

6. Panov Yu., Polunichev V., Zverev K. Use of reactor plants of enhanced safety for sea water desalination, industrial and district heating. — In: Non-Electric Applications of Nuclear Energy, IAEA-TECDOC-923, 1997, p. 281—293.

Поступила в Редакцию 28.07.2000

УДК 621.311.25.004.7

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЕМОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ АЭС

Былкин Б.К. (РНЦ «Курчатовский ин-т»), Берела А.И. (ВЦ ВНИИАМ)

Демонтаж оборудования, систем и металлоконструкций (далее по тексту оборудования) является обязательной процедурой заключительной стадии жизнедеятельности блоков АЭС — вывода из эксплуатации. В свою очередь разработка технологии демонтажа этого оборудования — важная составляющая создания проектной и рабочей документации при подготовке блоков к выводу из эксплуатации.

В нашей стране уже прекращена эксплуатация первых и вторых блоков Белоярской и Нововоронежской АЭС, в период до 2023 г. в связи с выработкой назначенного срока службы может быть прекращена эксплуатация еще 29 блоков различного типа и мощности.

Анализ разработок по технологии и практике демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков АЭС показывает, что системный подход является предпочтительным методом проектирования демонтажной технологии [1—3] и есть актуальная необходимость в создании для этого проблемно-ориентированной системы [4]. В такой системе технологические решения принимают в среде действия факторов влияния. Отметим основные из них.

1. Масштабы демонтажных работ определяют технологические принципы их производства в части используемых способов, методов, средств технологического оснащения, построения операций и технологического процесса в целом.

Исходя из массы оборудования (без оборудования внешних сооружений и коммуникаций) типовых блоков АЭС с канальными и корпусными реакторами [5] и массы оборудования блоков 1-й очереди Белоярской и Нововоронежской АЭС объем предстоящих работ составит около 840 тыс. т (не учтены блоки с ЭГП Билибинской и БН-600 Белоярской АЭС).

Основным вариантом вывода из эксплуатации блоков АЭС в сложившейся социально-экономической ситуации следует считать безопасное сохранение под наблюдением с окончательным демонтажем реактора после длительной выдержки (30—100 лет) в целях снижения активности его конструкций за счет естественного распада радионуклидов.

По данным программы подготовки и снятия с эксплуатации первых двух блоков Белоярской АЭС, утвержденной в 1996 г., распределение объемов демонтажа оборудования на этапах подготовки к выводу из эксплуатации, длительного сохранения и ликвидации блока составит 6100, 17 900 и 6850 т соответственно. Ориентировочно такое же соотношение (1:3:1) объема работ по этапам характерно для других блоков АЭС.

Разработка технологии демонтажа оборудования (главным образом, реактора) для заключительного этапа вывода из эксплуатации в настоящее время нецелесообразна.

Таким образом, по нашему мнению, в течение приблизительно 15 лет (при подготовке блока к длительному сохранению и в начальный срок этапа сохранения) будет демонтироваться оборудование и для этого потребуются технологическое обеспечение. Всего на российских АЭС с канальными и корпусными реакторами на данных этапах должны быть обеспечены современной технологией работы по демонтажу около 650 тыс. т оборудования.

2. Условия размещения оборудования в значительной мере определяют технологию демонтажных работ. Формообразование помещений и зданий АЭС [6] было подчинено удобству и безопасности выполнения основного при ее эксплуатации технологического процесса, прочности и долговечности, экономичности строительства, но не учитывало специфики демонтажа оборудования в последующем. Серьезные затруднения для выполнения демонтажных работ обусловлены монтажом крупногабаритного оборудования.

Демонтируемое оборудование размещается в зданиях блока почти на всех строительных отметках. В результате при выводе из эксплуатации возникают потребности в объемных и сложных операциях перемещения демонтированного оборудования и/или его фрагментов к основным транспортным коридорам. Для этих операций требуются серьезные подготовительные работы по организации трасс перемещения и оснащения их необходимыми средствами перемещения.

