

Аналіз нормативної бази показників довговічності устаткування АЕС

У роботі проведено порівняльний бібліографічний аналіз нормативних вимог щодо оцінювання та прогнозування показників довговічності устаткування атомних електростанцій (АЕС). Розроблено пропозиції з удосконалення оцінювання ресурсних характеристик із урахуванням неповноти та неоднорідності даних щодо раптових та поступових відмов устаткування.

ВСТУП

Довговічність є актуальним завданням із забезпечення високої надійності та безпеки устаткування АЕС. Довговічність устаткування обмежена граничним станом, який настає внаслідок діючих навантажень і факторів, що погіршують його технічний стан. Для кількісного оцінювання довговічності на різних стадіях життєвого циклу устаткування можуть використовуватися поняття ресурсу та терміну служби [1].

Сьогодні проблеми оцінювання та прогнозування ресурсу устаткування є актуальним, складними та малодослідженими [2]. Особливо це стосується прогнозування індивідуального залишкового ресурсу одиничного устаткування за поступових відмов [3].

Метою дослідження є визначення стану (повноти, чіткості, простоти розуміння та системності) нормативних вимог у галузі оцінювання та прогнозування показників довговічності устаткування АЕС. Для реалізації мети дослідження розглянуто такі питання:

- упорядкування нормативної документації для її використання в галузі оцінювання та прогнозування показників довговічності устаткування у випадку раптових і поступових відмов;
- визначення стану нормативної бази в зазначеній галузі, проведення її порівняльного бібліографічного аналізу з метою виявлення недоліків.

Реалізація наукового дослідження

Як показують дослідження довговічності устаткування, раптові відмови відрізняються стрибкоподібною зміною значення одного або декількох параметрів об'єкта, а поступові відмови є прихованими і характеризуються монотонною зміною однієї або декількох метрологічних характеристик устаткування [1, 4].

Існуюча нормативна база для оцінювання довговічності устаткування використовується у ході дослідження ресурсних завдань, до яких можна віднести [1]:

1. Розроблення математичних моделей залежності ресурсу устаткування від факторів старіння: на-

робітки устаткування, корозія, ерозія, втоми, зношування, радіація.

2. Визначення залежності значення ресурсу від періодичності та обсягу технічного обслуговування, контролю, інспекцій, випробувань.

3. Розроблення методології оцінювання та прогнозування індивідуального ресурсу устаткування енергоблоків АЕС.

4. Розроблення теорії оцінювання та прогнозування ресурсу устаткування за неоднорідності та невизначеності вихідних даних щодо експлуатаційних впливів та характеристик конструкційних матеріалів.

У ході аналізу зазначених ресурсних завдань здійснюють оцінювання та прогнозування показників довговічності [5, 6]:

- ресурс — сумарний наробіток устаткування від початку його експлуатації або поновлення після ремонту до переходу в граничний стан;
- термін служби об'єкта — календарна тривалість як і для ресурсу, від початку експлуатації або поновлення після ремонту до переходу в граничний стан;
- залишковий ресурс — сумарний наробіток об'єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан;
- призначений ресурс — сумарний наробіток, при досягненні якого експлуатація об'єкта повинна бути припинена, незалежно від його технічного стану;
- гамма-процентний ресурс — сумарний наробіток, протягом якого об'єкт не досягає граничного стану з імовірністю γ %;
- середній ресурс — математичне очікування ресурсу;
- гарантійний ресурс (гарантійний термін служби) — сумарний наробіток (календарний час), протягом якого підприємство-виготовлювач відповідає за технічний стан об'єкта за умови виконання інструкції для експлуатації;

Таблиця 1. Нормативна документація (НД) із оцінювання та прогнозування показників довговічності при раптових відмовах

