

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЦЕНИВАНИЯ РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

*К.Н. Маловик*

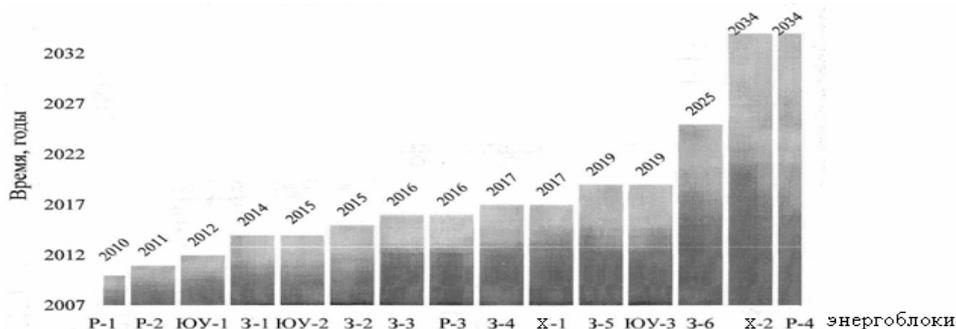
*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности,  
Севастополь, Украина*

*E-mail: konstmalovik@mail.ru; тел./факс +38(0692)71-01-80*

Рассмотрены вопросы стандартизации ресурсоспособности оборудования АЭС. Предложены подходы совершенствования технологий ресурсного проектирования и модели процессов прогнозирования ресурсоспособности оборудования объектов критического применения.

АЭС, а также другие экологические, энергетические и транспортные комплексы являются объектами критического применения (ОКП) в том смысле, что взаимосвязанная последовательность повреждений на этапе их эксплуатации может в большинстве случаев привести к авариям, носящим характер катастроф [1]. К сожалению, анализ Чернобыльской аварии (Украина) [2], критических событий на Фукусиме (Япония), аварии на Саяно-Шушенской ГЭС (Россия) показывает, что они имеют системные причины, которые в обобщенном виде можно формулировать как недостаточное качество культуры безопасности ОКП, основным определяющим фактором которой является их надежность. Одной из важных комплексных технических характеристик надежности является ресурсоспособность (РС) [3], показатели которой должны иметь высокое качество оценивания и прогнозирования.

Важность проблемы оценки реального уровня РС оборудования АЭС, подверженных при эксплуатации воздействию процессов старения, усталости, излома и деформации, характеризуется большим числом энергоблоков, имеющих выработку ресурса, близкую к установленной проектом. Например, по данным МАГАТЭ [4], многие энергоблоки АЭС приближаются к окончанию проектного срока службы: возраст 213 (49 %) из 438 реакторов от 20 до 30 лет, 115 (26 %) – от 30 до 40 лет. Сроки окончания регламентированного периода эксплуатации действующих энергоблоков Украины приведены на рис. 1; они характеризуют актуальность проблемы оценивания РС оборудования АЭС, а также ее напряженность с точки зрения как сроков исполнения, так и качества оценивания и прогнозирования выбранных показателей РС.



*Рис. 1. Сроки окончания регламентированного периода эксплуатации действующих энергоблоков АЭС Украины*

Современное состояние технологии ресурсного проектирования и систем обеспечения ресурсных задач характеризуется отсутствием [3, 4]:

- единой теоретической основы и организационной формы;
- общепринятой единой методологии и научного обеспечения;
- достаточной эффективности эксплуатационного контроля, что не обеспечивает гарантированного ресурса, в полной мере назначенного ресурса эксплуатации и безотказной работы элементов на протяжении всего назначенного срока службы оборудования АЭС.

Проблемы оценивания РС оборудования АЭС формулируются следующим образом [1, 4]:

- непредсказуемость фактического ресурса эксплуатации конкретного оборудования АЭС;
- не разработана теория оценивания и прогнозирования РС оборудования АЭС при неопределенности исходных данных;
- не разработаны модели оценки влияния показателей РС на степень риска критических ситуаций оборудования АЭС;
- не решена задача индивидуального прогнозирования РС оборудования АЭС.

