

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СРОКА СЛУЖБЫ ЭНЕРГОБЛОКА АС

**О.М. Гулина, А.А. Жиганшин, Т.П. Корниец**

*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,  
г. Обнинск*



Задача оптимизации срока службы ЭБ АС формулируется как многокритериальная. Приведена формула для расчета экономического критерия в условиях старения основного оборудования АС. Предложен способ оценки срока службы при интервальных значениях переменных модели.

Проблема продления срока службы (ПСС) исчерпавших проектный ресурс энергоблоков ТЭС и АЭС стала актуальной для многих стран мира, т.к. число энергоблоков только АЭС со сроком эксплуатации свыше 25 лет превысило 229. Среди причин, определяющих актуальность разработки мероприятий по ПСС, одними из важнейших являются экономические. По данным EPRI внедрение программы ПСС на энергоблоке составляет 125-300 долл/кВт, в то время как строительство нового блока – 1300-1900 долл/кВт. Любой срок службы когда-то заканчивается. Как определить момент прекращения эксплуатации? Когда дальнейшая работа энергоблока становится неэффективной? И если вопросам обеспечения безопасной эксплуатации, техническим решениям, диагностике и системам контроля уделяется большое внимание (например, [1-3]), то экономическая сторона проблемы обсуждается намного реже [4,5].

Расчет экономической эффективности, как правило, базировался на использовании методологии приведенных затрат. Однако важной методологической проблемой теории приведенных затрат является учет *разновременности затрат и результатов*. В этом смысле введение такого показателя как ЧДД (чистый дисконтированный доход,  $NPV$  – net present value – чистая приведенная стоимость) в качестве оптимизационного критерия является вполне логичным и методически обоснованным. Этот интегральный критерий осуществляет соизмерение разновременных показателей путем дисконтирования:

$$NPV_{Bl} = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) \cdot (1 + E_t)^{-t}, \quad (1)$$

где  $Z_t$  – затраты на строительство, эксплуатацию и ремонт энергоблока (ЭБ) АС;  $R_t$  – эффект от эксплуатации (стоимость произведенной электроэнергии);  $E_t$  – коэффициент дисконтирования;  $T$  – расчетный период.

Этот критерий учитывает всю историю эксплуатации блока и отражает истинное соотношение между вложениями в производство электроэнергии (затратами) и стоимостью произведенной электроэнергии (результатом).

Математическая постановка многокритериальной задачи оценки момента прекра-

щения эксплуатации ЭБ следующая:

- целевая функция безопасности  $Q(t) \rightarrow \max$  (при ограничении  $\leq Q_N$ );
- интегральный экономический эффект должен быть неотрицательным и чем больше, тем лучше:

$$NPV_{Bl} = \sum_{t=1}^n (R_t - Z_t) \cdot (1 + E_t)^{-t} \rightarrow \max \text{ (при ограничении } NPV \geq 0),$$

- срок службы ЭБ  $t$  – должен быть как можно больше:  $t \rightarrow \max$ .

Здесь  $Q_N$  – нормативный уровень безопасности (определяется числом инцидентов на реактор в год –  $1/(\text{реактор} \cdot \text{год})$ ).

Эта многокритериальная задача (МКЗ) может быть решена с помощью простейшего метода решения МКЗ:

срок службы ЭБ  $t \rightarrow \max$  при ограничениях  $Q(t) \leq Q_N$  и  $NPV \geq 0$ .

Для того, чтобы построить алгоритм решения МКЗ, необходимо подробнее представить критерий  $NPV$ .

*Затраты* подразделяются на *первоначальные* (капиталообразующие инвестиции), *текущие* и *ликвидационные*, которые осуществляются соответственно на стадиях строительной, функционирования и ликвидационной.

Для стоимостной оценки результатов и затрат могут быть использованы текущие, прогнозные и дефлированные цены, которые могут выражаться в рублях или устойчивой валюте (доллары США, евро и т.п.).

Под *текущими* понимаются цены, заложенные в проект без учета инфляции. *Прогнозными* называются цены, ожидаемые (с учетом инфляции) на будущих шагах расчета. Прогнозная цена  $C(t)$  продукции или ресурса в конце  $t$ -го шага расчета (например,  $t$ -го года) определяется по формуле  $C(t) = C_{тек} \cdot J(t, t_0)$ , где  $C_{тек}$  – текущая цена продукции или ресурса;  $J(t, t_0)$  – коэффициент (индекс) изменения цен продукции или ресурсов соответствующей группы в конце  $t$ -го шага по отношению к начальному моменту расчета (в котором известны цены).

