организованной информационной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берела, А.И. Постановка задач проектирования технологических процессов демонтажа основного оборудования при выводе из эксплуатации блоков АЭС с корпусными реакторами [Текст] / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Сборник трудов научно-практических конференций БИТИ НИЯУ МИФИ : в 3-х т. Т. 2 : II Всероссийская научно-практическая конференция «Энергоэффективность и энергосбережение». – Балаково, 2016. – С. 8-11.
2. Verela A.I., Bylkin B.K. Problem-oriented system for designing a technology for disassembling the power-generating units of nuclear power plants. Atomic Energy. 2000. Т. 89. №3. P. 189-196.
3. Берела, А.И. Оптимизационные аспекты проектирования технологического процесса демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока атомной станции [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, В.А. Шапошников // Тяжелое машиностроение. – 2004. – №6. С. 9-14.
4. Берела, А.И. Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин,

- Б.К. Былкин // Инженерный вестник Дона. 2013. – Т. 25. – № 2 (25). – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1734> (дата обращения: 20.02.2018)
5. Берела, А.И. Выбор значений параметров технологического процесса демонтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. №3 (8). – С. 60-64.
6. Куликовский, Л.Ф. Теоретические основы информационных процессов Учеб. пособие для вузов [Текст] / Л.Ф. Куликовский, В.В. Мотов // М.: Высшая школа. – 1987. – 248 с.

Formation and Selection of Factors of Action of Technological Processes of Dismantling the Equipment in the Project of Decommissioning of the NPP Blocks

A.I. Berela¹, S.A. Tomilin², A.G. Fedotov³

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,

Volgodonsk, Rostov region

¹berelaleks@yandex.ru

²SATomilin@mephi.ru

³AGFedotov@mephi.ru

Abstract – The paper presents a general scheme for the design of technological processes for dismantling the equipment of NPP units at the stage of preparing their decommissioning. Additional attention is paid to the initial design stage, when a set of components of the space for the functioning of technological processes is formed and, based on it, their action factors used after multi-stage selection to form technological operations and link them into the technological process.

Keywords: decommissioning, NPP unit, process, equipment dismantling, factors of action.

УДК 621.565.93/.95 : 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТРУБНЫХ РЕШЕТОК ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДАЧЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ

А.М. Смирнов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния гидравлической раздачи теплообменных труб на технологические остаточные деформации труб и перемычек трубных решеток и микротвердость поверхностного слоя отверстий трубной решетки и полости трубы. В зависимости от величины рабочего давления жидкости выявлены упругие и упругопластические деформации без заметного изменения микротвердости. При этом величина зазора в соединении труба-трубная доска определяется точностью формы и размером отверстия.

Ключевые слова: теплообменные трубы, трубные доски, гидравлическая раздача, давление рабочей жидкости, величина деформации, микротвердость, зазор.

К трубчатым аппаратам – теплообменникам ответственного назначения, иногда работающим между первым и вторым контурами ядерных реакторов, в целом и к узлам запрессовки труб в трубные доски и коллектора в особенности предъявляются очень высокие требования по надежности, которая зависит от множества технологических факторов, возникающих при их изготовлении.

В данной работе приведены материалы по оценке влияния метода гидравлической раздачи теплообменных труб на технологические остаточные деформации трубных решеток.