

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СРОКА СЛУЖБЫ ЭНЕРГОБЛОКА

О.М. Гулина, А.А. Жиганшин, В.А. Чепурко

Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск



Для принятия решения о возможности продления срока службы разработан оптимизационный критерий, учитывающий как требования по безопасности, так и экономическую составляющую проблемы. Получены результаты для расчета стоимости эксплуатации блока с учетом ненадежности оборудования на основе марковской модели. Предложен метод оценки момента времени прекращения эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема останова и вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС является актуальной для атомной энергетики [1,2]. Количество энергоблоков АЭС со сроком эксплуатации 22-26 лет и более для восьми ведущих стран, входящих в ассоциацию надзорных органов, составляет 118. По техническим, экологическим, общественно-политическим и др. причинам остановлено 85 блоков со средним сроком эксплуатации 17 лет [3]. Вывод энергоблока АЭС из эксплуатации является дорогостоящей процедурой (в США 200-1200 долл/кВт), поэтому проблема определения сроков службы атомных станций с учетом жизненных циклов их основного оборудования становится все более важной по мере увеличения возраста АС. Возникает вопрос о рациональной схеме принятия решения о сроке вывода АС из эксплуатации, о целесообразности замены какого-либо типа основного оборудования с учетом факторов безопасности и экономичности. Актуальными являются научно-технические и экономические исследования, направленные на обоснование технической возможности и экономической целесообразности эксплуатации энергоблоков АЭС сверх проектного срока службы как альтернативе выводу из эксплуатации [5]. Целью данной работы является разработка критерия принятия решения о продлении срока службы, в том числе оценка затрат, связанных с ненадежностью оборудования АС.

КРИТЕРИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Основным критерием принятия решения о выводе из эксплуатации является конкурентоспособность АС по производству энергии по сравнению с другими источниками, которые могли бы заместить установленную мощность, при ограничениях на уровень безопасности и техническое состояние оборудования. Часто неуверенность в способности АЭС конкурировать с электростанциями других типов делают более вероятным вывод из эксплуатации, чем возобновление лицензии [3]. На рис. 1 показаны количество остановленных энергоблоков и средняя продолжительность их эксплуатации.

Критерий принятия решения "продление срока службы – вывод из эксплуатации"

(ПСС-ВЭ) определяется ежегодными затратами на содержание АС, модернизацию и замену оборудования и количеством выработанной за этот период электроэнергии. При этом гарантирование надлежащих условий безопасности является абсолютным требованием при эксплуатации любой АС независимо от ее возраста.

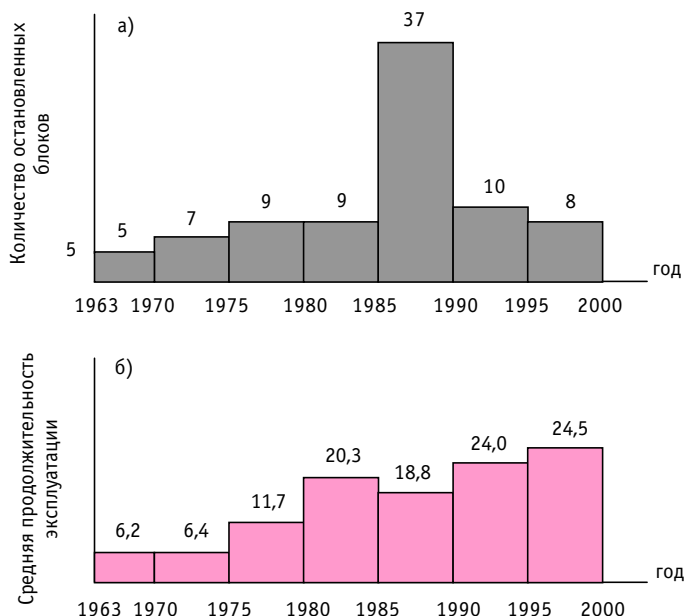


Рис.1. Количество остановленных блоков с 1963 по 1998 гг. (а) средняя продолжительность эксплуатации энергоблоков (б)

Математическая постановка задачи определения сроков службы по выбранному критерию выглядит следующим образом:

$$Z_{NP}(K, T_{lt}) \leq 0,$$

при ограничении $Q(T_{lt}) > Q_N$,

где Z_{NP} - среднегодовая стоимость эксплуатации АС в течение всего срока службы; K - капитальные затраты; T_{lt} - срок службы блока; $Q(T_{lt})$ - уровень безопасности АС; Q_N - нормативный уровень безопасности.

