

Секция 2. Экономика атомной энергетики

***ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЗАТРАТ НА ВЫВОД ИЗ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ
ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС***

*Проектно-конструкторский филиал
ОАО «Концерн Росэнергоатом»*

Носков Андрей Александрович

Предмет исследования

Предметом исследования является оценка полных затрат на вывод из эксплуатации энергоблока АЭС с РУ типа ВВЭР-ТОИ.

Текущее состояние проблемы:

- Отечественные методики оценки затрат на вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС базируются на расчете стоимости работ по укрупненным показателям (масса-габаритным характеристикам).
- Отсутствуют федеральные и отраслевые нормы и расценки на проведение работ по дезактивации, демонтажу, фрагментации и обращению с РАО (включая нормы технологического проектирования)
- Отсутствует единый отраслевой каталог, определяющий номенклатуру, спецификацию и стоимость оборудования и материалов, требуемых для выполнения работ по выводу из эксплуатации
- Отсутствуют утвержденные критерии остаточного радиоактивного загрязнения после завершения работ по выводу из эксплуатации объектов и реабилитации площадок их размещения

Феноменологическая модель

Принятые Госкорпорацией Росатом «Методические указания по укрупненной оценке стоимости работ по выводу из эксплуатации ОИАЭ» по своей сути являются феноменологической моделью с простейшим иерархическим уровнем.

Феноменологическая модель рассматривает исследуемый предмет целиком, не вникая в его внутреннюю структуру. Она изучает, как реагирует этот предмет на некоторую внешнюю силу в целом, интегрально. Например, расчет стоимости затрат на консервацию реакторного блока проводится на основании УПС и корректирующих коэффициентов по формуле:

$$C_{\text{консервации}} = \text{УПС} \cdot K_{\text{очереднВЭ}} \cdot P_{\text{увр}}$$

$C_{\text{консервации}}$ – рассчитываемая стоимость проведения работ по консервации реакторного блока, тыс. руб.;

УПС – укрупненный показатель стоимости, тыс. руб. /ед. изм.;

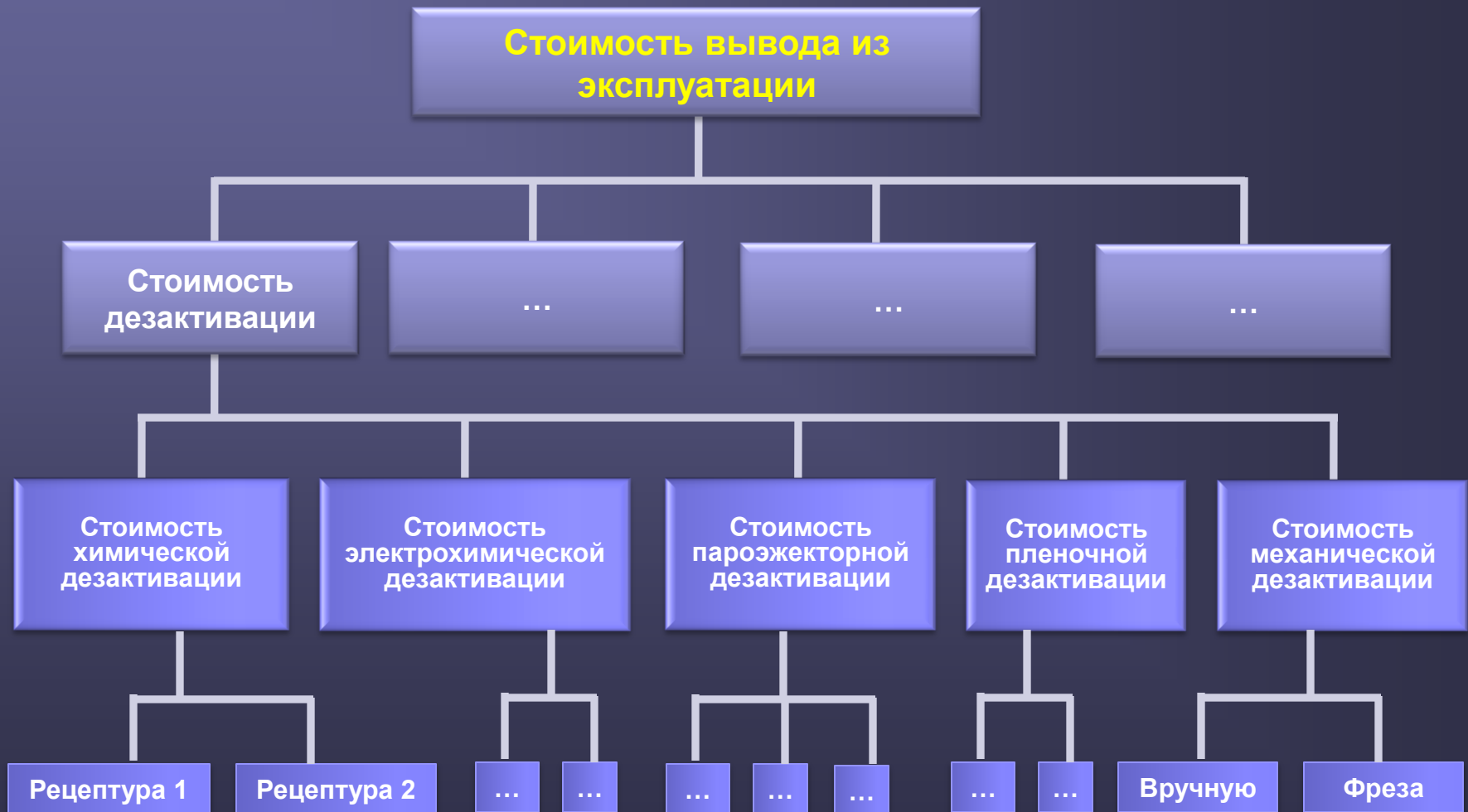
$P_{\text{увр}}$ – количество консервируемых реакторных блоков;

