

О. Ю. ЧЕРНОУСЕНКО, Т. В. НИКУЛЕНКОВА, А. Г. НИКУЛЕНКОВ

ЕТАПИ РЕАЛІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ СТАРІННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС

АНОТАЦІЯ В зв'язку з наближенням терміну вироблення встановленого ресурсу обладнання енергоблоків АЕС стає актуальною проблема оцінки його технічного стану, прогнозування залишкового ресурсу та продовження термінів його подальшої експлуатації. На стан енергетичного обладнання АЕС впливає багато чинників: малоциклова втома, охрупнення шарів металу, ерозійно-корозійне зношення, які потребують прямих методів визначення своїх величин та діагностування роботи всіх найважливіших параметрів елементів енергоблоків. В даній статті акцентовано увагу на підвищення ефективності експлуатації енергоблоків шляхом реалізації заходів, спрямованих на своєчасне виявлення і підтримку в виявлених межах деградації, викликаній старінням елементів. Аналізується методологія управління старінням тепломеханічного обладнання і трубопроводів. На основі експлуатаційних даних визначені процеси, що зношують критичне обладнання енергоблоку АЕС. Також в статті приведені переваги управління ресурсом шляхом впровадження моніторингу та діагностики обладнання енергоблоків. Отже, результати управління старінням можливо застосовувати при обґрунтуванні можливості тривалої експлуатації.

Ключові слова: управління старінням, ресурс, технічний стан, моніторинг, охрупнення.

O. CHERNOUSENKO, T. NIKULENKOVA, A. NIKULENKOV

MILESTONES OF IMPLEMENTATION OF AGEING MANAGEMENT FOR NPP COMPONENTS

ABSTRACT The assessment of technical conditions, remaining life forecast and extension of nuclear power plant equipment service life become particularly relevant issues as NPP equipment approaches the end of its design service life. The technical conditions of NPP equipment are affected by a number of factors low-cycle fatigue, metal embrittlement, erosion-corrosion wear, which require using direct methods for defining their values and diagnostics of all the most significant parameters of NPP components. The article is focused on increasing NPP operating performance by implementing measures aimed at timely detection of aging induced degradation and maintaining it within revealed limits. The methodology of aging management for thermal and mechanical equipment and piping is analyzed. Based on operational data the processes resulting in wear of critical NPP equipment are defined. The article also provides advantages of service life management by implementing monitoring and diagnostics of unit equipment. Therefore, the results of aging management could be used to justify possibility of long-term operation.

Key words: ageing management, service life, technical conditions, monitoring, embrittlement.

Вступ

Метою проведення робіт з управління старінням елементів енергоблоків є забезпечення необхідного рівня безпеки впродовж терміну експлуатації енергоблоків (в тому числі понад проектний) та досягнення максимальної ефективності експлуатації енергоблоків шляхом виконання заходів, спрямованих на своєчасне виявлення і підтримку в прийнятних межах деградації, викликаній старінням елементів.

Основним керівним виробничим документом по впровадженню та реалізації технічних і експлуатаційних заходів, що здійснюються з метою утримання в допустимих межах деградації внаслідок старіння і зношення обладнання є Програма управління старінням елементів енергоблоків. Впровадження і реалізація даної програми є необхідною умовою для: підтримки або підвищення рівня безпеки енергоблоку атомної електричної станції (АЕС); підготовки до експлуатації понад проектний термін; створення ефективної системи управління ресурсом.

Метою роботи

Метою роботи є висвітлення вимог до орга-

нізації і порядку реалізації діяльності по управлінню старінням елементів енергоблоків атомних електростанцій.

Методологія управління старінням тепломеханічного обладнання і трубопроводів

На елементи енергоблоку можуть впливати процеси старіння, що виникають з часом або в результаті тривалого використання. Негативний вплив старіння може привести до деградації елемента, а саме до погіршення його надійності і, як наслідок, безпеки енергоблоку в цілому.

Для управління старінням елемента встановлюються визначальні параметри стану елементів і їх граничнодопустимі значення, а також обрані методи і засоби контролю цих параметрів. При цьому перевага віддається неруйнівним методам контролю, а також методам, які можуть бути застосовані для елементів, що знаходяться в роботі.

При здійсненні діяльності з управління старінням тепломеханічного обладнання і трубопроводів енергоблоку особливу увагу приділяють:

- обстеженню елементів з подальшим виявленням і вивченням процесів старіння;
- оцінці технічного стану з подальшим перепризначенням ресурсу;

- розробці і впровадженню моніторингу домінуючих процесів старіння;
- розробці і впровадженню заходів щодо пом'якшення процесів старіння;
- постійному контролю параметрів технічного стану, спрямованому на підтвердження того, що експлуатаційна надійність критичних елементів підтримується відповідно до вимог технічної документації.

