

¹ Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

² Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом», г. Киев, Украина

³ Ривненская АЭС, г. Кузнецовск, Украина

Управление старением и долгосрочная эксплуатация элементов и конструкций энергоблоков АЭС

С учетом накопленного в ядерной отрасли Украины опыта, а также рекомендаций МАГАТЭ, предложены методологические аспекты управления старением и долгосрочной эксплуатации элементов и конструкций АЭС. Показаны роль управления старением в переназначении срока службы и обоснования долгосрочной эксплуатации элементов и конструкций энергоблока АЭС. Изложенные материалы рекомендуется использовать при разработке нормативно-технических документов по управлению старением и долгосрочной эксплуатации энергоблоков АЭС.

Ключевые слова: элементы и конструкции, управление старением, долгосрочная эксплуатация, назначенный и переназначенный срок службы.

С. П. Костенко, В. В. Клочко, О. И. Казимирська

Управління старінням і довгострокова експлуатація елементів та конструкцій енергоблоків АЕС

З урахуванням накопиченого в ядерній галузі України досвіду й рекомендацій МАГАТЭ запропоновано методологічні аспекти управління старінням і довгострокової експлуатації елементів та конструкцій АЕС. Показано роль управління старінням у перепризначенні терміну служби й обґрунтуванні довгострокової експлуатації елементів та конструкцій енергоблока АЕС. Викладені матеріали рекомендується використовувати в розробці нормативно-технічних документів з управління старінням і довгострокової експлуатації енергоблоків АЕС.

Ключові слова: елементи, конструкції, управління старінням, довгострокова експлуатація, призначений та перепризначений термін служби.

Эффективное управление старением (УС) элементов и конструкций (ЭК) — один из ключевых элементов безопасной и надежной эксплуатации атомных электростанций [1], роль которого возрастает в процессе эксплуатации энергоблока АЭС сверх назначенного (проектного) срока службы или, как сейчас принято называть, долгосрочной эксплуатации (ДСЭ) [2]. При этом переназначенный срок службы — это срок службы, установленный по результатам периодической переоценки безопасности, а значит, в период ДСЭ срок службы объекта АЭС может переназначаться неоднократно.

Методология УС и ДСЭ на АЭС Украины [3] разрабатывалась в начале 2000-х годов и не охватывала всех вопросов, которые возникают у специалистов при выполнении работ, связанных с переходом к долгосрочной эксплуатации энергоблоков, а также не учитывала изложенные в публикациях МАГАТЭ [4–6] рекомендации по управлению старением и долгосрочной эксплуатации энергоблоков АЭС, накопленный отечественный и мировой опыт по переназначению срока службы энергоблоков.

Госатомрегулирования, как новый член Западно-европейской ассоциации органов, регулирующих ядерную безопасность (WENRA), взял на себя обязательства привести нормативную базу в соответствие с положениями документа [7].

Для выполнения взятых обязательств в рамках Соглашения между Госатомрегулированием и Шведским инспектором по радиационной безопасности от 2013 года разработаны новые требования к УС и ДСЭ энергоблоков АЭС.

УС представляет собой систему организационных, технических и эксплуатационных мероприятий, которые осуществляются с целью выявления эффектов старения, удержания в приемлемых границах деградаций ЭК и обеспечивают выполнение элементами и конструкциями назначенных функций в течение всего периода эксплуатации АЭС.

Различают физическое и моральное (нефизическое) старение [5]. *Физическое* старение ЭК приводит к ухудшению физических и функциональных параметров их технического состояния (ПТС), которые определяют способность ЭК выполнять свои функции; отклонение от допустимых значений ПТС означает, что элемент находится в неработоспособном состоянии. *Моральное* старение — это устаревание еще работоспособных ЭК в свете современных знаний, норм, правил, стандартов и технологий. Управление моральным старением является частью общего подхода к повышению безопасности атомных электростанций, поэтому в дальнейшем в статье не рассматривается.