Для исследования РС оборудования АЭС и в общем ОКП целесообразно динамику интенсивности отказов интерпретировать с помощью семейства кривых (рис. 2), где заданы следующие характеристики [4]:  $t_H$  – назначенный

ресурс;  $P_\gamma$  – заданная вероятность обеспечения  $\gamma$ -процентного ресурса  $t_\gamma$ ;  $f(t)$  – плотность вероятности случайной величины наработки СО;  $\lambda_H^H$  и  $\lambda_H^B$  – нижнее и верхнее значения интенсивности отказов при заданном  $t_H$ ;  $\lambda_\gamma^H$  и  $\lambda_\gamma^B$  – нижнее и верхнее значения интенсивности отказов при заданном  $t_\gamma$ ;  $T_{\gamma\Pi}^H$  и  $T_{\Pi\Pi}^H$  – нижние

прогнозируемые значения времени, соответствующие  $\lambda_\gamma^H$  и  $\lambda_\gamma^B$  при пессимистическом поведении  $\lambda(t)$ ;  $T_{\gamma O}^B$  и  $T_{\Pi O}^B$  – верхние прогнозируемые значения времени, соответствующие  $\lambda_\gamma^B$  и  $\lambda_{\Pi}^B$  при оптимистическом поведении  $\lambda(t)$ .

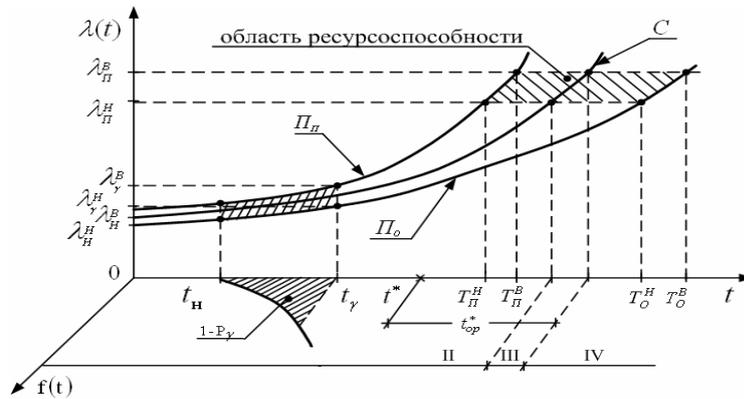


Рис. 2. Динамика временных характеристик  $\lambda(t)$  при прогнозировании РС ОКП

Это позволяет систематизировать свойства РС оборудования ОКП, унифицировать динамику состояний и нормировать показатели РС оборудования АЭС, т. е. выполнить комплекс работ

по стандартизации РС, которую можно характеризовать системой показателей, представленной в таблице [4].

Система показателей РС ОКП

Обозначения	Наименование	Примечание
1. $\lambda_H^H; \dots; \lambda_H^B$	Диапазон допустимых изменений $\lambda(t)$ , соответствующий назначенному ресурсу $t_H$	–
2. $\lambda_\gamma^H; \dots; \lambda_\gamma^B$	Диапазон допустимых изменений $\lambda(t)$ , соответствующий $\gamma$ -процентному ресурсу	На стадии проектирования СО необходимы пессимистическое и оптимистическое прогнозирование поведения $\lambda(t)$
3. $\lambda_{\Pi}^H; \dots; \lambda_{\Pi}^B$	Диапазон допустимых изменений $\lambda(t)$ , соответствующий предельному состоянию СО	Контрольный $\lambda_{\Pi}^H$ и предельный $\lambda_{\Pi}^B$ уровни устанавливаются на основе расчетов по вероятностному анализу безопасности энергоблоков АЭС
4. $t_{\gamma\Pi}^B; \dots; t_{\gamma O}^B$	Диапазон допустимых значений $\gamma$ -процентного ресурса, соответствующий интенсивности отказов $\lambda_\gamma^H$ при пессимистическом прогнозе и интенсивности отказов $\lambda_\gamma^B$ при оптимистическом прогнозе	–
5. $t_{op}^*$	Остаточный ресурс СО	Методика разрабатывается на стадии проектирования СО
6. $t_{\Pi\Pi}^H; \dots; t_{\Pi O}^B$	Диапазон допустимых значений предельной наработки, соответствующей интенсивности отказов при пессимистическом прогнозе $\lambda_{\Pi}^H$ и интенсивности отказов при оптимистическом прогнозе $\lambda_{\Pi}^B$	–