Результати оцінки технічного стану тепломеханічного обладнання та трубопроводів представляються у вигляді звітів, які містять:

- визначення проектних ресурсних характеристик елементів;
- механізми старіння і їх вплив на зазначені експлуатаційні параметри і характеристики;
- оцінку існуючих засобів і методів контролю, діагностики елементів, в тому числі перевірок і випробувань, аналіз отриманої інформації;
- оцінку реалізованих і запланованих заходів по зниженню впливу старіння, як в режимах нормальної експлуатації, так і в аварійних режимах;
- формування прогнозу зміни ресурсу аналізованих елементів впродовж подовженого терміну експлуатації і можливості виконання ними функцій безпеки.

Розробка і впровадження заходів щодо пом'якшення процесів старіння і щодо забезпечення надійної експлуатації елементів в період перепризначеного ресурсу є обов'язковим видом діяльності з управління старінням тепломеханічного обладнання і трубопроводів [1]. Як показує практика, довговічність елементів енергоблоків АЕС визначається, в основному, активністю ерозійно-корозійних та інших зношувачих процесів (табл. 1). При цьому інші критерії надійності, в першу чергу – по малоциклової втомі, відповідають нормативним вимогам.

Разом з тим в процесі тривалої експлуатації діє механізм накопичення пошкоджень в результаті вичерпання тривалої пластичності і, як наслідок, охрупчення шарів металу, що піддаються впливу найбільших напружень. При глибокому вичерпанні ресурсу в матеріалі з'являються тріщини, які при подальшому розвитку призводять до серйозного пошкодження деталі.

Призначений проектом термін експлуатації енергоблоків АЕС з високою імовірністю дає впевненість, що критичні елементи, як і блок АЕС в цілому, за умови відповідного технічного обслуговування, ремонтів та експлуатаційного контролю, впродовж цього терміну будуть відповідати критеріям безпеки.

Оцінка фактичного технічного стану та відповідності елементів енергоблоку

Оцінка фактичного технічного стану та відповідності елементів енергоблоку чинним нормативним документам є необхідною умовою для прийняття рішення щодо подовження терміну ек-

сплуатації, модернізації чи виведення їх з експлуатації [2].

Проведення обстеження технічного стану з метою подовження терміну експлуатації обладнання включає наступні етапи виконання робіт: аналіз технічної документації; аналіз досвіду експлуатації; оцінку технічного стану по визначальних параметрах; оцінку технічного стану по міцнісних параметрах; оцінку залишкового ресурсу за результатами вимірювання параметрів граничного стану; прийняття рішення про можливість подовження терміну експлуатації обладнання і оформлення Висновку.

Технічна документація електростанції включає аналіз по режимах експлуатації, пошкодженнях, змінах геометрії у період відновлювальних ремонтів основних елементів енергоблоку, результатах контролю металу впродовж усього терміну їх експлуатації. З метою оцінки стану металу високотемпературних елементів проводять вивчення та систематизацію експлуатаційної і ремонтної документації по результатах контролю металу за весь період експлуатації енергоблоку. Після цього фіксують різні види пошкоджень (тріщини, розтріскування, промивання) і відтворюють у геометричній моделі елемента. Такий підхід дозволяє наблизити розрахункову модель до реального стану елемента енергоблоку після тривалої експлуатації.

За результатами оцінки технічного стану елементів енергоблоків, управління старінням передбачає розробку відповідних заходів щодо пом'якшення і призупинення процесів старіння, які реалізуються в рамках:

- технічного обслуговування і ремонту;
- реконструкції (модернізації);
- заміни елементів або комплектуючих;
- зміни умов і режимів експлуатації.

Рішення про доцільність здійснення заходів щодо подовження експлуатації енергоблоку АЕС приймає експлуатуюча організація, виходячи з можливості забезпечення безпеки на рівні, встановленому в діючих нормах і правилах з ядерної та радіаційної безпеки, шляхом проведення аналізу економічних факторів та технічного стану критичних елементів блоку АЕС (рис. 1).

Управління ресурсом за допомогою моніторингу та діагностики обладнання енергоблоків

Моніторинг процесів старіння виконується з метою отримання своєчасної та достовірної інформації про стан процесів старіння елемента.