УС при эксплуатации энергоблока в период назначенного (проектного) срока службы и при долгосрочной эксплуатации не имеет существенных отличий, но при обосновании ДСЭ должно быть продемонстрировано, что управление старением осуществляется эффективно, а системы, элементы и конструкции будут выполнять назначенные функции в течение переназначенного срока службы [8].

Отбор элементов и конструкций энергоблока для управления старением и обоснования долгосрочной эксплуатации. Для составления перечня ЭК, что подлежат УС и обоснованию ДСЭ, отбираются ЭК, важные для безопасности, т. е. 1, 2, 3-го классов безопасности (рис. 1). ЭК 4-го класса безопасности могут включаться в перечень УС и ДСЭ по решению эксплуатирующей организации. Замененные ЭК, в том числе по причине морального старения, в процессе эксплуатации подлежат только УС, остальные — УС и ДСЭ.

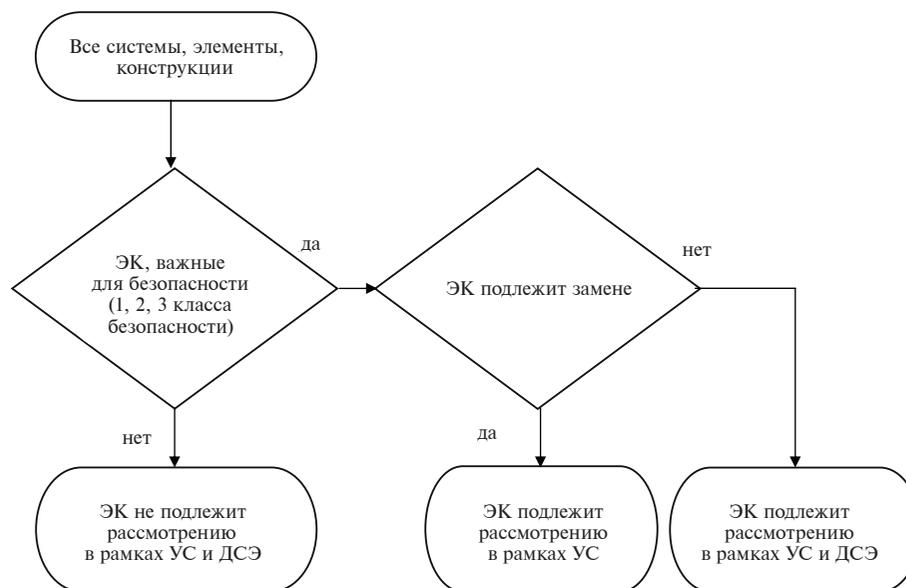


Рис. 1. Схема отбора элементов, конструкций для управления старением и долгосрочной эксплуатации

Управление старением. УС осуществляется по схеме: выявление эффекта старения — установление доминирующего механизма деградации — разработка и реализация мероприятий по контролю и смягчению деградации ЭК.

Для ЭК, подлежащих УС, необходимо продемонстрировать, что предусмотрены практические действия, направленные на своевременное выявление эффектов старения, установление определяющих механизмов деградации, контроль и смягчение деградации, что в итоге обеспечит выполнение системами, элементами и конструкциями (СЭК) предназначенных функций на этапе жизненного цикла «эксплуатация ядерной установки».

Процесс УС ЭК энергоблока реализуется выполнением действующих программ (повышения безопасности, испытаний и проверок, эксплуатационного контроля металла, диагностики, мониторинга, водно-химического режима и пр.), инструкций и других руководящих документов.

Для осуществления процесса УС ЭК:

разрабатывается программа управления старением (ПУС) энергоблока — документ, который содержит организационно-технические мероприятия по внедрению и эффективной реализации ПУС;

создается база данных для УС;

эксплуатирующей организацией разрабатываются требования к структуре и содержанию ПУС для отдельных ЭК и ПУС, а также отдельных механизмов деградаций (при необходимости).