3. Для различных видов конструкции установленного оборудования необходимо создание типовых технологических процессов демонтажа. С этих позиций основное оборудование можно условно разделить на следующие категории:

- реакторы корпусные и канальные;
- турбины и турбогенераторы;
- теплообменники (сосуды с развитой во внутреннем объеме трубной системой);
- баки, емкости с малоразвитой или отсутствующей системой внутренних металлоконструкций и труб, включая сепараторы, барботеры, деаэраторы;
- насосы, как правило, центробежные;
- трубопроводы (с арматурой);
- прочее оборудование (приводы, редуccionные устройства, эжекторы и др.);
- металлоконструкции.

При этом в демонтажной технологии должны учитываться некоторые особенности конструкции оборудования:

- широкое применение коррозионно-стойкой стали, что ограничивает возможности механической и отчасти термической резки;
- недостаточная жесткость многих конструкций для применения механических способов резки;

высокая плотность расположения внутренних элементов конструкций (в реакторах, теплообменниках и др.), труб в пучках трубопроводов, рядом стоящего оборудования в помещениях, затрудняющая применение средств технологического обеспечения и способов демонтажа;

крупные массогабаритные параметры, что ограничивает выбор технологии фрагментирования и перемещения.

Необходимо учитывать в технологии демонтажа разнообразные способы установки оборудования, определяющие требования и ограничения в части условий выполнения рабочих операций и соблюдения безопасности работ.

4. Соблюдение радиационной безопасности для персонала, населения и окружающей среды является главным условием функционирования технологии демонтажа. Признано, что перенос радиоактивных веществ, сопровождающийся разрушением барьеров и созданием новых, является неизбежным следствием реализации технологических процессов при выводе из эксплуатации [7].

Общее представление о радиационных условиях демонтажа оборудования в помещениях реакторного отделения 1-го блока Белоярской АЭС после его 10-летней выдержки дают диаграммы на рис. 1.

Помещения по мощности экспозиционной дозы с позиции пребывания в них персонала при выполнении работ условно разделены на четыре группы на основе действовавших ранее норм НРБ-76/87, мР/ч: четвертая группа — до 2,8, третья — 2,8—10, вторая — 10—50, первая — выше 50. Помещения четвертой группы относятся к помещениям постоянного пребывания персонала (по СП АС-88/93), третьей группы — ограниченного при условии не превышать индивидуальную годовую дозу облучения.

В помещениях второй группы для снижения мощности экспозиционной дозы требуется длительная выдержка или эффективная дезактивация, без выполнения таких условий должна применяться дистанционно управляемая техника. Такая техника — единственно возможное решение при проведении работ в помещениях первой группы [8].

Большая часть демонтируемого оборудования, как показывают диаграммы, расположена в помещениях третьей и второй групп, и при разработке технологии его демонтажа условие соблюдения радиационной безопасности для персонала, ведущего демонтажные работы, оказывает определяющее влияние. После введения НРБ-99 соблюдение этого условия стало еще более актуальным.

В то же время масса демонтируемого оборудования машинных залов блоков АЭС такая же, как и реакторных отделений, при этом на блоках с двухконтурной системой оборудование нерадиоактивное, с одноконтурной — низкорadioактивное. В целом доля массы радиоактивного оборудования на блоках АЭС составляет менее 30% общей массы.