Известно [4], что недостаточное качество оценивания и прогнозирования показателей РС определяется следующими трудностями:

- идеализацией объекта прогнозирования, в котором должна быть обеспечена безотказность наиболее ответственных узлов и минимизирована вероятность отказов остальных узлов;

- вероятностным характером прогнозирования, определяющим неустранимый разброс показателей ресурсоспособности, обладающих большой чувствительностью к различным факторам;

- противоречивостью и поэтому сложностью согласования фактического прогнозируемого ресурса, т. е. случайной величины, с назначенным – величиной детерминированной;

- выявлением и определением наиболее влияющих воздействий (факторов) в процессе выработки ресурса, т. е. после окончания периода нормальной эксплуатации;

- сложностью установления критических (определяющих) отказов на этапе «физического старения», который характеризуется появлением предотказных состояний, а также деградиционных и ресурсных отказов;

- установлением соотношений между критериями отказов и критичностью исследуемых параметров;

- прогнозированием параметрической надежности ОКП;

- выявлением крайней границы области состояний, определяющей близость к отказу, т. е. к предельному состоянию РС ОКП;

- отсутствием нормирования показателей РС и ресурсных характеристик, а следовательно, обеспечения их требуемого уровня на этапе проектирования ОКП;

- отсутствием научно обоснованной методической базы по оцениванию рисков при РС и ресурсных характеристик ОКП;

- отсутствием теоретических и нормативно-технических основ повышения качества оценивания и прогнозирования показателей РС и ресурсных характеристик ОКП.

Поэтому одним из путей решения проблемы долговечности оборудования АЭС следует считать повышение качества обоснованных выводов о показателях РС с помощью специальной системы прогнозирования, при создании которой необходимо применение следующих принципов [4].

1. Организация непрерывного и всеобщего обучения, повышение уровня знаний и образования, внедрение практического опыта в области современных методов, технологий и средств по оцениванию и прогнозированию показателей РС для вовлечения всего персонала, особенно руководства ОКП, в целях совершенствования работ по обеспечению РС на всех этапах жизненного цикла ОКП.

2. Стандартизация показателей РС, методов оценивания и инструментальных средств для имитационного моделирования, технических средств для постановки экспериментов и

физического моделирования, технологий для исследования и индивидуального прогнозирования – основа повышения качества системы прогнозирования показателей РС ОКП.

3. Постоянный высококачественный анализ информации обо всех несоответствиях техническим требованиям, начиная с этапов разработки и проектирования ОКП, и выявление потенциальных, латентных состояний, определяющих время развития предотказных процессов.

4. Отбор, выбор и формирование групп высококвалифицированных экспертов для повышения достоверности и качества оценивания и индивидуального прогнозирования показателей РС и ресурсных характеристик ОКП.

5. Обязательное оценивание рисков для повышения качества контроля показателей РС и ресурсных характеристик на всех этапах жизненного цикла ОКП.

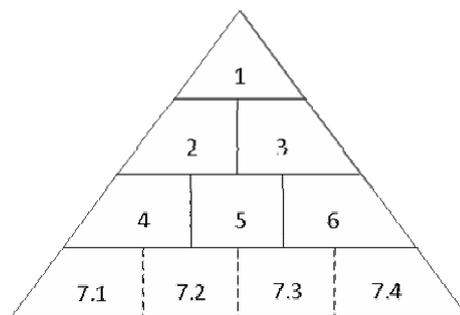


Рис. 3. Модель технологического треугольника обеспечения качества контроля показателей ресурсоспособности и ресурсных характеристик ОКП: 7.1 – выбор точек контроля; 7.2 – оценивание и прогнозирование; 7.3 – установление и распределение допусков; 7.4 – измерительный контроль

Тогда целесообразно применить методологию А. Фейгенбауна [5], что позволит разработать модель технологического треугольника (рис. 3), основными элементами которой можно считать [4]:

1. Контроль за разработкой ОКП, в процессе которой предусматривается обеспечение технических требований по высококачественному оцениванию и прогнозированию его показателей РС и ресурсных характеристик (РХ).