База данных УС конкретного ЭК, как минимум, должна содержать следующую информацию:

название системы, к которой принадлежит ЭК;

материалы, из которых изготовлены ЭК;

характеристику окружающей среды;

выявленные эффекты старения и установленные механизмы деградаций;

перечень мероприятий по контролю и смягчению деградаций;

ссылку на программы, инструкции и другие документы, в рамках выполнения которых осуществляется УС;

ссылку на выполненный анализ старения.

Указанную информацию необходимо постоянно актуализировать.

Эффективность ПУС оценивается по следующим 9 показателям [5]:

1. Для всех ЭК, включенных в ПУС, эффекты старения выявляются, механизмы деградации устанавливаются.

2. Деятельность по УС направлена на контроль деградации, предупреждение развития или смягчение ее влияния.

3. ПТС элемента контролируются приемлемыми методами и методиками в необходимых объемах и с установленной периодичностью. Выявление эффектов старения предшествует достижению параметрами технического состояния значений, которые не отвечают критериям приемлемости.

4. Результаты текущего контроля ПТС сравниваются с результатами предыдущего контроля с целью определения темпов деградации, корректировки объемов и периодичности контроля.

5. Осуществляется деятельность по эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту, замене и др., которая позволяет смягчить деградацию после того, как эффект старения выявлен, механизм деградации установлен и при этом ПТС отвечают критериям приемлемости.

6. Критерии приемлемости, в соответствии с которыми выявляется необходимость корректирующих мер, обеспечивают выполнение ЭК возложенных функций на протяжении всего периода эксплуатации. Критерии приемлемости устанавливаются на основе действующих норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности или проектно-конструкторской документации.

7. Определяются и детально описываются (даются ссылки на первоисточники) действия, которые необходимо предпринять в случае невыполнения критерия приемлемости. Корректирующие меры, которые включают определение коренных причин и предотвращение повторного развития деградации, реализуются своевременно.

8. Организован процесс, направленный на своевременный учет изменений в действующих на АЭС программах, опыта эксплуатации, результатов исследований, разработок и предоставление объективных доказательств того, что они учитываются в ПУС.

9. Осуществляется административный контроль за документированием процесса УС и реализации ПУС,