$K_{\text{очереднВЭ}}$ – коэффициент, учитывающий изменение в стоимости консервации блока, в зависимости от очередности ВЭ.

Иерархическая структура методических указаний



Иерархическая структура имитационной модели



Состав объектов имитационной модели

Обозначение объекта	Наименование объекта
C_1	Защитная оболочка энергоблока
C_2	Реактор и шахта реактора
C_3	Оборудование реакторной установки без реактора
C_4	Устройство локализации расплава
C_5	Бассейн выдержки и шахты ревизии
C_6	Системы спецвентиляции и спецгазоочистки
C_7	Здание КП РАО
C_8	Иные радиационно опасные объекты
C_9	Не радиационно опасные объекты
C_{10}	Площадка временного хранения контейнеров с кондиционированными РАО
C_{11}	Модуль хранения
C_{12}	Мобильная модульная установка
C_{13}	Национальный оператор

Объектами модели являются здания и сооружения энергоблока, вместе с размещенными в них оборудованием, трубопроводами и другими элементами

Состав основных объектов модели был выбран с учетом проектных решений, принятых для энергоблока ВВЭР-ТОИ, а также с учетом особенностей выполнения работ по различным вариантам вывода из эксплуатации: «немедленный демонтаж», «отложенный демонтаж», «захоронение»