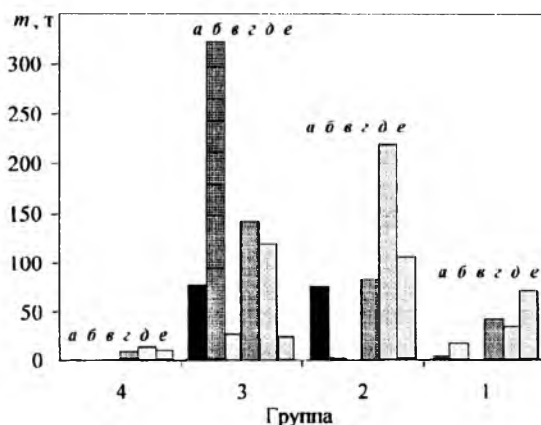
5. Технология демонтажа оборудования должна быть встроена в регламент, действующий на блоке при реализации этапов вывода из эксплуатации. В наибольшей степени это касается ее адаптации к обращению с радиоактивными отходами в части выполнения требований к радиационно опасной продукции демонтажа, а также требований, связанных с размещением комплекса переработки и мест хранения отходов в случае использования для этих целей площадей выводимого из эксплуатации блока.

6. Опыт обращения с радиационно опасным оборудованием, связанный с его техническим обслуживанием, ремонтом и заменой, должен учитываться при проектировании демонтажной технологии.

7. Граничные условия, определяемые временными, людскими, дозовыми, материальными и экономическими ресурсами, которые обслуживают проектирование технологии демонтажа оборудования, изготовление или приобретение средств технологического оснащения и функционирование технологии, существенно влияют на выбор решений уже на начальной стадии проектирования технологии демонтажа оборудования.

8. Общая схема разработки технологии демонтажа оборудования включает следующие стадии: техническое задание, технические предложения, проектный технологический процесс и рабочая технологическая документация. Эти стадии формируют последовательно технологическое пространство демонтажных работ в соответствии с программой, затем технико-экономическими исследованиями и/или технико-экономическим обоснованием и далее проектом вывода из эксплуатации. Схема отражает практику формирования иерархической структуры проектирования на основе стадийной и связанной с ней уровневой декомпозицией объекта проектирования.

Формирование пространства проектирования технологии демонтажа оборудования является изначально информационным процессом, включающим обработку сообщений (информации) среды, в которой выполняется проектирование, и среды, в которой будет функционировать технология. С информационной точки зрения процесс проектирования технологии демонтажа — последовательное преобразование в выходную ин-



Р и с. 1. Распределение массы оборудования реакторного отделения 1-го блока Белоярской АЭС по радиационному фону: а — емкости, сосуды; б — теплообменники; в — насосы; г — трубопроводы; д — прочее оборудование; е — металлоконструкции

формацию исходной информации об объекте воздействия и условиях функционирования технологии, общетехнических и технологических знаниях, известных данных разработки и практики применения демонтажной технологии в виде проектно-технологической документации заданной формы, состава и детализации.

Пространство проектирования существует объективно, в то же время его контуры и наполнение устанавливаются на основе субъективного подхода и компетенции специалистов-разработчиков демонтажной технологии. При достижении цели обработки информации используется инвариант обработки — смысл информации, заключенный в сообщении и пригодный для использования. Смысл и прагматизм информации оценивается специалистами-разработчиками технологии в соответствии с потребностями проектирования и ситуацией, в которой осуществляется проектирование и исполнение спроектированных работ.

Исходное состояние пространства проектирования в развитие математического понятия пространства [9] можно представить в виде множества кортежей, состоящих из подмножеств с внутренними Am_g -, Am_f -, ...-отношениями их элементов. Как уже сказано, элементы отбираются по инварианту обработки информации. Кортежи связаны между собой A_1 -, A_2 -, ...-отношениями, определяемыми причастностью к разработке технологии демонтажа:

$$M \left\{ \begin{array}{l} M\{m_g | m_g - \text{данные проектной документации по} \\ \text{выводу из эксплуатации}\}, Am_{g1}, Am_{g2}, \dots, Am_{gk}; \\ (M\{m_j | m_j - \text{данные регламента стадий} \\ \text{проектирования технологии}\}, Am_{j1}, Am_{j2}, \dots, Am_{jn}); \\ (M\{m_i | m_i - \text{данные документации (проектной,} \\ \text{обследования и др.) по энергоблоку}\}, Am_{i1}, Am_{i2}, \dots, Am_{if}); \\ (M\{m_p | m_p - \text{данные нормативно-технической} \\ \text{документации}\}, Am_{p1}, Am_{p2}, \dots, Am_{pv}); \\ (M\{m_r | m_r - \text{данные источников технологических} \\ \text{знаний}\}, Am_{r1}, Am_{r2}, \dots, Am_{rw}) \end{array} \right\}, \begin{array}{l} A_1, A_2, \\ \dots, A_N \end{array} \quad (1)$$