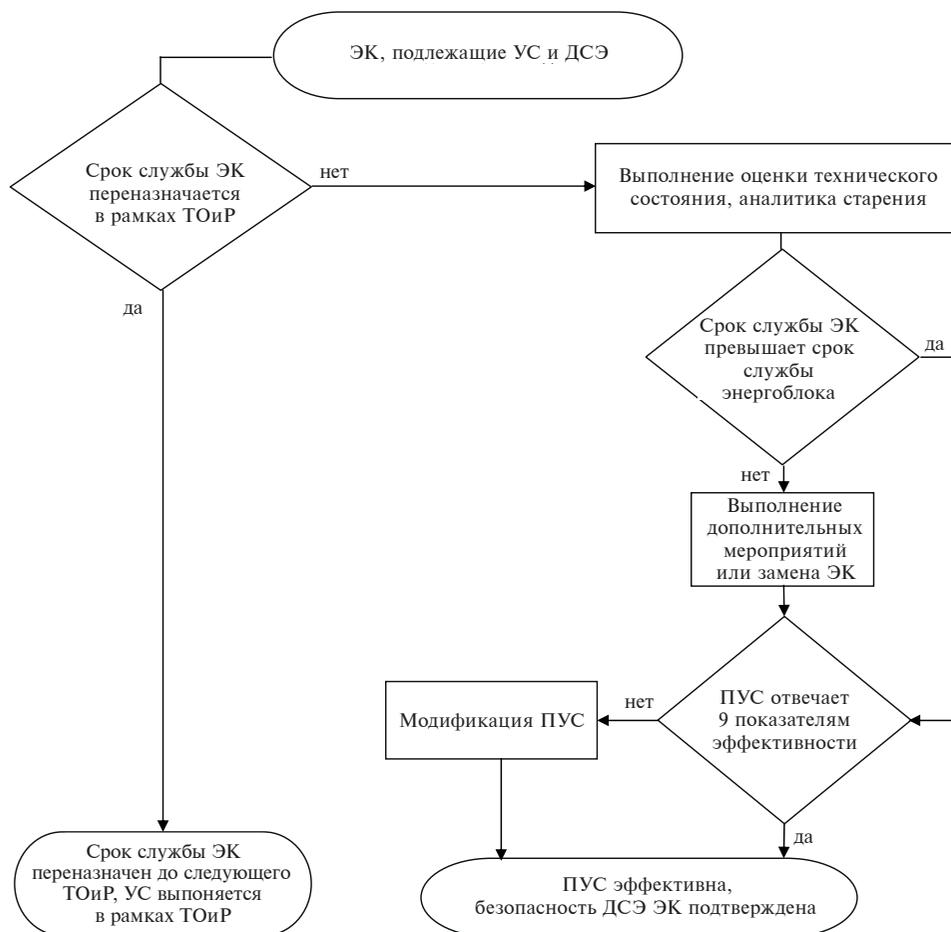


Рис. 2. Схема переназначения срока службы и долгосрочной эксплуатации элемента, конструкции

превентивные меры адекватны, корректны, полностью выполняются и эффективны. Система обеспечения качества на АЭС гарантирует выполнение ПУС, поддержку ее в актуальном состоянии, систематический анализ и контроль на соответствие всем перечисленным критериям.

Переназначение срока службы элементов, конструкций по результатам технического обслуживания и ремонта (ТОиР). ЭК, отобранные для УС и ДСЭ, рассматриваются на предмет возможности переназначения срока их службы путем проведения ТОиР (рис. 2). Срок службы ЭК может быть переназначен по результатам ТОиР при соблюдении следующих условий:

документация по ТОиР отвечает действующим требованиям по ядерной и радиационной безопасности;

ТОиР всех составных частей ЭК не затруднен по причинам расположения оборудования, значительных дозовых нагрузок на персонал и др.;

объем ТОиР предусматривает выполнение операций контроля технического состояния корпусных деталей;

ЭК с выявленным в процессе эксплуатации или выполнения ТОиР эффектами старения (дефектами) был отремонтирован или его составная часть заменена.

При соблюдении перечисленных условий срок службы ЭК или его составной части переназначается на срок до очередного ТОиР, а УС осуществляется в рамках ТОиР. В случае невозможности выполнения условий срок службы ЭК (составной части ЭК) переназначается в рамках проведения оценки технического состояния (ОТС), как будет показано далее.

Оценка технического состояния элементов, конструкций. Для ЭК, срок службы которых не может быть переназначен по результатам выполнения ТОиР, осуществляется оценка технического состояния.

Основные этапы ОТС ЭК энергоблока:

выявить эффекты старения и установить потенциальные механизмы деградации, проанализировав техническую документацию и историю эксплуатации, в том числе подобных энергоблоков;

установить текущие значения ПТС путем анализа эксплуатационной документации;

выполнить дополнительные обследования технического состояния (в случае недостаточности данных о состоянии ПТС);

оценить текущие значения ПТС на соответствие критериям приемлемости;

установить механизмы деградации;

установить доминирующие механизмы деградации;

выполнить анализ старения.

С целью выполнения ОТС в рамках подготовки к ДСЭ разрабатываются типовые и рабочие (на основании типовых) программы ОТС. Требования к содержанию и объему типовых и рабочих программ устанавливаются в соответствующих документах эксплуатирующей организации.

Анализ старения. Способность ЭК выполнять возложенные на них функции в назначенный или переназначенный срок службы оценивают (проверяют выполнение критериев приемлемости) сопоставлением текущих значений ПТС ЭК, полученных по результатам выполнения

ОТС, с допустимыми значениями, установленными в проектно-конструкторской документации и (или) действующих нормах, правилах и стандартах.