Единственным вероятностным числовым показателем, которому одинаково должны удовлетворять действующие АС [6], является частота серьезного повреждения активной зоны, оценка которой есть не что иное, как один из результатов вероятностного анализа безопасности. Процедура оценки этой частоты содержит анализ возможных исходных событий, инициирующих аварии, и моделирование аварийных последовательностей. Как частоты исходных событий, так и вероятности реализации аварийных последовательностей зависят от надежности основного оборудования, которая, в свою очередь, зависит от сроков эксплуатации этого оборудования. Тогда ограничение на уровень безопасности можно представить в следующем виде:

$$Q(T_{lt}) = \sum_{i \in I} P_i(T_{lt}) \sum_{j \in J} A_{ij}(T_{lt}) > Q_N,$$

где I - множество исходных событий, приводящих к тяжелым повреждениям активной зоны; J - множество аварийных последовательностей (для i -го исходного события), приводящих к тяжелым повреждениям активной зоны; P_i - частота i -го исходного события; A_{ij} - вероятность реализации j -ой аварийной последовательности для i -го ис-

ходного события, приводящей к тяжелым повреждениям активной зоны; Q_N – нормативное значение критерия безопасности.

Вид функции $Z_{NP}(K, T_{lt})$ сложно предвидеть заранее - ее определение требует наличия большого количества данных, характеризующих реактор и основное оборудование АС. Тем не менее, среднегодовые затраты при эксплуатации АС можно вычислять по формуле [9]

$$Z_{NP}(K, T_{lt}) = \frac{1}{T_{lt}^R} K_{NP}(K, T_{lt}) + E_{NP}(N, T_{lt}) + W_{NP}(N, T_{lt}),$$

где T_{lt}^R – срок службы реактора; K_{NP} – капитальные затраты на строительство АС; E_{NP} – ежегодные эксплуатационные издержки для исправной АС; W_{NP} – среднегодовой ущерб от ненадежности АС; $K=(K^1, \dots, K^k)$ – вектор капитальных затрат учитываемого при анализе оборудования; $T=(T^1, \dots, T^k)$ – вектор длительностей эксплуатации оборудования; $N=(N^1, \dots, N^k)$ – вектор анализируемого оборудования; k – количество единиц анализируемого оборудования АС.

Все оборудование АС можно разделить на три группы [7]:

- оборудование, которое принимается незаменимым (корпус реактора, защитные системы);
- оборудование важное для безопасности, заменяемое, но стоимость замены и время простоя чрезвычайно большие (например, парогенераторы, сепараторы и т.п.);
- оборудование АС, не вошедшее в 1 и 2 группы – это периодически обслуживаемое и заменяемое оборудование, требующее небольших капиталовложений при замене, т.е. это то оборудование, которым можно пренебречь при решении задачи.

При выборе вектора анализируемого оборудования, можно ограничиться оборудованием 1 и 2 групп, причем для предварительного расчета (грубой оценки) этот список можно еще сократить.

ОЦЕНКА ЗАТРАТ, СВЯЗАННЫХ С НАДЕЖНОСТЬЮ ОБОРУДОВАНИЯ АС

Ненадежность оборудования блока вносит свой вклад W_{NP} в увеличение ежегодных затрат, причем его можно оценить из следующих соображений.

Стоимость эксплуатации оборудования с учетом его ненадежности включает в себя стоимость ремонта или замены, стоимость восстановительных работ и т.д. Поскольку отказы оборудования происходят в случайные моменты времени, обслуживание (восстановление) также занимает случайное время, то для решения задачи можно использовать подход, применяемый в теории массового обслуживания, а именно, воспользоваться моделью процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем – марковской цепью.

Пусть некоторое оборудование имеет 2 состояния – $A(t)=\{W, F\}$: W – work – работоспособное, F – failure – отказ. Граф состояний показан на рис.2.