Ч/ч	Позначення НД	Назва НД	Сутність НД	Основні переваги	Основні недоліки
1	ГКД 34.35.604-96	Техническое обслуживание устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110—750 кВ	Правила визначають види технічного обслуговування пристроїв релейного захисту апаратури (РЗА) і протиаварійної автоматики (ПА), дистанційного керування, програми та періодичність їх проведення. Методика перевірок, випробувань пристроїв та їх елементів	Правила досить послідовні. Вони мають вид повних за обсягом і послідовних перевірок для кожного виду технічного обслуговування пристроїв і апаратури	Невизначені критерії оцінювання задовільного стану апаратури та методів визначення можливого терміну продовження експлуатації
2	ГОСТ 27.202-83	Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготовляемой продукции	Стандарт установлює технічні вимоги до методів оцінки надійності технологічних систем (ТС) за параметрами якості виготовленої продукції в галузях машинобудування та приладобудування за технологічної підготовки виробництва, а також під час розроблення та упровадження заходів щодо удосконалення діючих технологічних процесів та операцій	При використанні реєстраційного методу для оцінювання показників надійності за параметрами якості продукції, що виготовляється, ТС, інформація повинна задовольняти вимоги вірогідності та однорідності	У технічних вимогах до методів оцінювання комплексних показників надійності ТС за визначення можливих методів значень показників не розглядаються показники надійності ТС за критеріями відмови. Відсутній перелік комплексних показників надійності ТС за параметрами якості продукції, що виготовляється, характеризують надійність ТС та якість продукції
3	МТ-Т.0.08.118-05	Методика статистического анализа надежности средств контроля и управления систем важных для безопасности АЭС	Методика призначена для регламентації розрахунків показників надійності устаткованя засобів контролю та керування з використанням математичної статистики	Обчислюється ймовірність безвідмовної роботи устаткування за планованій (заданій) наробіток. Згідно з методикою, можливо вести прогнозування залишкового ресурсу устаткування тільки за виконання спостережень у повному обсязі	Точність прогнозування залежить від обраної довірчої ймовірності. Згідно з ДСТУ 3004-95 довіру ймовірність для АЕС рекомендується обирати $P=0,95$. Наближаючи довіру ймовірність до 1,00 (що є ідеальною вимогою) стає неможливо користуватися методами розрахунків
4	ГОСТ 27.203-83	Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности	Стандарт поширюється на технологічні процеси (операції) виготовлення або ремонту продукції, установлює загальні вимоги до методів і порядку проведення оцінювання надійності технологічних систем	Оцінювання надійності ТС проводиться на стадіях проектування, виготовлення й експлуатації	Методи оцінювання надійності ТС вибирають, виходячи із критеріїв відмови, які не повинні виходити за встановлені межі й рівні, умови, виконання яких не зазначено. Присутні визначення лише таких значень показників надійності, як безвідмовність і працездатність
5	ДСТУ 3004-95	Надійність техніки. Методи оцінювання показників надійності за експериментальними даними	Стандарт поширюється на ТС, пристрої, машини, механізми, апаратуру, прилади або будь-які їхні частини, які розглядаються з погляду надійності як самостійні одиниці	Стандарт установлює методи вибору планів і обсягів випробувань, оцінювання показників надійності за результатами випробувань	Не має досить чіткої послідовності та методології у викладанні методів оцінювання показників надійності

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
6	ГОСТ 27.310-95	Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения	Установлює порядок проведення та загальні методичні принципи аналізу видів, наслідків і критичності відмов (АВНКВ) технічних об'єктів усіх видів	Порядок аналізу й методи аналізу АВНКВ досить послідовні	Не передбачає порядок і методи аналізу АВНКВ залежно від категорії важкості наслідків відмови
7	ПЛ-Д-0.08.126-10	Положення о порядке продления срока эксплуатации службы оборудования систем важных для безопасности	Встановлює загальні вимоги до порядку та змісту робіт із продовження строку експлуатації / служби устаткування систем важливих для безпеки. Продовження строків експлуатації тепломеханічного устаткування виконується за результатами капітального ремонту	Продовження строків експлуатації виймальних частин розбірної й нерозбірної арматур виконується за результатами технічного обслуговування й капітального ремонту	Ресурс, близько 70 %, «важкозмінного» устаткування АЕС продовжується на підставі капітального ремонту та оцінюванні показників надійності згідно з ОІТТ-87 строк продовження зазначеного устаткування не більш 4-х років
8	НП-017-2000	Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции	Встановлюють основні критерії й вимоги до продовження строку експлуатації блоку АЕС й поширюються на всі її діючі блоки	Вимоги до встановлення залишкового ресурсу елементів, проведеному заходів щодо заміни устаткування, що виробили свій ресурс	Необхідно точніше конкретизувати заходи щодо заміни устаткування, що виробило свій ресурс
9	НП. 306.5.02 \2.068-2003	Требования к порядку и содержанию работ для продления срока эксплуатации информационных и управляющих систем важных для безопасности атомных электростанций	Визначає процедуру продовження строку експлуатації інформаційних і керуючих систем (ІКС). Розписані організаційні вимоги при продовженні строку експлуатації й порядок виконання продовження строку експлуатації ІКС, починаючи з оцінки необхідності продовження строку експлуатації й закінчуючи вимогами щодо випуску підсумкових документів необхідних для «узаконювання» робіт із продовження	Основна частина документа описує порядок оформлення результатів робіт із продовження строків експлуатації устаткування ІКС і затвердження цих документів	Відсутні основні вимоги, якими необхідно керуватися під час визначення прогнозованих строків експлуатації
10	ПНАЭ Г-7-002-86	Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов ЯЭУ	Містить розрахунки на статичну міцність, стійкість, циклічну міцність, віброміцність, методику визначення механічних. Можна застосовувати під час розрахунків на міцність устаткування з метою продовження строків експлуатації понад проектний період	Представлено великий перелік випробувань на міцність устаткування ЯЭУ. Є низка основних графічних значень основних міцнісних характеристик устаткування, застосовуваних у ході розрахунків, а також довідкові таблиці за матеріалами	Розглянута лише механічна міцність устаткування та їх елементів і зовсім не торкається аналізу ефектів старіння матеріалів. Стандарт не розглядає питання міцності конструкції під час експлуатації у понад проектний період, коли одним зі складових елементів є полімерні матеріали, оскільки у процесі їхнього старіння вплив на механічні показники має і температура тощо