Представленное исходное построение пространства проектирования с обширным и функционально неорганизованным информационным массивом при значительном объеме принимаемых технологических решений по факторам действия в пространстве демонтажных работ не является эффективным, и поэтому требуется его преобразование.

Для создания преобразованной структуры пространства предлагается принципиальная схема принятия технологических решений при проектировании (рис. 2). Схема инвариантна по отношению к стадиям проектирования. Условия безопасности являются частью граничных условий, однако ввиду их исключительного значения в демонтажной технологии они выделены отдельно.

При преобразовании модели (1) пространства проектирования:



Рис. 2. Принципиальная схема разработки технологических решений

часть данных и сообщений, распределенных по множествам $M\{m_g\}$, $M\{m_i\}$, организуется в множество исходных данных о среде действия и объектах воздействия ($M\{m_a\}$) проектируемой технологии демонтажа с отношениями Am_{a1} , Am_{a2} , ..., Am_{af}

$$M\{m_g\}, M\{m_i\} \xrightarrow{\theta} M\{m_a\}, \quad (2)$$

где правило организации θ

$$(M\{m_g\} \cap M\{m_i\}) \cup (M\{m_g\} \oplus M\{m_i\}), \quad (3)$$

и далее по правилу обработки ψ (интерпретации и построения таблиц экземпляров отношений) — в множество, представляющее реляционную базу данных с отношениями $A_{БД1}, A_{БД2}, \dots, A_{БДa}$;

другая часть данных и сообщений, распределенных по множествам $M\{m_g\}, M\{m_i\}$ с использованием аналогичной схемы (2), (3), организуется в множество $M\{m_b\}$ граничных условий проектирования с отношениями $Am_{b1}, Am_{b2}, \dots, Am_{bg}$ и далее в множество, представляющее систему граничных условий с отношениями $A_{СГУ1}, A_{СГУ2}, \dots, A_{СГУb}$;

часть сообщений из множеств $M\{m_g\}, M\{m_i\}$ и сообщения из множества $M\{m_p\}$ организуется в множество факторов безопасности ведения работ ($M\{m_c\}$) с отношениями $Am_{c1}, Am_{c2}, \dots, Am_{cj}$

$$M\{m_g\}, M\{m_i\}, M\{m_p\} \xrightarrow{\theta, \varphi} M\{m_c\}, \quad (4)$$

где правила организации θ, φ

$$(M\{m_g\} \cap M\{m_i\}) \cup (M\{m_g\} \oplus M\{m_i\}) \cup M\{m_p\},$$

и далее с применением правил обработки ψ, η — в множество, представляющее систему условий безопасности с отношениями $A_{СУБ1}, A_{СУБ2}, \dots, A_{СУБc}$;

сведения и данные, распределенные по множеству источников $M\{m_r\}$ технологических знаний, включая знания специалистов-разработчиков технологии, отбираются и систематизируются в организованное множество $M\{m_d\}$ с отношениями $Am_{d1}, Am_{d2}, \dots, Am_{dk}$ и далее с применением правил ψ, η интерпретации — в множество, представляющее систему технологических знаний с отношениями $A_{СТЗ1}, A_{СТЗ2}, \dots, A_{СТЗd}$;