Обозначим через $P(A(t)=W; A(t+\Delta t)=F)$ вероятность того, что в момент времени t оборудование работоспособно, а в момент $(t+\Delta t)$ отказало. Тогда средняя стоимость затрат при производстве электроэнергии

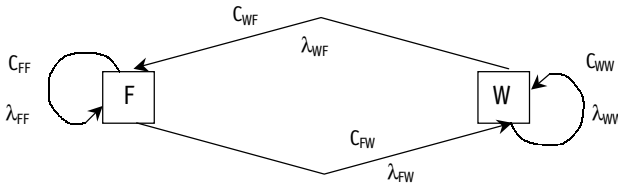


Рис. 2. Граф состояний

$$\begin{aligned}
 C(t+\Delta t) = & C(t) + C_{WW}P(A(t)=W; A(t+\Delta t)=W) + \\
 & + C_{FF}P(A(t)=F; A(t+\Delta t)=F) + \\
 & + C_{WF}P(A(t)=W; A(t+\Delta t)=F) + \\
 & + C_{FW}P(A(t)=F; A(t+\Delta t)=W),
 \end{aligned}$$

где $C_{FF} = C_F^* \cdot \Delta t$ – убыток, связанный с простоем в течение Δt ; $C_{WW} = C_W^* \cdot \Delta t$ – стоимость произведенной за время Δt электроэнергии; C_{WF} – стоимость замененного оборудования или его части; C_{FW} – стоимость восстановительных работ.

Кроме того, $C_W = -C_F = C_E \cdot N \cdot \Delta t$, где N – мощность блока, C_E – ежегодный тариф на электроэнергию.

Путем несложных преобразований получим

$$\begin{aligned}
 \frac{C(t+\Delta t) - C(t)}{\Delta t} = & -C_W^* \cdot P(A(t)=W) \cdot (1 - \lambda_{WF} \cdot \Delta t) + C_F^* \cdot P(A(t)=F) (1 - \lambda_{FW} \cdot \Delta t) + \\
 & + C_{WF} \cdot \lambda_{WF} \cdot P(A(t)=W) + C_{FW} \cdot \lambda_{FW} \cdot P(A(t)=F).
 \end{aligned}$$

Пусть $P(A(t)=F) = P(F, t)$, тогда при $\Delta t \rightarrow 0$

$$\begin{cases} C'(t) = -C_W^* P(W, t) + C_F^* P(F, t) + C_{WF} \lambda_{WF} P(W, t) + C_{FW} \lambda_{FW} P(F, t), \text{ причем } P(F, t) + P(W, t) = 1, \\ C(0) = K, \end{cases} \quad (1)$$

где K – начальные капиталовложения.

Решением будет

$$C(t) = K + (C_F^* - C_W^* \cdot \lambda_{WF} + C_{FW} \cdot \lambda_{FW}) \cdot \int_0^t P(F, t) dt + (C_{WF} \cdot \lambda_{WF} - C_F^*) \cdot t. \quad (2)$$

K, E и W_{NP} – величины аддитивные. Проводя оценки с периодом τ , получим, что $K(0) = 0$,

$$K(\tau) = \sum_{i=0}^{\tau/\Delta t} C_{WF} \cdot \Delta t - \text{капитальные затраты к началу следующего периода и т.д.}$$

$$K(j\tau) = K((j-1)\tau) + \sum_{i=0}^{\tau/\Delta t} C_{WF} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где C_{WFi} – стоимость замененного оборудования или его части на i -ом интервале времени.

Таким образом, найдены средние затраты за время t , связанные с ненадежностью оборудования АЭС.

ЗАДАЧА ОЦЕНКИ МОМЕНТА ВРЕМЕНИ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для того, чтобы оптимизировать продолжительность эксплуатации, необходимо учитывать капитальную и эксплуатационную составляющие затрат. Тогда общие затраты, приведенные к году, будут зависеть от того, в каком году от начала эксплуатации рассматриваются затраты. Поскольку производство электроэнергии должно быть рентабельным, то критерием прекращения эксплуатации должен стать момент выхода показателя затрат, включающего в себя стоимость произведенной электроэнергии, за нулевой уровень

$$Z(T_0) > 0.$$

Поскольку входящие в выражение для критерия затрат параметры не являются детерминированными величинами, то и момент прекращения эксплуатации – время T_0 – будет в общем случае интервальной величиной. Надо отметить, что задача оценки это-

го интервала зависит от качества информации о параметрах. Если параметры – интервальные величины, то можно оценить интервал для значений критерия. В этом случае T_0 определяется как $\min T$ на всех значениях интервала. Если параметры – случайные величины, то можно найти доверительный интервал для T_0 , задавшись определенной доверительной вероятностью. В случае неполной информации параметры могут быть описаны с помощью нечетких переменных, тогда T_0 – также нечеткая переменная и можно оценить ее функцию принадлежности некоторому интервалу.