2. Технологические основы (технологии, способы, подходы, методические инструкции и т. д.) оценивания и прогнозирования РС ОКП.

3. Техника использования контрольно-измерительного и испытательного оборудования для получения исходных данных и разработки предложений по выявлению недостаточных запасов надежности, предрасположенности к неустойчивости работоспособного состояния и невыявлению предотказных состояний ОКП.

4. Исследование ОКП на этапе разработки в целях определения технических рекомендаций:

– по установлению допусков на размеры, форму, а также параметров (механических, электрических, термических и др.);

– проведению испытаний на надежность и долговечность, начиная с создания опытных образцов, при совершенствовании эффективных методов контроля;

– рациональному выбору показателей РС и РХ, а также установлению методов их оценивания и прогнозирования.

5. Имитационное, инфологическое и математическое моделирование ОКП в целях предсказания его будущего поведения в зависимости от влияния внутренних и внешних факторов на изменение показателей РС и РХ.

6. Анализ уровня статистической исходной информации при эксплуатации ОКП (прежде всего ее однородности) на базе экспертных знаний для определения перечня приоритетных для безопасности элементов, наиболее подверженных деградационным и ресурсным отказам.

7. Измерение и задание допусков контролируемых параметров, выбранных на этапе проектирования ОКП для оценивания и прогнозирования его показателей РС и РХ.

8. Применение рассмотренной модели технологического треугольника позволяет обосновать совершенствование технологии ресурсного проектирования оборудования ОКП (рис. 4) [4].

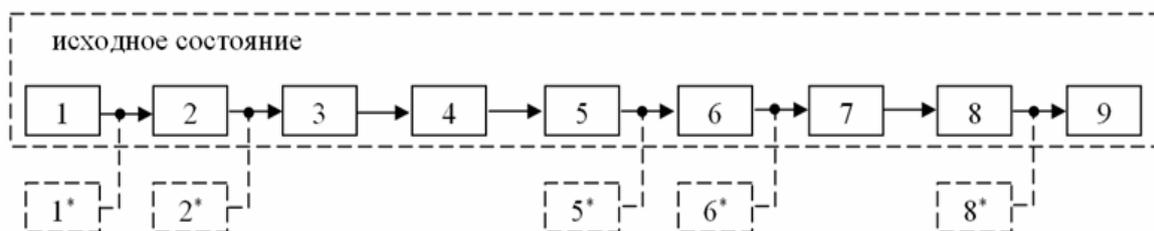


Рис. 4. Совершенствование технологии ресурсного проектирования

В результате предложенных подходов модель процесса прогнозирования РС оборудования ОКП, основанную на упорядоченной последовательности методов [4] (систематизации свойств РС; унификации динамики состояний РС; оценивания и прогнозирования времени предельного состояния оборудования ОКП; выбора аргументов для оценивания показателей РС; экспертного оценивания РС; оценки компетентности экспертов; оценивания риска при контроле РС в условиях нечетких суждений), можно представить в виде рис. 5 [4].