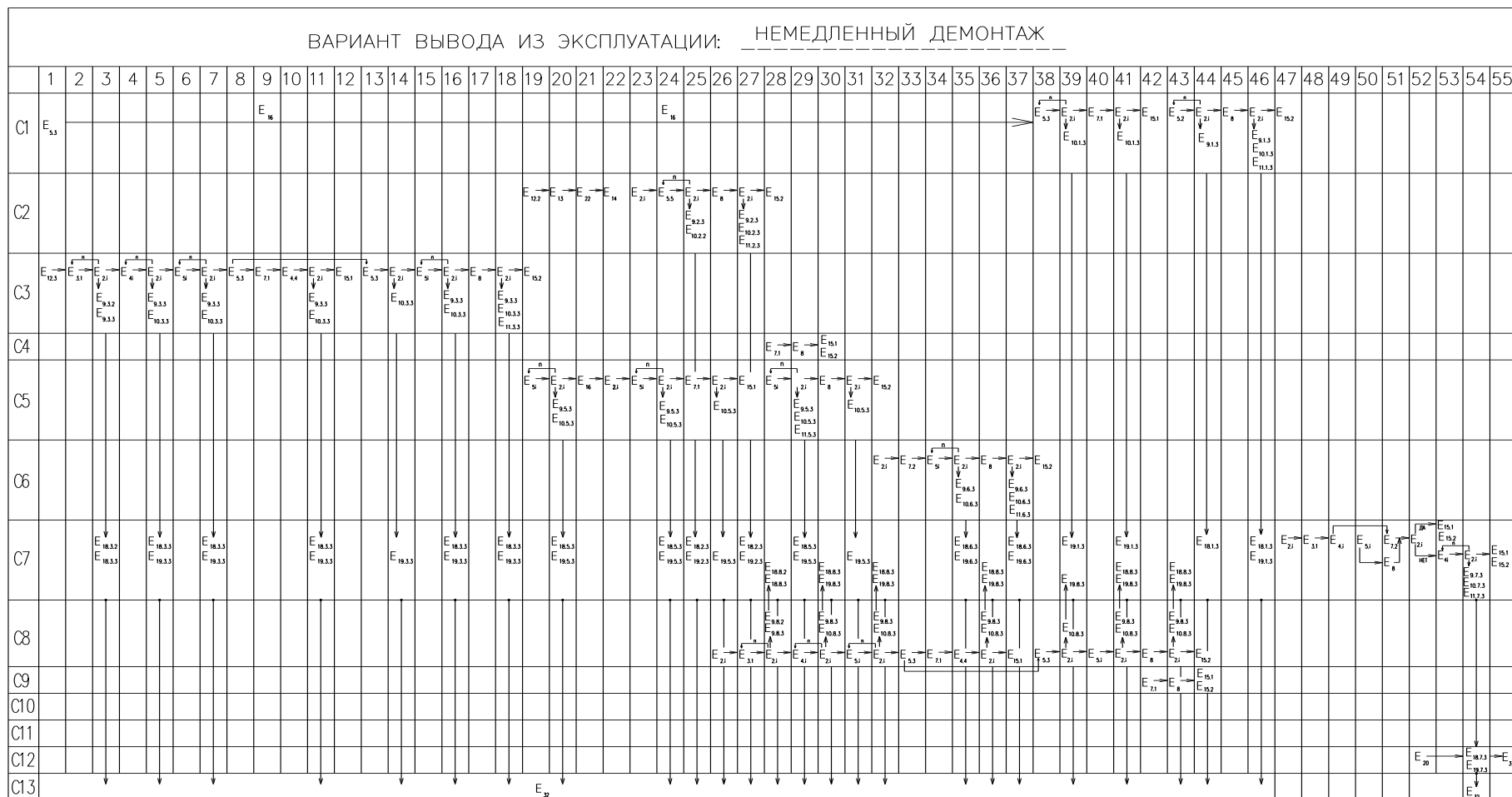
Имитируемые события

Функционирование каждого объекта и модели в целом представляется в виде задаваемого календаря событий, определяющего последовательное выполнение набора определенных элементов, групп работ или технологических операций, реализация которых требует материальных и финансовых средств.

E ₀	Отключение энергоблока от внешних сетей
E ₁	Подключение к источнику электропитания
E ₂	Радиационный контроль
E _{3i}	Дезактивация внутренних поверхностей технологических контуров
E _{4i}	Дезактивация наружных поверхностей оборудования
E _{5i}	Дезактивация поверхностей помещений
E ₆	Локальная дезактивация парогенератора
E _{7i}	Демонтаж и фрагментация оборудования, трубопроводов и металлоконструкций
E ₈	Демонтаж и фрагментация строительных бетонных конструкций
E _{9j}	Сбор жидких РАО и ПО и их передача в КП РАО
E _{10j}	Сбор ТРО и передача в КП РАО
E _{11j}	Сбор ГРО и передача аэрозольных фильтров в КП РАО
E _{12j}	Приобретение оборудования
E ₁₃	Монтаж грузоподъемного оборудования для манипуляций с корпусом реактора и транспортным контейнером
E ₁₄	Транспортирование и установка транспортного контейнера с корпусом реактора в пункт временного хранения
E _{15j,k}	Утилизация производственных отходов
E ₁₆	Выдержка
E _{18j,k}	Переработка и отверждение жидкие РАО и ПО в КП РАО
E _{19j,k}	Переработка и кондиционирование ТРО в КП РАО
E ₂₀	Размещение на площадке АЭС временного транспортируемого модуля для переработки РАО
E ₂₁	Упаковка корпуса реактора в полимерное покрытие
E ₂₂	Перемещение корпуса реактора в бассейн выдержки ОЯТ
E ₃₂	Передача кондиционированных РАО национальному оператору

Календарь событий

ВАРИАНТ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ: НЕМЕДЛЕННЫЙ ДЕМОНТАЖ



