

## МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ПЕРЕХОДА НА РЕМОНТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Ю. Л. Коврижкин

ГП НАЭК «Энергоатом», Киев

Рассмотрены методы обоснования концепции перехода на ремонт по техническому состоянию оборудования АЭС.

### Актуальность

Одним из эффективных направлений оптимизации плановых ремонтов является реализация концепции по переходу с регламентной стратегии ТОиР по наработке (Preventive Maintenance) на ремонт по техническому состоянию (РТС), которая означает проведение технического обслуживания и ремонта (ТОиР) с периодичностью и в объемах, определяемых техническим состоянием (ТС). На основе анализа известных подходов на промышленных объектах (в том числе АЭС) можно сформулировать общие положения и принципы концепции перехода на РТС оборудования и систем АЭС. *Концепция перехода на РТС* является одним из направлений оптимизации плановых ремонтов, основной целью которой является минимизация периодичности, продолжительности и объемов планового ТОиР при обеспечении необходимого уровня безопасности, что определяет и основные принципы концепции РТС: принцип технико-экономической целесообразности; принцип обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности.

### Основные положения

*Основопологающими составляющими* концепции перехода на РТС являются: оценка, контроль и прогноз изменения ТС; оценка влияния оборудования/системы на показатели надежной эксплуатации и/или безопасности энергоблока. На основе этих основных оценок обосновывается возможность организационно-технических мероприятий по сокращению периодичности и/или объемов планового ремонта и испытаний. Переход на РТС оборудования/систем АЭС должен осуществляться на основе технических обоснований и эксплуатационных мероприятий, определяющих: ТС оборудования/систем и отдельных его элементов на текущий момент; запас (остаточный ресурс) до критического состояния, требующего ТОиР, на основе результатов контроля и прогнозных оценок изменения текущего состояния; влияние оборудования/систем на безопасность (для систем, важных для безопасности) или надежность работы энергоблока (для систем, не влияющих на безопасность). Общие требования к *оценке ТС* определяют следующий перечень необходимых мероприятий: определение перечней определяющих параметров ТС и критериев их оценки; определение текущих значений определяющих параметров ТС; оценки соответствия определяющих параметров установленным критериям.

Определяющими параметрами ТС являются технические и конструкционные характеристики, а также показатели надежности (ПН), определяющие работоспособность и надежность выполнения назначенных проектом функций. Перечень определяющих параметров и соответствующих критериев (допустимых значений) оценки работоспособного и надежного состояния устанавливается проектно-конструкторской, заводской и нормативной документацией, а также могут уточняться по результатам анализа опыта эксплуатации. Установление критериев оценки ТС оборудования предполагает определение номенклатуры и критических значений определяющих параметров ТС, соответствующих работоспособности и надежности оборудования. В зависимости от конструктивных особенностей элемента энергоблока, условий и режимов его применения в качестве критериев оценки ТС принимаются: показатели критериев прочности металла (коэффициенты/показатели запаса прочностных характеристик

при статических и динамических нагрузках в различных режимах эксплуатации); конструкционные показатели; значения технологических и/или диагностических показателей (вибрация, температура, давление, расход и др.); статические ПН (наработка на отказ, гамма-процентный остаточный ресурс и др.). Критические значения определяющих параметров (критерии оценки ТС) устанавливаются в соответствии с проектно-техническими требованиями и нормами безопасной эксплуатации.

*Оценка запаса* (остаточного ресурса) до критического состояния, требующего проведения ТОиР, осуществляется на основе: непрерывного контроля и диагностики определяющих параметров ТС; прогнозных расчетно-экспериментальных обоснований. Оценка остаточного ресурса (ОР) в общем случае включает: установление видов, параметров и критериев предельных состояний; обоснование модели и скорости влияния доминантных механизмов деградации/старения; оценку ОР.

При определенных механизмах старения межремонтный период РТС  $\Delta t$  может быть также определен из решения

$$|Y_j - Y_{j0}| = \int_0^{\Delta t_j} \sum_{i=1}^{K_j} W_{Y_{ji}}(t) dt, \quad (1)$$

$$\Delta t = \min \{ \Delta t_j \}, \quad (2)$$

где  $Y_j$  – текущие значения определяющих параметров ТС ( $j = 1, 2, \dots$ );  $Y_{j0}$  – соответствующие предельно допустимые значения определяющих параметров (критерии оценки ТС);  $W_{Y_{ji}}$  – прогнозные оценки скорости изменения значений определяющих параметров под влиянием  $i$ -х ( $i = 1, \dots, K_j$ ) механизмов деградации/старения по результатам анализа опыта эксплуатации при оценке ТС.

В общем случае определение прогнозных оценок временной зависимости скорости изменения определяющих параметров под влиянием различных механизмов деградации / старения затруднительно. С учетом принципа консервативности целесообразно принятие условия

$$W_{Y_{ji}} = \max W_{Y_j}, \quad (3)$$

где  $W_{Y_j}$  – максимальное значение скорости изменения определяющего параметра  $Y_j$  по опыту эксплуатации.