В случае выявления эффектов старения и связанных с ними изменений текущих значений ПТС выполняется анализ старения по доминирующим механизмам деградации. Анализ старения (как для переназначения срока службы, так и для подтверждения назначенного срока службы) позволяет обосновать промежуток времени, на протяжении которого ЭК будет выполнять возложенные функции.

Анализ старения:

выполняется для ЭК, которые подлежат УС и ДСЭ;

учитывает эффекты старения. Эффекты старения включают следующие процессы, но не ограничиваются ими: потеря материала, изменение размеров, изменение свойств материалов, изменение предварительного напряжения, оседание, растрескивание, ухудшение диэлектрических свойств;

служит для подтверждения назначенного или обоснования переназначенного срока службы ЭК и подтверждается расчетами, квалификацией оборудования или другими методами;

направлен на обеспечение безопасности энергоблока и отвечает требованиям действующих норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности;

содержит выводы о возможности выполнения системной, элементом и конструкцией предназначенных функций или служит основанием для таких выводов;

входит в отчет по периодической переоценке безопасности непосредственно или в виде ссылок.

Все ЭК, для которых выполнен анализ старения, можно объединить в три группы по следующим признакам [6]:

1. Величина анализируемого ПТС на протяжении всего назначенного (переназначенного) срока службы энергоблока не изменяется и не превышает принятого при выполнении анализа старения значения, т. е. назначенный (переназначенный) срок службы ЭК гарантированно будет превышать назначенный (переназначенный) срок службы энергоблока.

2. Величина анализируемого ПТС меняется во времени, но до конца назначенного (переназначенного) срока службы энергоблока будет отвечать критериям приемлемости, т. е. назначенный (переназначенный) срок службы ЭК будет превышать назначенный (переназначенный) срок службы энергоблока.

3. Величина анализируемого ПТС меняется во времени и не может быть гарантированно определена на конец назначенного (переназначенного) срока службы энергоблока, при этом ПУС обеспечивает выполнение ЭК возложенных на него функций путем контроля соответствия анализируемого ПТС критериям приемлемости на протяжении всего назначенного (переназначенного) срока службы энергоблока и своевременного выполнения корректирующих мер, в том числе по смягчению или сдерживанию деградации. В этом случае нельзя утверждать, что назначенный (переназначенный) срок службы ЭК не превышает назначенный (переназначенный) срок службы энергоблока.

Обоснование переназначенного срока службы элементов и конструкций по результатам оценки технического состояния и анализа старения. Все ЭК, отобранные в рамках проведения ОТС, можно разделить на две категории:

категория А — ЭК, переназначенный срок службы которых превышает переназначенный срок службы энергоблока, т. е. те ЭК, что входят в группы 1 и 2;

категория Б — ЭК, переназначенный срок службы которых не может быть гарантированно определен, т. е. те ЭК, которые входят в группу 3.

С целью переназначения срока службы ЭК категории А осуществляют анализ ПУС на соответствие 9 показателям эффективности (рис. 2). По результатам анализа принимается решение об эффективности действующей ПУС и возможности долгосрочной эксплуатации ЭК или, в случае несоответствия указанным критериям, первоначально выполняется модификация ПУС.

Для ЭК категории Б разрабатывают и реализуют дополнительные мероприятия (см. рис. 2), которые могут включать: применение в ходе анализа старения современных, более точных методик, расчетных кодов и др.;

уточнение параметров технического состояния ЭК углубленными исследованиями (например, образцов-свидетелей), в том числе при эксплуатации ЭК в переназначенный срок службы;

изменение условий эксплуатации (например, для корпуса реактора — установка экранов, формирование зоны со сниженным источником нейтронов).

В случае неэффективности или нецелесообразности применения дополнительных мероприятий выполняют замену ЭК.

После проведения дополнительных мероприятий или замены ЭК осуществляют анализ ПУС на соответствие 9 показателям эффективности. По результатам анализа принимается решение относительно эффективности действующей ПУС и возможности долгосрочной эксплуатации ЭК категории Б или необходимости модификации ПУС для приведения ее в соответствие к новым подходам и условиям эксплуатации ЭК.