ВЫВОДЫ

- Разработан критерий принятия решения о продлении срока службы энергоблока АС.
- Построена математическая модель затрат, связанных с ненадежностью оборудования АС.
- Поставлена задача оценки момента времени прекращения эксплуатации АС.

Литература

1. Калашников В.М., Корниец Т.П. Экономические проблемы прекращения эксплуатации ядерных энергетических блоков//Известия вузов. Ядерная энергетика. - 1995. - № 3. - С.13-19.
2. Калашников В.М., Тябин В.Н. Техничко-экономические вопросы прекращения эксплуатации АЭС//Известия вузов. Ядерная энергетика. -1995. - №2. - С.12-19.
3. Воронин Л.М., Бакиров М.Б., Бараненко В.И., Янченко Ю.А., Нигматулин Б.И., Немытов С.А. Техничко-экономические аспекты вывода энергоблоков атомных станций из эксплуатации// Атомная техника за рубежом. - 1999. - №5. - С.3-7.
4. Тутнов И.А. Управление процессами старения АЭС//Атомная техника за рубежом. - 2000. - №4. - С.10-15.
5. Елагин Ю.П. Управление сроком службы АЭС//Атомная техника за рубежом. - 2001. - №3. - С.3-10.
6. Common base on safety assessment of NPP built according to earlier taken norms. INSAG 8. – Vienna: IAEA, 1996.
7. Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. Основы расчета. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

Поступила в редакцию 31.05.2001

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 519.714.1:621.039.58

Non-asymptotic Model for System Reliability with Built-in Control \A.V. Antonov, A.V. Dagayev, V.A. Chepurko; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 2001. - 7 pages, 5 illustrations, 1 table.- References, 6 titles.

The paper considers method of calculation for system reliability with a build-in control of trouble-free operation subjected to recovery after failure. The model is developed permitting to calculate non-asymptotic and asymptotic availability coefficient. The comparison of reliability indexes is performed, and the literature is briefly summarized for given subject.

УДК 519.217:621.039.58

The Development of Optimization Criterion for NPP Unit Life Time \O.M. Gulina, A.A. Zgiganshin, V.A. Chepurko; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 2001. - 5 pages, 2 illustrations.- References, 7 titles.

There is developed the optimization criterion for NPP unit lifetime depending on both safety demands and economical cost. The new results for the operation cost due to equipment unreliability are obtained by using of Markovian model. To make decision about life time extension the method of zero level crossing is suggested for different kinds of information about criterion parameters.

УДК 621.039+621.039.586

Application of Neural Network for Main Circulation Pumps Diagnostic \S.T. Leskin, V.V. Valuy, D.G. Zarugin Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 2001. - 7 pages, 4 illustrations, 1 table.- References, 8 titles.

The application of Neural Network for VVER 1000 Main Circulation Pumps Diagnostic is discussed. On The base of selected Model and principles of education the Neural Network is developed. The results of application of the Neural Network, previously educated on the fifth block NV NPP and the first block Kalinin NPP data, are presented. The sensitivity analyze of the Neural Network for the entering data was carried out to outline the most influencing on the education process of MCP anomalies conditions recognizing.

УДК 621.039.526

«Cold» Nuclear Reactor with Direct Nuclear - Electric Energy Conversion Based on Secondary Electrons within the Frame of Nuclear Material Non – Proliferation \V.B. Anufrienko, G.N. Kazantsev, V.P. Kovalev, A.G. Matkov, G.M. Pshakin, M.Ya. Khmelevsky; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 2001. - 8 pages, 4 illustrations, 2 table.- References, 8 titles.

One of the problems in developing nuclear power at the current stage consists in non - proliferation of nuclear materials (NM) and technologies which can be used for constructing explosive devices.

So the attempt to make the equipment and power units requirements more stringent is justified. These requirements could provide a higher level of resistance to proliferation and unauthorized use of NMs at all the stages of nuclear fuel cycle. In this respect additional possibilities are revealed when developing new ways of direct conversion of nuclear power into the electric one.

This paper considers the concept of a nuclear reactor with direct (avoiding a thermal stage) conversion of nuclear energy into electric energy by means of accumulation of secondary electrons (SE) generated in the substance by fission fragments. The conversion technique is based on the use of electrogenerating elements (EGEs) which simultaneously are reactor fuel cores in the form