Для моніторингу процесу старіння конкретного елемента енергоблоку із загальної кількості механізмів старіння даного елемента вибираються домінуючі механізми старіння, які вносять основний вклад в процес старіння. Методика вибору домінуючих механізмів старіння визначається типовими програмами оцінки технічного стану для відповідних елементів енергоблоків.

Таблиця 1 – Управління старінням елементів енергоблоку № 1 Южно-Української АЕС

Елемент Програми управління старінням АЕС	Елемент/область	Механізми деградації/наслідки старіння	Заходи із зменшення впливу ефектів старіння
Реактор – корпус	Кільцеві зварні шви; оболонка активної зони корпусу реактора	Радіаційне охрупнення і зміцнення	Використання в реакторі паливних завантажень зі зниженим виходом нейтронів
	Весь корпус реактора	Термічне охрупнення і зміцнення	Не потрібні
	Внутрішня поверхня корпусу (наплавка КР (корпусу реактора))	Корозія, корозійне розтріскування під напругою	Моніторинг і контроль параметрів водно хімічного режиму першого контуру відповідно до чинних НД (нормативних документів)
Захисні труби	Блок захисних труб	Втома	Дотримання технологічного регламенту щодо кількості циклів навантаження реакторної установки.
		Корозійне розтріскування під напругою	Моніторинг і контроль параметрів водно хімічного режиму першого контуру відповідно до чинних НД
	Упорне кільце	Малоциклова втома	Дотримання технологічного регламенту щодо кількості циклів навантаження реакторної установки.
		Багатоциклова втома	Виконати заміну тороїдальних прижимних труб
	Всі елементи	Корозія	Не потрібні
Парогенератор	Корпус, паровий колектор	Малоциклова втома	Не потрібні
	Теплообмінні труби, фланцеві роз'єми колекторів першого контуру, вузол приєднання колекторів до патрубків	Корозійне розтріскування під напругою, корозійна втома, міжкристалічне розтріскування	Не потрібні
Парова турбіна	–	Ерозійно-корозійне зношення; загальна і локальна корозія	Знизити тривалість роботи турбіни в номінальному діапазоні міцності
Турбогенератор	–	Вібраційні навантаження, старіння ізоляції обмоток ротора	Не потрібні

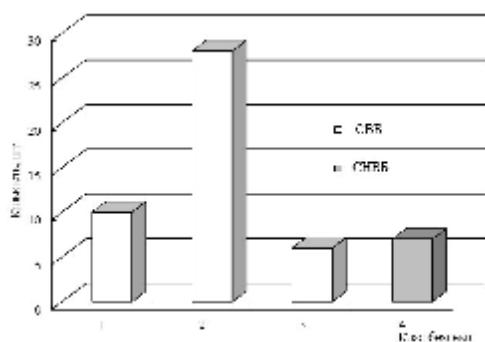


Рис. 1 – Розподіл критичних елементів енергоблоку № 1 ВП ЮУАЕС (відокремленого підрозділу «Южно-Українська АЕС»): СВБ – системи важливі для безпеки; СНВБ – системи, що не впливають на безпеку

Моніторинг технічного стану елементів виконується шляхом контролю встановлених параметрів і характеристик, що визначають технічний

стан елементів, в період їх роботи, при проведенні випробувань, вимірювань, експлуатаційного контролю металу, ремонтів і техобслуговування елементів. Моніторинг повинен здійснюватися систематично впродовж усього терміну експлуатації енергоблоку. В свою чергу технічна діагностика контролює поточний стан всіх елементів, виявляє аномальні стани, визначає причини їх появи, що дозволяє оцінити ситуацію і прийняти заходи по їх усуненню [3–5].

При оснащенні енергоблоків АЕС системою технічної діагностики застосовують наступний системний підхід: результати вимірювання параметрів енергоблоку штатної автоматичної системи управління технологічними процесами дають достатню інформацію про режими роботи і стан обладнання, а для вирішення задач діагностування необхідно правильно організувати збір даних і їх обробку.

Прогнозування залишкового ресурсу обладнання можливе тоді, коли критерії граничного

стану обладнання визначені в чисельних значеннях, а під час експлуатації обладнання здійснюються вимірювання і реєстрація параметрів.

Автоматична система технічної діагностики (АСТД) повинна вирішувати основні задачі діагностики, а саме:

- визначення поточного стану діагностуючого обладнання;
- прогнозування змін цього стану;
- визначення стану цього обладнання в минулому, бо без цього неможливо буде оцінити теперішній і майбутній стан, в тому числі аварійний;
- супроводження аварії або після аварійний стан.

Виконання умов технічного обслуговування обладнання дозволить чітко виявити технічний стан обладнання енергоблоків, запобігти аваріям, повноцінно використовувати ресурси і обладнання, скоротити експлуатаційні витрати.