из множеств $M\{m_s\}$ и $M\{m_i\}$ отбираются и систематизируются в организованное множество $M\{m_e\}$ с применением приведенных правил ($\cap, \cup, \oplus$) элементы методики проектирования технологии с отношениями $Am_{e1}, Am_{e2}, \dots, Am_{el}$, затем множество преобразуется в методику технологического проектирования с действующими в ней отношениями $A_{МТП1}, A_{МТП2}, \dots, A_{МТПe}$;

правила интерпретации ψ, η не имеют математического представления, они выполняются на основе представлений и умозаключений эксперта (специалиста-разработчика технологии) об обрабатываемом сообщении (информации) и знании правил и положений построения информационной реляционной модели;

вводятся отношения $C_1, C_2, \dots, C_L$ между компонентами-множествами (база данных, система граничных условий, система условий безопасности и методика технологического проектирования), определяемые структурой и правилами построения пространства.

Изложенные соображения по организации пространства проектирования предполагают представления его информационных компонентов в виде реляционных моделей. Следуя основным положениям разработки реляционных моделей [10], выделяем и идентифицируем в информационном пространстве объекты с совокупностью наборов (доменов) значений свойств (атрибутов) A_j со схемой отношений R_n ($A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n$).

Классы объектов представляются в виде экземпляров отношений в табличной форме, содержащей соответственно n столбцов и число строк, соответствующее числу

включенных объектов. Индивидуальный объект $r \in R$ описывается набором (кортежем) значений атрибутов, размещенных в принадлежащей ему строке. Домены могут быть составными.

Обобщенная схема обработки информации, размещенной в преобразованном пространстве проектирования в виде реляционных таблиц R_n отношений, при удовлетворении запросов, связанных с проектированием демонтажной технологии, может быть представлена последовательностью (4). Из таблиц отношений с применением правил интерпретации α на основе реляционной алгебры [10] извлекается информация, используемая специалистами-экспертами для получения по правилу разработки β множества альтернативных технологических решений, далее по правилу выбора δ — предпочтительной демонтажной технологии. Правила α , β и δ составляют методику проектирования демонтажной технологии:

$$M \left\{ \begin{array}{l} (БД, A_{БД1}, A_{БД2}, \dots, A_{БДa}); \\ (СГУ, A_{СГУ1}, A_{СГУ2}, \dots, A_{СГУb}); \\ (СУБ, A_{СУБ1}, A_{СУБ2}, \dots, A_{СУБc}); \\ (СТЗ, A_{СТЗ1}, A_{СТЗ2}, \dots, A_{СТЗd}); \\ (МТП, A_{МТП1}, A_{МТП2}, \dots, A_{МТПe}) \end{array} \right\}, C_1, C_2, \dots, C_L \xRightarrow{\alpha};$$

$$M \left\{ \begin{array}{l} (M\{m_d\}, A_{БД1}, A_{БД2}, \dots, A_{БДa}); \\ (M\{m_{гy}\}, A_{СГУ1}, A_{СГУ2}, \dots, A_{СГУb}); \\ (M\{m_{уб}\}, A_{СУБ1}, A_{СУБ2}, \dots, A_{СУБc}); \\ (M\{m_{тз}\}, A_{СТЗ1}, A_{СТЗ2}, \dots, A_{СТЗd}); \\ (M\{m_m\}, A_{МТП1}, A_{МТП2}, \dots, A_{МТПe}) \end{array} \right\}, D_1, D_2, \dots, D_M \xRightarrow{\beta};$$

$$M \left\{ \begin{array}{l} (M\{m_{тр}\}, A_{ТР1}, A_{ТР2}, \dots, A_{ТРk}); \\ (M\{m_{пр}\}, A_{ПР1}, A_{ПР2}, \dots, A_{ПРl}); \\ (M\{m_{вр}\}, A_{ВР1}, A_{ВР2}, \dots, A_{ВРn}); \\ (M\{m_b\}, A_{Б1}, A_{Б2}, \dots, A_{Бf}) \end{array} \right\}, E_1, E_2, \dots, E_p \xRightarrow{\delta};$$

$M\{m_{тпд} | m_{тпд} — составляющие техпроцесса\}, F_1, F_2, \dots, F_G$.