В случае выявления по результатам оценки ТС доминантного  $g$ -го механизма деградации/старения с максимальной скоростью изменения  $W_g$  определяющего параметра  $Y$ , временную оценку ОР можно получить из выражения

$$\Delta t = \frac{|Y - Y_0|}{W_g}. \quad (4)$$

Так, если доминантным механизмом деградации/старения металла и сварных соединений являются циклические нагрузки, то

$$\Delta t = \min \left\{ \frac{N_0 - [N_l]_l}{\max W_{Nl}} \right\}, \quad (5)$$

где  $N_l$  – число циклических нагрузок на текущий момент, вызванных переходными и аварийными режимами реакторной установки, в том числе сопровождаемых вибрацией ( $l = 1$  – режимы с нормальными условиями эксплуатации (НУЭ);  $l = 2$  – режимы с нарушением нормальных условий эксплуатации (ННУЭ);  $l = 3$  – аварийные режимы;  $l = 4$  – режимы с вибрацией в стационарных условиях реакторной установки);  $[N_0]_l$  – соответствующие допустимые количества циклических нагрузок, определяемые нормативными и проектными требованиями;  $W_{Nl}$  – максимальная скорость изменения количества  $l$ -х видов нагружения по опыту эксплуатации.

Расчет циклической прочности за период эксплуатации и продление службы для оценки межремонтного периода РТС (ОР) необходимо выполнять с учетом: изменения механических свойств; изменения конструкционного параметра вследствие эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ); влияния среды на зарождение и развитие трещиноподобных дефектов; максимальных отклонений геометрических размеров свариваемых элементов от номинальных; влияния концентраторов напряжений сварных соединений; влияния вибрационных нагрузок.

При доминантном механизме деградации / старения, вызванном эрозионным износом

$$\Delta t = \frac{|\delta - \delta_0|}{\max W_\delta}, \quad (6)$$

где  $\delta$ ,  $\delta_0$  – текущая и допустимая толщина соответственно;  $\max W_\delta$  – максимальная скорость эрозионного износа по опыту эксплуатации.

Концепции перехода на РТС и управления старением взаимосвязаны и поэтому должны реализовываться совместно, дополнять и корректировать друг друга по следующим основным причинам:

1. Обе концепции имеют общие мероприятия по оценкам ТС, определяющих параметров и критериев работоспособности/надежности, ОР, доминирующих механизмов деградации/износа, эксплуатационному контролю и др.

2. Концепция перехода на РТС направлена в основном на обоснование возможности сокращения плановых ремонтов и испытаний, а концепция управления старением предполагает необходимость проведения с достаточной периодичностью плановых ремонтов и испытаний, что определяет необходимость их согласования и оптимизации.

Одним из направлений реализации концепции управления старением является оптимизация планирования ремонтов (в том числе на основе перехода на РТС). Такое положение объясняется тем, что проведение мероприятий по плановым ремонтам, ТО и испытаниям в определенных случаях может иметь отрицательный эффект, вызванный недостаточным качеством проведения работ и дополнительным износом оборудования.

На основе сформированных основных положений и опыта внедрения методов обоснований РТС можно предложить обобщенный метод обоснования мероприятий и технических решений концепции по переходу на РТС. В рамках этого метода подразумевается согласование технических мероприятий/решений, направленных на реализацию программ управления старением (ПУС) (в том числе сохранение или увеличение проектной периодичности и объемов плановых ремонтов и испытаний), а также направленных на реализацию концепции перехода на РТС (в том числе сокращение в отступление от проектно-конструкторских требований периодичности и объемов плановых ремонтов).

Основными являются общие показатели по оценке и прогнозу ТС, оценке влияния системы/элементов системы на безопасность энергоблока, оценке влияния отказа системы/элемента системы на уровень мощности реактора. Оценка ТС осуществляется по соответствию определяющих параметров установленным критериям ТС ( $\bar{Y}$ ). При этом устанавливаются три уровня соответствия:

$(Y)_0 \subset (\bar{Y})$  – полное соответствие;

$(Y)_0 \not\subset (\bar{Y})$  – частичное несоответствие, устраняемое дополнительными мероприятиями по ТО, ремонту и управлению старением;

$(Y)_0 \not\subset (\bar{Y})$  – несоответствие определяющих параметров и критериев технического состояния.

В случае отсутствия непрерывного контроля ТС в необходимом объеме прогноз межремонтного периода осуществляется по уравнениям (1) и (2).

Оценка влияния системы/элементов системы на безопасность осуществляется на основе результатов ВАБ (вероятностного анализа безопасности) по показателям Фусселя–Весселя, Бирнбаума, повышения/снижения риска.

Для систем, важных для безопасности (СВБ), область принятия решений является трехпараметрической и приведена в общем виде на рис. 1, где  $\{(Y)_0; (\bar{Y})\}$  – параметр соответствия определяющих параметров критериям технического состояния; RAW – значимость повышения риска; FV – значимость по Фусселю–Весселю.

В плоскости показателей безопасности образуются характерные области:  $S^2$  – область незначительного влияния на безопасность; SH – область умеренного влияния на безопасность;  $H^2$  – область значительного влияния на безопасность.