Все це виражається в коригуванні графіка ремонтів в сторону скорочення термінів (міжремонтного циклу), скороченні чисельності ремонтного персоналу, чіткому плануванні робіт. Відбувається перехід до нової прогресивної форми технічного обслуговування обладнання по реальному технічному стану, в основі якого лежить пропозиція про можливість оцінки і прогнозування залишкового ресурсу, відновлення ресурсу шляхом проведення ремонтно-відновлювальних робіт, спланованих по результатах аналізу експлуатації з врахуванням реального стану обладнання АЕС, отриманого при проведенні діагностичного обслуговування і досліджень.

На підставі моніторингу процесів старіння і технічного стану елементів енергоблоку встановлюються вимоги до виконання додаткових робіт (вимірів, контролю металу, випробувань та ін.) для основних об'єктів робіт в періоди капітальних ремонтів для обґрунтування можливості подовження ресурсу/терміну служби елементів, перепризначення ресурсу яких проводиться в рамках капітального ремонту.

Головною перешкодою на шляху впровадження діагностичних систем є додаткові капітальні витрати, що становлять до 20 % вартості обладнання. Однак, як показує досвід, ці витрати швидко окупаються (впродовж одного-двох років), а потім дають відчутний прибуток. Підвищення безпеки експлуатації енергоблоків електричних станцій досягається за рахунок розширення обсягу інформації про стан об'єктів діагностування, прогнозування розвитку подій і рекомендацій технічному персоналу про подальші дії. Впровадження АСТД дозволяє також замість планово-попереджувального ремонту перейти на організацію ремонтного обслуговування обладнання за його фактичним станом, що дає суттєвий економічний ефект за рахунок додаткового вироблення електроенергії та зменшення ремонтних витрат.

Ціллю технічного діагностування обладнання є Висновок про справність і дієздатність конкретного типу обладнання, а засоби технічної

діагностики повинні забезпечити виявлення дефектів, які впливають на дієздатність діагностованого обладнання і забезпечити прогнозування його залишкового ресурсу [6].

Висновки

Дані, одержані в процесі управління старінням конкретних елементів енергоблоку, повинні бути застосовані для оптимізації процедур з їх технічного обслуговування, ремонту і моніторингу в процесі експлуатації, а також для обґрунтування безпеки при подовженні терміну служби енергоблоку. Результати управління старінням повинні застосовуватися при обґрунтуванні можливості тривалої експлуатації (подовження терміну експлуатації) елементів, а також оптимізації випробувань та існуючого ремонтного впливу на них.

Список літератури

- 1 Програма управління старением элементов энергоблока № 1 ЮУАЭС. ПМ.1.3812.0196 согласована с Госатомрегулирования Украины от 22.11.2013 [Текст] / ОП ЮУАЭС ГП «НАЕК «Енергоатом». – 2013. – 154 с.
- 2 Общие требования к продлению эксплуатации энергоблоков АЭС в сверхпроектный срок по результатам выполнения периодической переоценки безопасности. НП 306.2.099-2004 [Текст] / Госатомрегулирования Украины. – Зарег. в Мин. Юст. Украины 15.12.04 под № 1587/10186. – 2004. – 19 с.
- 3 **Колотникова, О. В.** Эффективность упрочнения методами поверхностного пластического деформирования деталей, работающих при повышенных температурах [Текст] / **О. В. Колотникова** // Проблемы прочности. – 1983. – № 2. – С. 112–114.
- 4 **Алехин, В. П.** Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов [Текст] / В. П. Алехин. – М.: Наука, 1983. – 279 с.
- 5 **Комаровский, А. А.** Диагностика напряженно-деформированного состояния [Текст] / **А. А. Комаровский** // Контроль. Диагностика. – 2000. – № 2. – С. 22–27.
- 6 **Шульженко, Н. Г.** Автоматизированная система непрерывного вибромониторинга и анализа параметров вибрации роторных агрегатов [Текст] / **Н. Г. Шульженко, В. П. Билетченко, Л. Д. Метелев** и др. // Питання розвитку газової промисловості України. Зб. наукових праць. – Харків: 2000. – Вип. 28. – С. 19–23.