Здесь $M\{m_d\}$, $M\{m_{гy}\}$, $M\{m_{уб}\}$, $M\{m_{тз}\}$ и $M\{m_m\}$ — множество данных об объектах воздействия технологии демонтажа, граничных условиях, условиях безопасности, технологических знаниях и методике проектирования, извлекаемых из базы данных соответствующих систем и методики проектирования (4);

$M\{m_{тр}\}$, $M\{m_{пр}\}$, $M\{m_{вр}\}$ — множество альтернативных решений по технологии демонтажа и сопутствующим подготовительным и вспомогательным работам;

$m_{тпд}$ — составляющие предпочтительного варианта технологического процесса демонтажа, разработанного в соответствии со стадией проектирования;

$D_1, D_2, \dots, D_M$ — отношения между компонентами-множествами в пространстве проектирования, определяемые структурой пространства;

$E_1, E_2, \dots, E_p$ — отношения между элементами компонентов-множеств пространства проектирования, определяемые методикой проектирования;

$F_1, F_2, \dots, F_G$ — отношения между элементами составляющих технологического процесса демонтажа.

Материализация предложенной схемы в определенной мере осуществлена на уровне разработки и систематизации факторной среды, окружающей и наполняющей пространство проектирования, и создания алгоритма ее использования при проектировании.

При проектировании должны быть получены решения по факторам действия демонтажной технологии. В настоящее время перечень содержит 195 факторов и при необходимости может быть дополнен. Достаточность этого перечня — существенный фактор качества столь ответственной разработки, каковой является технология демонтажа радиационно опасного оборудования. Укрупненными составляющими этой факторной среды являются способы демонтажа и перемещения, методы демонтажа, средства технологического оснащения, безопасность работ, подготовительные и вспомогательные работы.

Факторы информации, входящие в схемы отношений пространства проектирования, включают в три группы, на которых базируются составляющие системы проектирования: база данных, системы граничных условий, условий безопасности, технологических знаний:

исходное состояние среды действия и объектов воздействия демонтажной технологии с данными помещений, их оснащения системами энерго-, жизнеобеспечения и средствами перемещения, данными объектов воздействия, значимыми для технологии (перечень содержит в настоящее время 145 факторов);

граничные условия и условия безопасности с требованиями к продукции демонтажа, факторами влияния и требованиями безопасности (перечень содержит в настоящее время 75 факторов);

факторы знаний в области технологии демонтажа, включающие факторы оценки возможностей применения технологии для демонтажа, возможностей применяемой технологии демонтажа, сведения из практики демонтажа радиоактивного оборудования (перечень содержит 115 факторов).

Для методики проектирования, опирающейся на знания экспертов, предложен на уровне принципиальной схемы управляющий алгоритм проектирования с использованием внутренней и внешней по отношению к пространству проектирования факторной среды.

Для представления выходных параметров и характеристик демонтажной технологии предназначены три группы факторов:

характеристики продукции демонтажа с данными о радиационном состоянии, виде материала, внешних признаках, массогабаритных параметрах, виде упаковки;

характеристики сопутствующих (вторичных) отходов с указанием природы и интенсивности возникновения, агрегатного и радиационного состояния в исходном и конечном состоянии;

показатели функционирования, абсолютные и относительные, характеризующие подготовительные и вспомогательные работы, сопутствующие применению технологии.

Для принятия решений предлагаются ранжируемые факторы-критерии.

1. Критерии принятия технологических решений, характеризующие на качественном и количественном уровне их техническую и экономическую реализуемость, приспособленность к условиям ведения работ, практику применения, безопасность и объемы сопутствующих подготовительных и вспомогательных работ.

2. Критерии выбора предпочтительного варианта технологического процесса, характеризующие его трудоемкость, дозовые, временные и экономические затраты, безопасность.