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6
11	ГОСТ 27.402-95	Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней работоспособности до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное распределение	Поширюється на об'єкти, розподіл наробітків до відмови або між відмовами, які апроксимують експонентним розподілом, і встановлює плани контрольних випробувань для перевірки відповідності середнього наробітку до відмови або на відмову заданим вимогам	При розрахунках сумарного наробітку виробів враховані будь-які способи її ресстрації	Не має досить чіткої послідовності та методології викладу табличного матеріалу, графіків і малюнків
12	ГОСТ 27.410-87	Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность	Поширюється на виробу, до яких у нормативно-технічній і конструкторській документації висувають вимоги надійності, і встановлює методи контролю показників надійності й плани контрольних випробувань на надійність	Установлює загальні вимоги до організації та порядку проведення робіт із випробувань на надійність, та до методів контролю показників надійності	Не має істотних недоліків

Таблиця 2. НД щодо оцінювання й прогнозування показників довговічності за поступових відмов

Ч/ч	Позначення НД	Назва НД	Сутність НД	Основні переваги	Основні недоліки
1	РД 26.260.004-91	Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров технического состояния при эксплуатации	Установлює вимоги до вибору методів прогнозування залишкового ресурсу хіміко-технологічного устаткування щодо зміни параметрів його технічного стану й рекомендації із застосування статистичних методів під час прогнозування	Представлено два підходи до прогнозування залишкового ресурсу устаткування при строку, близькому до нормативного	Нерозглянутий метод прогнозування залишкового ресурсу устаткування за невеликого строку експлуатації, тобто під час невеликої кількості експериментальних даних
2	РД 50-423-83	Методические указания. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию	Методичні вказівки поширюються на виробу, піддані зношуванню, відмови яких зумовлені процесами зношування контрольованих поверхонь третьових пар	Установлюють методи розрахунків залишкового ресурсу, дисперсії залишкового ресурсу й імовірності безвідмовної роботи	Прогнозування ресурсу устаткування, застосованого в атомній енергетиці, неможливе у зв'язку з відсутністю можливості спостереження за деталями в процесі експлуатації. Можливість контролювати стан устаткування для АЕС обумовлюється плановим попереджувальним ремонтом (ППР). Як показує практика, ППР на АЕС проводиться раз на рік
3	ПНАЭ Г-7-008-89	Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов АЗУ	Поширюються на працюючі під тиском і вакуумом посудини з водо-водяними й водографітовими реакторами	Вимоги щодо безпеки матеріалів, гідравлічних випробувань. Установлюється контроль над станом металів устаткування й трубопроводів	Вимоги правил не поширюються на труби й пристрої, механічні й електричні пристрої, вбудовані усередину устаткування, ТВЕЛ, ТВС
4	ГОСТ 27.204-83	Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности	Установлює технічні вимоги до методів оцінювання надійності ТС за параметрами продуктивності у галузях машинобудування й приладобудування за технологічної підготовки виробництва, а також під час удосконалювання діючих ТС	Під час визначення методів оцінювання ТС у стандарті представлена номенклатура, визначення й математичні вираження комплексних показників надійності	Наведено розрахунки коефіцієнта ритмічності виготовлення продукції i-го найменування, однак його розрахунки ніде не враховується

▪ міжремонтний ресурс (міжремонтний термін служби) — сумарний наробіток (календарний час) між двома ремонтами об'єкта.

Для реалізації поставлених цілей здійснений добір нормативно-технічної документації із оцінювання та прогнозування показників довговічності устаткування АЕС. Дослідження відбувалося, починаючи із стандартів підприємства, технічних умов до національних і міжнародних стандартів. Був проаналізований Глосарій МАГАТЕ [7] і досвід роботи АЕС України в досліджуваній сфері. Щоб перераховані ресурсні завдання розглянути при оцінюванні й прогнозуванні показників довговічності устаткування, проведено порівняльний бібліографічний аналіз нормативно-технічної документації й відповідної технічної літератури [1—26]. При цьому особлива увага приділена групуванню вихідних матеріалів для дослідження показників довговічності устаткування, окремо під час аналізування раптових відмов (табл. 1) і поступових відмов (табл. 2).