Условия принятия концепции перехода на РТС и мероприятий по управлению старением для СВБ представлены в таблице. Для систем, не влияющих на безопасность, область принятия решений является двухпараметрической и приведена в общем виде на рис. 2. Заштрихованные области соответствуют условиям возможности принятия концепций РТС и ПУС.

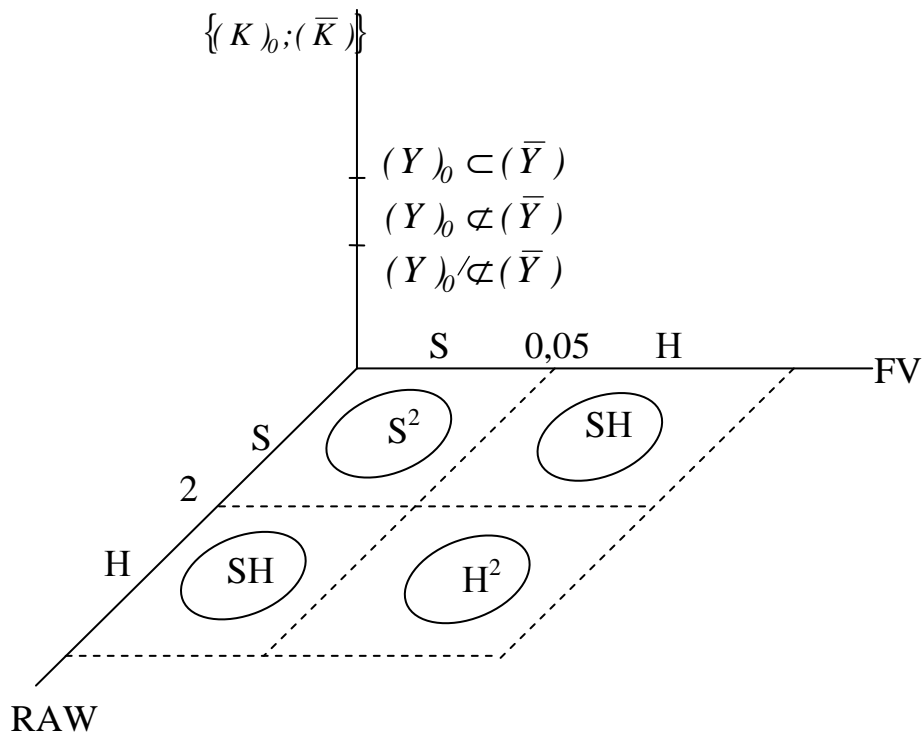


Рис. 1

$(Y)_0 < (\bar{Y})$	РТС	РТС
$(Y)_0 <= (\bar{Y})$	РТС и ПУС	
$(Y)_0 > (\bar{Y})$		
	1	П <sub>3</sub>

Рис. 2

## Условия принятий концепций по РТС и ПУС для СВБ

Области принятия решения	РТС допустим	РТС допустим с ПУС	РТС недопустим
$(Y)_0 \not\subset (\bar{Y}), S^2$	–	–	•
$(Y)_0 \not\subset (\bar{Y}), SH$	–	–	•
$(Y)_0 \not\subset (\bar{Y}), H^2$	–	–	•
$(Y)_0 \subset (\bar{Y}), S^2$	–	•	
$(Y)_0 \subset (\bar{Y}), SH$	–	•	
$(Y)_0 \subset (\bar{Y}), H^2$	–		•
$(Y)_0 \subset (\bar{Y}), S^2$	•		
$(Y)_0 \subset (\bar{Y}), SH$	•		
$(Y)_0 \subset (\bar{Y}), H^2$	•		

## Выводы

Впервые разработан обобщенный метод обоснования перехода на ремонт по техническому состоянию, который основан на комплексных оценках соответствия определяющих параметров проектно-конструкторским требованиям и влияния оборудования/систем на безопасность энергоблока (в рамках риск-ориентированного подхода).

Внедрение концепции и методов обоснования перехода на ремонт по техническому состоянию позволит существенно повысить эффективность производства АЭС Украины в результате сокращения продолжительности ремонтных кампаний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Риск-ориентированные* подходы оптимизации технического обслуживания и эксплуатационного контроля СВБ АЭС / Д. В. Билей, С. В. Васильченко, Н. И. Власенко, Ю. Л. Коврижкин, В. Н. Колыханов, Ю. А. Комаров, Н. А. Фридман; Под ред. В. И. Скалозубова. - Одесса: ТЭС, 2004. - 531 с.
2. *Оптимизация* планирования ремонтов и испытаний систем безопасности АЭС на основе риск-ориентированных подходов / Ю. Л. Коврижкин, Ю. А. Комаров, В. М. Пышный, В. И. Скалозубов, И. М. Фольтов; Под ред. В. И. Скалозубова. – Одесса: ТЭС, 2006. – 383 с.
3. *Оптимизация* планирования ремонтов АЭС с ВВЭР / Ю. Л. Коврижкин, В. Н. Колыханов, В. Ю. Кочнева, В. И. Скалозубов; Под ред. В. И. Скалозубова. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2008. – 518 с.

Поступила в редакцию 06.02.09