Выводы

Разработанные требования к управлению старением и долгосрочной эксплуатации элементов и конструкций АЭС соответствуют референтным уровням WENRA, учитывают как накопленный отечественный опыт выполнения работ по УС энергоблоков АЭС Украины, в том числе по переназначению срока службы энергоблоков №№ 1 и 2 Ривненской АЭС и № 1 Южно-Украинской, так и соответствующие рекомендации МАГАТЭ. Требования могут быть использованы при разработке нормативного документа по управлению старением и долгосрочной эксплуатации элементов и конструкций АЭС.

Список использованной литературы

1. *НП 306.2.141–2008*. Загальні положення безпеки атомних станцій. — К. : Державний комітет ядерного регулювання України, 2008. — 35 с.
2. *НП 306.2.099–2004*. Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами періодичної переоцінки безпеки. — К. : Державний комітет ядерного регулювання України, 2005. — 27 с.
3. *ПМ-Д 0.08.222–06*. Типовая программа по управлению старением элементов энергоблока АЭС. — К. : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2006. — 48 с.
4. *IAEA NS-G-2.12*. Ageing Management for Nuclear Power Plants. — Vienna : IAEA, 2014. — 54 p.
5. *IAEA SRS № 57*. Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants. — Vienna : IAEA, 2008. — 33 p.

6. *IAEA Safety Report DD1085*. Approach to Ageing Management for Nuclear Power Plants. International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL) for Nuclear Power Plants. — Vienna : IAEA, 2007. — 83 p.

7. WENRARHWG. Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors. — 2014. — 82 p.

8. Рекомендации по совершенствованию национальной нормативной базы в части продления срока эксплуатации и управления старением энергоблоков АЭС Украины / А-й П. Шугайло, А-р П. Шугайло, Д. И. Рыжов, В. Б. Крицкий, С. В. Романов, А. М. Колупаев // Ядерна та радіаційна безпека. — 2013. — № 3. — С. 3–9.

References

1. *NP 306.2.141–2008*. General Safety Provisions for Nuclear Power Plants [NP 306.2.141–2008. Zahalni polozhennia bezpeky atomnykh stantsii], State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, 2008, 35 p. (Ukr)

2. *NP 306.2.099–2004*. General Requirements for NPPs Lifetime Extension on Results of Periodic Safety Review [NP 306.2.099–2004. Zahalni vymohy do prodovzhennia ekspluatatsii enerhoblokiv AES u ponadproektnii strok za rezultatamy periodychnoi pereotsinky bezpeky], State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, 2005, 27 p. (Ukr)

3. *PM-D 0.08.222–06*. Standard Program for Ageing Management of NPPs Units Elements [Tipovaia programma po upravleniiu stareniiem elementov energobloka AES], Kyiv, NAEK Energoatom, 2006. (Rus)

4. *IAEA NS-G-2.12*. Ageing Management for Nuclear Power Plants. — Vienna: IAEA, 2014. — 54 p.

5. *IAEA SRS No. 57*. Safe Long Term Operation of Nuclear Power Plants. — Vienna: IAEA, 2008, 33 p.

6. *IAEA Safety Report DD1085*. Approach to Ageing Management for Nuclear Power Plants. International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL) for Nuclear Power Plants, Vienna: IAEA, 2007, 83 p.

7. WENRARHWG. Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, 2014, 82 p.

8. *Shugailo, O., Shugailo, O-r., Ryzhov, D., Kritsky, V., Romanov, S., Kolupaev, A.* (2013), “Recommendations for Improvement of National Regulations on Long-Term Operation and Ageing Management of Ukrainian NPPs” [Rekommendatsii po sovershenstvovniiu natsionalnoi normativnoi bazy v chasti prodleniia stroka ekspluatatsii i upravleniia stareniiem energoblokiv AES Ukrainy], Nuclear and Radiation Safety, No. 3, pp. 3–9. (Rus.).

Получено 08.04.2015.