Bibliography (transliterated)

- 1 **OP JuUAJeS GP ²NAEK ²Energoatom²** (2013), *PM.1.3812.0196. Programma upravlenija stareniem jelementov jenergobloka № 1 JuUAJeS [Aging Management Programme of Unit 1 SUNPP]*, Kiev, Ukraine.
- 2 **Gosatomregulirovanija Ukrainy.** (2004), *NP 306.2.099-2004. Obshhie trebovanija k prodleniju jekspluatacii jenergoblokov AJeS v sverhproektnyj srok po rezul'tatam vypolnenija periodicheskoj pereocenkij bezopasnosti [General Requirements for Extension of NPP Operation beyond Design Lifetime based on Results of Periodic Safety Reassessment]*, Kiev, Ukraine.

- 3 **Kolotnikova, O. V.** (1983), ²Jeftektivnost' uprochnenija metodami poverhnostnogo plasticheskogo deformirovanija detalej, rabotajushhijh pri povyshennyh temperaturah [Efficiency of surface plastic strain hardening under increased temperature]², *Problemy prochnosti*, no 2, pp. 112–114.
- 4 **Al'okhin, V. P.** (1983), *Fizika prochnosti i plastichnosti poverhnostnyh sloev materialov [Physics of Strength and Plasticity of Surface Layers of Materials]*, Nauka, Moscow, Russian.
- 5 **Komarovsky, A. A.** (2000), ²Diagnostika naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija [Diagnostics of stress-strain state]², *Kontrol'. Diagnostika*, no. 2, pp. 22–27.
- 6 **Shulzhenko, N. G. Bilechenko, V. P. and Metel'evm, L. D.** et al. (2000), ²Avtomatizirovannaja sistema nepreryvnogo vibromonitoringa i analiza parametrov vibracii rotornyh agregatov [Automated system for continuous vibration monitoring and rotor vibrational characteristics analysis]², *Pitannya rozvitku gazovoi promislovosti Ukraini. Zb. naukovih prac'*, no. 28, pp. 19–23.

Відомості про авторів (About authors)

Черноусенко Ольга Юріївна – доктор технічних наук, професор, Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», завідувач кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (067) 504-82-92; e-mail: chernousenko20a@gmail.com; cher_olya@2c.kiev.ua; ORCID 0000-0002-1427-8068.

Chernousenko Olga Yuriivna – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Head of the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants; Kyiv.

Нікуленкова Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», старший викладач кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (067) 375-54-44; e-mail: tvnikulenkova@yandex.ua; ORCID 0000-0003-1880-1124.

Nikulenkova Tetiana Volodymyrivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Lecturer at the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants; Kyiv.

Нікуленков Анатолій Геннадійович – Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут», аспірант кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ; тел.: (063) 82–94–86; e-mail: a-Nikulenkov@yandex.ua; ORCID 0000-0003-4345-8575.

Nikulenkov Anatolii Hennadiiovych – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Postgraduate Student at the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants; Kyiv.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Черноусенко, О. Ю. Етапи реалізації управління старінням елементів енергоблоків АЕС [Текст] / **О. Ю. Черноусенко, Т. В. Нікуленкова, А. Г. Нікуленков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 85–89. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.12.

Please cite this article as:

Chernousenko, O. Yu., Nikulenkova, T. V. and Nikulenkov, A. H. (2016), ²Milestones of Implementation of Ageing Management for NPP Components², *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 9(1181), pp. 85–89, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.12.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Черноусенко, О. Ю. Этапы реализации управления старением элементов энергоблоков АЭС [Текст] / **О. Ю. Черноусенко, Т. В. Никуленкова, А. Г. Никуленков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 85–89. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.12.

АННОТАЦИЯ В связи с приближением срока выработки установленного ресурса оборудования энергоблоков АЭС становится актуальной проблема оценки его технического состояния, прогнозирования остаточного ресурса и продление сроков его дальнейшей эксплуатации. На состояние энергетического оборудования АЭС влияет много факторов: малоцикловая усталость, охрупчивание слоёв металла, эрозийно-коррозионный износ, которые нуждаются в прямых методах определения своих величин и диагностирования работы всех важнейших параметров элементов энергоблоков. В данной статье акцентировано внимание на повышении эффективности эксплуатации энергоблоков путём реализации мероприятий, направленных на своевременное выявление и поддержание в выявленных пределах деградации, вызванной старением элементов. Анализируется методология управления старением тепломеханического оборудования и трубопроводов. На основе эксплуатационных данных определены изнашивающие процессы для критического оборудования энергоблока АЭС. Также в статье приведены преимущества управления ресурсом посредством внедрения мониторинга и диагностики оборудования энергоблоков. Таким образом, результаты управления старением следует применять при обосновании возможности длительной эксплуатации.
Ключевые слова: управление старением, ресурс, техническое состояние, мониторинг, охрупчивание.

Надійшла (received) 10.01.2016