*Дефлированными* называются прогнозные цены, приведенные к уровню цен фиксированного момента времени путем деления на общий базисный индекс инфляции. Это необходимо, чтобы обеспечить сравнимость результатов, полученных при различных уровнях инфляции.

Система учета полных затрат, разработанная в МАГАТЭ для экономической оценки предложений по строительству АЭС [4], включает в себя базовые затраты: прямые (строительство, стоимость основного оборудования, элементов АЭС) и косвенные (инженерное обслуживание, страхование, тренинг персонала, налоги, процент на капитал и т.д.), стоимость ЯТЦ и стоимость эксплуатации (содержание оперативного и ремонтного персонала, ремонт оборудования, используемые материалы, обращение с радиоактивными отходами).

*Экономический критерий.* Выделив из  $NPV$  капитальные затраты, получим следующий вид критерия:

затраты в критерии (1)

$$Z(n) = K_{Bl} + E_0 \cdot T \sum_{t=1}^T W_{tBl}, \text{ или } Z(n) = K_0 + \sum_{t=1}^T (E_0 + C_{rep} + C_{rpl}),$$

здесь  $W_{tBl}$  учитывает затраты, связанные с ненадежностью рассматриваемого в рас-

чете оборудования, т.е.  $W_{tBl} = \sum_{k=1}^K W_k$ , где  $W_k$  – затраты, связанные с ненадежностью

$k$ -го типа оборудования, тогда

$$NPV_{Bl} = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - Z_t - K_t}{(1 + E_t)^t} - K_0,$$

где  $R_t = C_E \cdot W \cdot (8760 - S_T)$  – стоимость произведенной электроэнергии за  $t$ -й год;  $S_T$  – среднее время отключения блока в течение  $t$ -го года, ч;  $C_E$  – стоимость произведенной электроэнергии, руб/квт·ч;  $W$  – мощность ЗБ.

$$NPV_{Bl} = \sum_{t=1}^T \frac{C_E \cdot W \cdot (8760 - S_T) - E_0 - \sum_{k=1}^K (C_{rep}^t + C_{rpl}^t)_k \cdot \lambda_k(t)}{(1 + E_t)^t} - K_0, \quad (2)$$

где  $K_0$  – начальные капиталовложения;  $E_0$  – ежегодные затраты на обслуживание, включая ППР;  $C_{rep}$  – стоимость дополнительных ремонтов в течение года;  $C_{rpl}$  – стоимость замен в течение года;  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов  $k$ -го типа оборудования, приводящих к дополнительным ремонтам и заменам.

*Интервальное оценивание.* Поскольку параметры модели являются в общем случае интервальными величинами, то задача оценки срока службы сводится к задаче оценки интервала для срока службы. Рис.1 комментирует это положение. В осях  $(-NPV)-t$  сплошная линия соответствует среднему значению параметра  $-NPV$ ,  $-NPV_{up}$  – значение верхней границы в точке  $t$ ,  $-NPV_L$  – нижней.

В критерии (2) интервальными являются такие переменные как  $S_T$ ,  $\lambda(t)$ ,  $E_0$ ,  $C_{rep}$ ,  $C_{rpl}$ . Интервал для  $NPV$  находится по правилам интервальной арифметики. В случае, когда присутствует нечеткое описание переменных, роль интервалов выполняют  $\alpha$ -срезы нечетких множеств.

На рис.1 пунктиром отмечены верхняя и нижняя границы критерия  $(-NPV)$ . Нижняя граница срока службы по критерию  $NPV=0$  может быть получена из уравнения  $NPV_{up}=0$ , а верхняя граница – из уравнения  $NPV_L=0$ .

Область I относится к амортизационному сроку эксплуатации, а в области II экономическая эффективность АС перестает зависеть от учетных ставок привлекаемого капитала, и на нее больше влияют темпы научно-технического прогресса и роста спро-