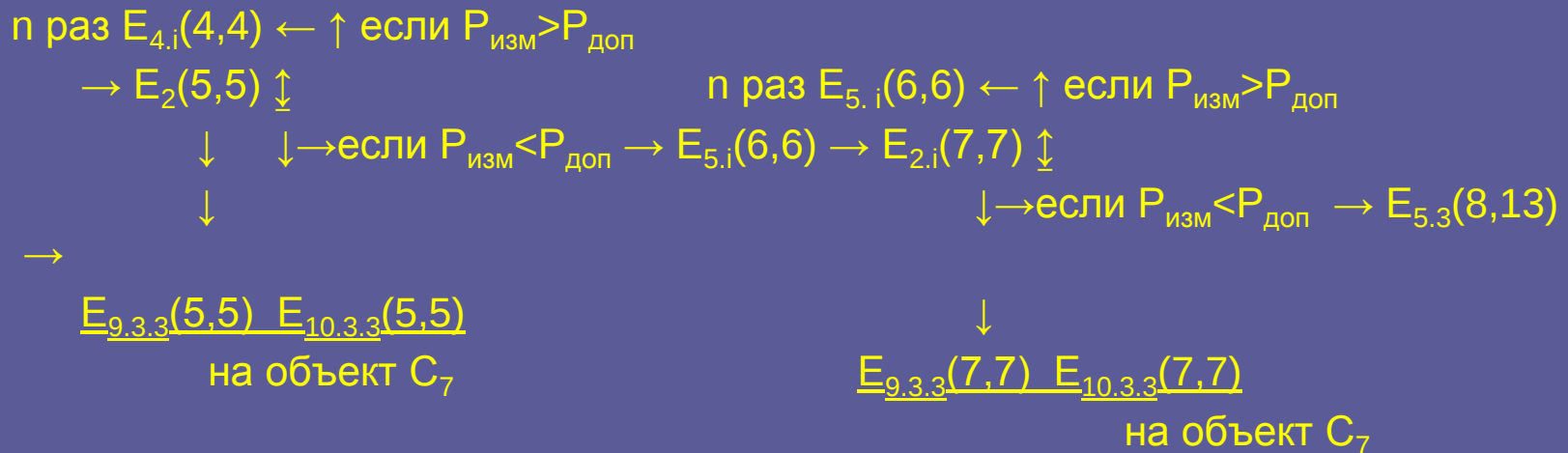
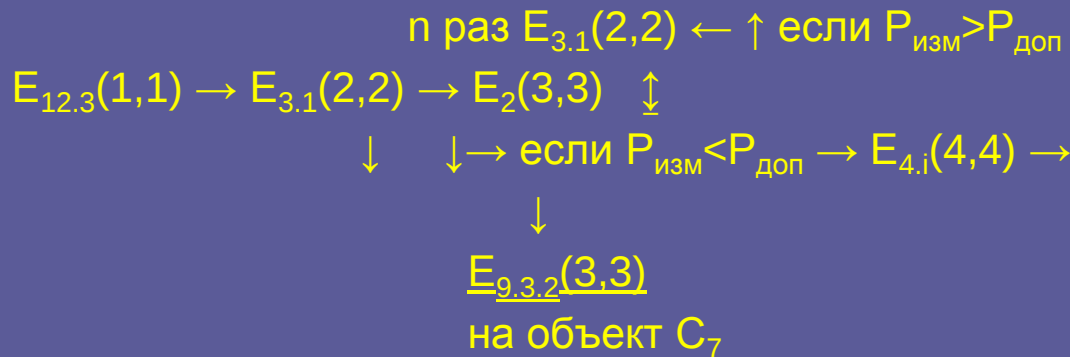
Календарь событий

Верхняя строка календаря событий от 1 по 55 представляет собой шаги событий, на которых происходят события от E_0 до E_{32} . Шаг 1 – первый шаг после завершения подготовительного периода. С него начинается вывод из эксплуатации.

Выбор последовательности событий, происходящих в пределах здания УА на объектах $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ модели, следующий:

- события начинаются на объекте C_3 и, пока они полностью не завершаться выходным радиационным контролем фрагментов строительных конструкций, никакие события на других объектах не начинаются;
- после завершения событий на объекте C_3 параллельно начинаются события на объектах C_2 и C_5 ;
- по окончании событий на объекте C_2 начинаются и заканчиваются события на объекте C_4 ;
- события на объекте C_6 начинаются по окончании событий на объекте C_5 ;
- события на объекте C_1 начинаются по окончании событий на объекте C_6 ;
- по окончании событий на объекте C_1 начинаются и заканчиваются события на объекте C_7 .

Пример календаря событий для объекта СЗ



Выходные данные имитационной модели

Результатами расчетов по имитационной модели являются расчетные оценки стоимости выполнения отдельных событий (технологических операций по дезактивации, демонтажу, фрагментации и других), проводимых на вышеперечисленных объектах, $y_{j,w}$, а также суммарная стоимость выполнения работ на данном объекте, W_j , осуществленных в течение всего календаря событий на этом объекте:

$$W_j = \sum_w y_{j,w}$$

Суммарные затраты на вывод из эксплуатации энергоблока ВВЭР-ТОИ определяются как:

$$\text{ПС} = \sum_j W_j$$

где $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13$

Выводы

Предлагаемая модель позволяет оценить ресурсы на вывод из эксплуатации проектируемого энергоблока и является новым шагом в определении объема финансирования на этапе проектирования новой АЭС.

С помощью модели возможна корректировка принимаемых проектных и конструкторских решений для нового объекта с целью оптимизации затрат на конечном этапе жизненного цикла АЭС - выводе из эксплуатации.

Имитационную модель можно также применять в ходе разработки проекта вывода из эксплуатации выработавших свой ресурс энергоблоков.

Спасибо за внимание!