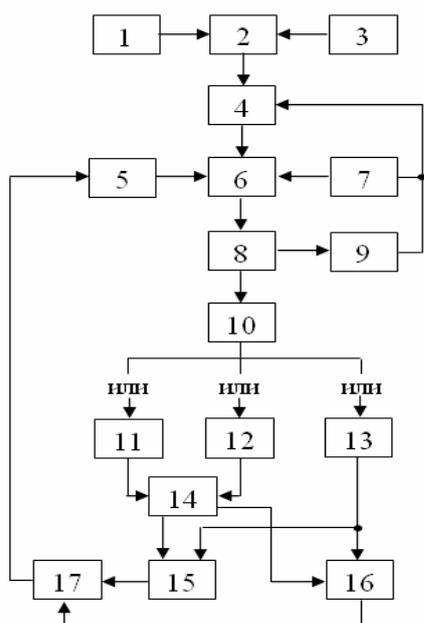


Рис. 5. Модель процесса прогнозирования

В заключение следует отметить, что проблемные вопросы развития научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования РС определяются необходимостью предупреждения возникновения критических ситуаций, а качество ресурсного оценивания ОКП обеспечивается систематизацией работ по созданию и постоянному совершенствованию методологии моделирования и прогнозирования показателей РС оборудования ОКП, предусматривающих внедрение компетентностного подхода для снижения рисков при контроле РС.

При этом основными направлениями работ в этой области следует считать:

1. Целесообразное обеспечение комплексного характера работ, начиная с применения модели «технологического треугольника» на этапе проектирования сложных объектов при обязательном создании нормативной базы по организации, накоплению и обработке статистической информации о ресурсных характеристиках сложных объектов в период их эксплуатации, развитию методов, технологий и инструментальных средств для применения современных систем прогнозирования показателей РС ОКП.

2. Выполнение комплекса работ по более полному учету факторов, влияющих на динамику состояний ресурсных характеристик сложных объектов с помощью совершенствования как их инфологического моделирования, так и экспертного оценивания, для всестороннего охвата времени «нормальной» эксплуатации и времени «физического старения» ОКП методами и методиками оценивания и прогнозирования их показателей РС.

3. Необходимая систематизация работ по созданию и постоянному совершенствованию методологии оценивания и прогнозирования РХ и показателей РС ОКП, предусматривающей внедрение компетентностного подхода для снижения рисков прогноза и повышения качества их оценивания.

4. Целесообразно дальнейшее развитие исследований по систематизации динамики предотказных и предельных состояний сложных объектов, а также типизации их параметрических, деградационных и ресурсных отказов с использованием модели «технологического треугольника».

Требование научной обоснованности принимаемых решений при оценивании и прогнозирования РХ и показателей РС ОКП предопределяет необходимость создания и совершенствования новых научных дисциплин, таких как экспертология, индивидуальное оценивание РС, моделирование предотказных и предельных состояний, оценивание рисков прогнозирования, техника и технологии индивидуального прогнозирования РХ и показателей РС ОКП.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К.Н. Маловик. Пути повышения качества оценивания ресурсных характеристик объектов критического применения // *Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи»*, 22-24 травня 2013 року: Тези доповідей / Відп. за вип. Стадник Б.І. Львів: «Видавництво Львівської політехніки, 2013, 264 с.

2. Г.А. Кончинский, Н.А. Штейнберг. *Безопасность атомных станций. Чернобыль. В прошлом, настоящем и будущем*. Киев: Основа-Принит, 2004, 222 с.

3. Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, К.Н. Маловик, С.Б. Смирнов. *Ресурс и надежность оборудования и трубопроводов АЭС: Учебное пособие*. Севастополь: СТУЯЭиП, 2012, 348 с.

4. К.Н. Маловик. *Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов: Монография*. Севастополь: СТУЯЭиП, 2013, 332 с.

5. А. Фейгенбаум. *Контроль качества продукции* / Сокр. пер. с англ. М.: «Экономика», 1986, 471 с.

*Статья поступила в редакцию 27.06.2013 г.*

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОЦІНЮВАННЯ РЕСУРСОСПРОМОЖНОСТІ УСТАТКУВАННЯ АЕС

*К.Н. Маловик*

Розглянуто питання стандартизації ресурсоспроможності обладнання АЕС. Запропоновано підходи вдосконалення технологій ресурсного проектування і моделі прогнозування процесів ресурсоспроможності обладнання об'єктів критичного застосування.

## IMPROVING THE QUALITY OF NPP EQUIPMENT RESOURCE CAPACITY EVALUATION

*K.N. Malovik*

Considered the issues of standardization resource capacity NPP equipment. Approaches perfection of technologies of resource design and model the processes of forecasting resource capacity equipment of objects for critical applications.