Проблемно-ориентированная система проектирования технологических процессов демонтажа оборудования блоков АЭС разрабатывается, используется и совершенствуется в течение продолжительного времени. В этот период выполнены технологические разработки по демонтажу реактора и тепломеханического оборудования 1-го блока Белоярской АЭС, типового блока ВВЭР-440, блока РБМК-1000. Эффективность применения системы возрастает по мере совершенствования и применения современной компьютерной поддержки.

Заключение. Эффективное проектирование технологии демонтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации, возможно в рамках проблемно-ориентированной системы, учитывающей действие факторов влияния среды их функционирования и современное состояние знаний. За основу проблемно-ориентированной системы целесообразно принять правила организации и пространство проектирования, сочетающие применение информационных и экспертных методов и формирующие алгоритм проектирования демонтажной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Былкин Б.К., Шпицер В.Я. Проблема обоснования технической возможности демонтажа блоков АЭС. — Тяж. машиностр., 1992, № 4, с. 13—16.
2. Былкин Б.К., Шпицер В.Я. Системный анализ радиационной безопасности при демонтаже оборудования энергоблоков АЭС. — Атомная энергия, 1993, т. 74, вып. 5, с. 431—435.
3. Былкин Б.К., Шпицер В.Я. Системный подход как инструмент оптимизации технологических процессов демонтажа при снятии АЭС с эксплуатации. — Там же, 1994, т. 77, вып. 6, с. 460—462.
4. Берела А.И., Былкин Б.К., Шпицер В.Я. и др. Снятие АС с эксплуатации. Разработка демонтажной технологии. — Там же, 1997, т. 83, вып. 6, с. 429—433.
5. Справочник монтажника тепловых и атомных электростанций. Организация демонтажных работ. Под общ. ред. В.П. Банника, Д.Я. Винницкого. 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1981. 928 с.
6. Воронин Л.М. Особенности проектирования и сооружения АЭС. М.: Атомиздат, 1980. 192 с.
7. Былкин Б.К., Шпицер В.Я. Об оценке эффективности технологии демонтажа оборудования АЭС. — Теплоэнергетика, 1993, № 8, с. 33—36.
8. Былкин Б.К., Берела А.И., Этинген А.А. и др. Технологические аспекты демонтажа тепломеханического оборудования блока № 1 и машзала 1 очереди Белоярской АЭС. — Энерг. строит., 1994, № 10, с. 7—11.
9. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. 2-е изд. Киев: Техника, 1977. 768 с.
10. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов. Учебн. пос. для вузов. М.: Высшая школа, 1987. 248 с.

Поступила в Редакцию 23.06.2000

УДК 537.58

ВЛИЯНИЕ ЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ В ДУГОВОМ РЕЖИМЕ

Кайбышев В.З., Лысков А.В. (РНЦ «Курчатowski ин-т»)

Величина и знак скачка потенциала вблизи коллектора термоэмиссионного преобразователя определяются условиями непрерывности потока энергии и заряженных частиц на границе плазмы и существенно влияют на полезное напряжение. В настоящей статье рассматривается влияние эмиссионных свойств поверхности коллектора (работы выхода и коэффициента прозрачности для электронов) на скачок потенциала вблизи коллектора в дуговом режиме. Показано, что обмен энергией между холодными электронами эмиссии с коллектора и электронами плазмы увеличивает градиент температуры последних и существенно изменяет зависимость перепада потенциала от эмиссионного тока и коэффициента прозрачности.

Двухгрупповое приближение для электронов в приколлекторной области плазмы. В традиционном подходе [1] при сшивке уравнений переноса для тока и энергии на границе плазмы с эффективными граничными условиями учитывается проходящий ток j_e , в эффективных граничных условиях для тока из плазмы используется сумма $j_e + j_k$, где j_k — ток с коллектора в плазму. При этом соблюдается условие непрерывности тока на границе, но нарушается условие непрерывности тока в плазме.