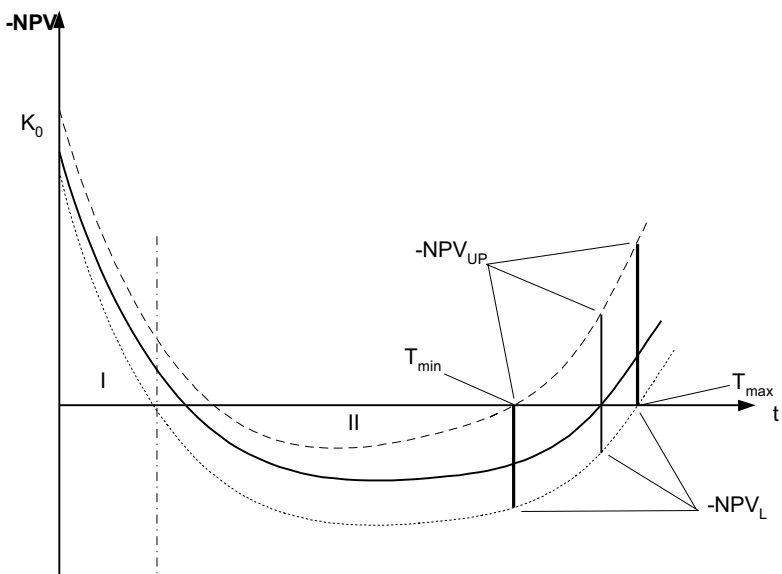


Рис.1. Интервальное оценивание срока службы

са на электроэнергию АС. Именно поэтому сейчас многие АС, амортизированные за время эксплуатации, демонстрируют высокую экономичность и возможность эффективного продления эксплуатации. Представленный в настоящей работе подход демонстрирует метод оценки срока службы ЭБ АС, основанный на решении МКЗ при интервальном задании параметров.

### **Литература**

1. *Воронин Л.М., Березин Б.Я., Кисиль И.М.* Продление срока эксплуатации АЭС России//Тепло-энергетика. - 1997. - №8. - С. 31-34.
2. INSAG-13. Management of operational safety in nuclear power plants.
3. *Рогнер Х., Лангдуж Л.М., Макдональд А.* Ядерная энергетика – статус и прогноз//Атомная техника за рубежом. - 2002. - №7. - С. 25-30.
4. *Кархов А.Н.* Экономическая оценка предложений по строительству АЭС//Атомная техника за рубежом. - 2002. - №2. - С. 23-26.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999 г. - М.: Экономика, 2000.

Поступила в редакцию 25.11.2002

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.311.25:621.039

*Possibility of joint use of neural networks and best-estimate codes in system of operators support \ Yu.B. Vorobyov, V.D. Kuznetsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 9 pages, 3 illustrations, 2 tables. - References, 4 titles.*

The technique for support of the NPP's operator with use of technologies on the basis of thermal-hydraulic best estimate codes, systems of uncertainty analysis and technologies of an artificial intellect on a base of neural networks is offered. It is shown that it is possible with good reliability to identify character of possible accidents at the initial stage of their occurrence. Thus, the practical opportunity of the recognition such failures on NPP may be realized and the system for support of the operator with use of the offered approach can be created.

### УДК 621.039:519.7

*The Problem of Multicriteria Optimization for NPP Lifetime \ O.M. Gulina, A.A. Zhiganshin, T.P. Korniets; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 4 pages, 1 illustration. - References, 5 titles.*

The problem of NPP unit lifetime optimization is formulated as multicriteria one. There is presented the form of economical criterion under degradation processes in the base equipment. The method of NPP lifetime estimation for the model with interval parameters is supposed.

### УДК 621.039.52

*Possibility of Safety Ensuring of the Fast Reactor, Cooled by Na-K Alloy \ V.S. Okunev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 9 pages, 2 tables. - References, 5 titles.*

The possibilities of safety ensuring of the fast reactors, cooled by Na-K alloy are researched. The results of optimisation of the safety characteristics of core with discount self-protected to severe anticipated transients without scram are presented.

### УДК 502.3

*The Priorities and Some Findings of Research on Environmentally Occurring "Hot" Radioactive Particles. The General Characterization of "Hot" Radioactive Particles Applicability for Technical Purposes \ I.Ya. Gaziev, Ya. I. Gaziev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 7 pages, 4 illustrations, 2 tables. - References, 8 titles.*

The data have been compiled on "hot" radioactive particles (HRPs) in the environment with their individual beta activities of about 1 Bq/particle or higher and on the environmental contamination patterns with these particles. Two priorities in research of environmental contamination with such radioactive particles have been outlined. The first is the data acquisition on the main physical characteristics of HRP in natural media to specify the principal features of environmental contamination with these particles. The second is the data availability on radiation exposure of the biosphere, including humans, to such particles. Some essential findings from the two approaches are considered in the paper. The possibilities of laboratory produced HRP have been shown for their uses in organizing and performing radioecological monitoring in the atmosphere - underlying surface - biota (with humans included) system.