

Ю. Л. Коврижкін¹, В. І. Скалозубов²,
І. М. Фольтов¹

¹ ГП НАЭК «Энергоатом»

² Институт проблем безопасности НАНУ

Критерии оптимизации периодичности испытаний на мощности систем, важных для безопасности АЭС с ВВЭР

Обсуждаются вопросы совершенствования подходов оптимизации периодичности испытаний на мощности реактора систем, важных для безопасности АЭС.

Ю. Л. Коврижкін, В. І. Скалозубов, І. М. Фольтов

Критерії оптимізації періодичності випробувань на потужності систем, важливих для безпеки АЕС із ВВЕР

Обговорюються питання вдосконалювання підходів оптимізації періодичності випробувань на потужності реактора систем, важливих для безпеки АЕС.

Целесообразность оптимизации периодичности испытаний при работе реактора на мощности систем, важных для безопасности (СВБ), определяется тем, что проектная периодичность регламентирована без достаточного обоснования, учитывающего фактические показатели надежности и опыт эксплуатации. Особую актуальность пересмотра регламентов испытаний СВБ при работе реактора на мощности определяют перспективные переходы АЭС Украины на полугодовую топливную кампанию и продление сроков эксплуатации энергоблоков в сверхназначенный проектами период.

В настоящее время практически закончены отраслевые разработки технологического регламента безопасной эксплуатации и регламента проверок, испытаний СВБ серийных энергоблоков с ВВЭР-1000, в которые в недостаточном объеме включены результаты оптимизации периодичности испытаний СВБ. В связи с этим необходимо совершенствование методического обеспечения оптимизации периодичности испытаний СВБ при работе реактора на мощности.

Основные положения

В рамках риск-ориентированного подхода основным критерием оптимизации планирования испытаний и технического обслуживания СВБ при работе реактора на мощности являются минимальные оценки интегрального коэффициента неготовности выполнения назначенных проектом функций [1, 2]:

$$K_{НГ} = \int_0^T P(\Omega, \lambda, \xi, f) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T — межремонтный период энергоблока; P — вероятность отказа системы; Ω — конфигурация и состав системы; λ — приведенные показатели надежности, определяемые естественными процессами старения и накопления скрытых отказов; ξ — приведенные показатели надежности, определяемые качеством технического обслуживания и процессами износа при непосредственных испытаниях; f — периодичность испытаний при работе реактора на мощности.

Оптимальная периодичность испытаний f_0 при известных конфигурациях систем и данных по надежности из опыта эксплуатации соответствует минимальным оценкам $K_{НГ}$. Интерпретация оптимизации f вполне очевидна: с одной стороны, для выявления возможных скрытых отказов (дефектов) необходимо чаще проводить испытания (особенно для систем безопасности, эксплуатируемых в режиме ожидания); с другой стороны, слишком частые испытания приводят к износу оборудования, возрастанию влияния качества работ при испытаниях и обслуживании, общему снижению надежности систем вследствие снижения резервности работоспособных каналов. Указанные факторы и определяют оптимальную периодичность испытаний f_0 , соответствующую $\min K_{НГ}$.

Полученные с применением критерия (1) результаты оптимизации периодичности испытаний при работе реактора на мощности (см., например, [1]) показали существенную неопределенность оценок f_0 (рис. 1). Основной причиной такой неопределенности является затруднительность однозначных оценок показателей надежности (λ, ξ), определяемых разными факторами и причинами.



Рис. 1. Оптимизация периодичности испытаний при работе реактора на мощности

Такое положение диктует необходимость введения дополнительных критериев оптимизации. В качестве таких критериев могут быть использованы:

- критерий непревышения проектного коэффициента неготовности $K_{НГ}^{ПП}$;
- критерий допустимого изменения показателей безопасности энергоблока.

Смысл критерия непревышения проектного коэффициента неготовности $K_{НГ}^{ПП}$ заключается в следующем. Проект ВВЭР допускает и регламентирует периодические испытания СВБ при работе реактора на мощности (обычно для каждого канала через 720 ч), а также вывод (в случае отказа) одного канала в неработоспособное состояние для проведения ремонта и последующих испытаний (обычно на 72 ч). Таким образом, периодические испытания и вынужденные ремонты СВБ при работе реактора на мощности и определяют проектный коэффициент неготовности:

$$K_{НГ}^{ПП} = \int_0^T P(\Omega, \lambda, \xi, f_p, \tau_d) dt, \quad (2)$$

где f_p — регламентная периодичность испытаний; τ_d — допустимое время вывода канала в неработоспособное состояние.

Условие допустимого изменения периодичности испытаний f_d (при успешном предыдущем испытании):

$$K_{НГ}(f_d) \leq K_{НГ}^{ПП}(f_p, \tau_d). \quad (3)$$

В случае высоконадежных СВБ ($\lambda t \ll 1$) и консервативного пренебрежения влиянием качества обслуживания условие (3) имеет приближенный вид:

$$\frac{\lambda}{2f_d^2} \leq \frac{\lambda}{2f_p^2} + \tau_d. \quad (4)$$

Тогда допустимая периодичность испытаний

$$f_d \approx \sqrt{f_p^2 + \frac{\lambda}{2\tau_d}}. \quad (5)$$

Из формулы (5), в частности, следует, что увеличение надежности системы (уменьшение λ) приводит к увеличению допустимого интервала времени между испытаниями (снижению f_d).

Дополнительными условиями применимости критерия непревышения $K_{НГ}^{ПП}$ является отсутствие в межремонтный период энергоблока неуспешных испытаний и принадлежность оценок f_d области неопределенных значений f_0 (рис. 1):

$$f_d \in \{f_0\}. \quad (6)$$

Критерий допустимого изменения показателей безопасности энергоблока P_B основан на том, что вероятностные показатели безопасности (суммарная частота повреждения активной зоны — ЧПАЗ, частота сверхнормативных выбросов — ЧСНВ и др.) в общем случае зависят в том числе и от периодичности испытаний СВБ при работе реактора на мощности. Тогда дополнительный критерий оптимальной периодичности испытаний СВБ при работе реактора на мощности опишется следующим выражением:

$$P_B(f_d) - P_B(f_p) \leq \Delta P_B, \quad (7)$$

где ΔP_B — допустимое изменение оценок показателя безопасности. В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ — NRC, в частности, $\Delta \text{ЧПАЗ} \ll 10^{-6}$ (1/реактор · год).

Выводы

Для оптимизации периодичности испытаний СВБ при работе реактора на мощности предложено использование трех основных критериев, определяющих область оптимальных и допустимых значений. Максимально допустимая периодичность испытаний оценивается по критерию непревышением проектной неготовности, а окончательная оценка устанавливается по критериям области оптимальных значений и допустимого изменения показателей безопасности энергоблока.

Литература

1. Коврижкин Ю. Л., Комаров Ю. А., Пышный В. М., Скалозубов В. И., Фольтов И. М. Оптимизация планирования ремонтов и испытаний систем безопасности АЭС на основе риск-ориентированных подходов. — Одесса: ТЭС, 2006. — 383 с.
2. Скалозубов В. И., Коврижкин Ю. Л., Кольханов В. Н., Кочнева В. Ю., Урбанский В. В. Оптимизация плановых ремонтов энергоблоков АЭС с ВВЭР. — Чернобыль: ИПБАС НАНУ, 2008. — 350 с.