Наведені у табл. 1 керівні документи, стандарти, правила, норми розрахунків [11—22] можна охарактеризувати в такий спосіб:

▪ розглянуті методики визначення залишкового ресурсу складних систем не мають чіткої систематизації у виборі методу прогнозування для конкретного виду устаткування;

▪ у більшості випадків необхідні додаткові дослідження для створення довідкового матеріалу зі значеннями граничного стану. Такі дослідження вимагають руйнування дорогого устаткування. Оцінення ж зношування устаткування на АЕС обмежене планово-профілактичним ремонтом, що унеможлиблює таку діяльність через обмежену інформацію, яку необхідно одержати для адаптації існуючих методик для устаткування АЕС.

У розглянутих НД практично відсутні узагальнені нормативно-технічні матеріали з позиції єдиної методології у сфері оцінювання та прогнозування показників довговічності, зокрема оцінювання та про-

гнозування залишкового ресурсу устаткування АЕС.

НД із оцінювання й прогнозування ресурсних характеристик за поступових відмов дуже мало [25—28] і вони охоплюють вузьке коло питань (табл. 2). При цьому для прогнозування залишкового ресурсу за поступових відмов потрібен більший період спостереження, а також оцінювання технічного стану устаткування за допомогою великої кількості діагностичних параметрів. Ураховуючи велику номенклатуру устаткування, застосовуваного на АЕС, а також те, що, як правило, планово профілактичний ремонт триває не більше 50 днів на рік, організація робіт із проведення вимірювань і визначення технічного стану устаткування АЕС практично неможлива.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз нормативної бази щодо дослідження ресурсних завдань складних систем показує, що:

▪ нормативні вимоги з методології оцінювання та прогнозування залишкового ресурсу сформульовані не повністю;

▪ існуючий арсенал методів розв'язку ресурсних завдань устаткування розроблений, в основному, для раптових відмов;

▪ нормативна база із оцінювання та прогнозування ресурсних характеристик устаткування, за поступових відмов, має характер разових окремих документів.

Для вирішення проблем необхідно:

▪ застосовувати принципи стандартизації за удосконалення концепції оцінювання та прогнозування індивідуального ресурсу устаткування;

▪ удосконалити нормативні вимоги щодо оцінювання та прогнозування показників довговічності устаткування не лише під час дослідження раптових, але й за поступових відмов;

▪ розробити методологію оцінювання та прогнозування показників довговічності устаткування за неповноти та неоднорідності вихідних даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Острейковский В. А. Старение и прогнозирование ресурса оборудования атомных станций. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 288 с.
2. Острейковский В. А. Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 928 с.
3. Гетман А. Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов АЭС. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 427 с.
4. Маловик К. Н. Контроль качества и надежности: Учеб.-метод. пособие. — Севастополь: С НУЯЭИП, 2005. — 324 с.
5. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — Сб. ГОСТов. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. — 79 с.
6. ДСТУ 2470-94. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення. — Введ.: 01.01.95. — К.: Госстандарт України, 1994. — 22 с.
7. Глосарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты.
8. Сергеев А. Г., Латышев М. В., Терегеря В. В. Теория. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебн. пособие. — М.: Логос, 2003. — 536 с.

9. Маловик К. Н. Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов \Монография\ К.Н. Маловик. — Севастополь: СКУЯЭиП, 2013. — 360 с.
10. Аркадов Г. В., Гетман А. Ф., Маловик К. Н., Смирнов С. Б. Ресурс и надежность оборудования и трубопроводов АЭС: Учебн. пособие. — Севастополь: СКУЯЭиП, 2012. — 348 с.
11. ГКД 34.35.604-96. Техническое обслуживание устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110—750 кВ.
12. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28.01.1983, № 980. Введ. 01.07.1984.
13. МТ-Т.0.08.118-05. Методика статистического анализа надежности средств контроля и управления систем важных для безопасности АЭС.
14. ГОСТ 27.203-83. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности. Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 9.10.1983, № 4161. Введ. 01.07.1984.
15. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. — Увед.: 01.01.96. — К.: Госстандарт України, 1995. — 123 с.
16. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. Утв. Постановлением Комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 26.07.1996, № 429. Введ. 01.01.1997.
17. ПЛ-Д.0.08.126-04. Положения о порядке продления срока эксплуатации / службы оборудования систем важных для безопасности.
18. НП-017-2000. Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции.
19. НП. 306.5.02\2.068-2003. Требования к порядку и содержанию работ для продления срока эксплуатации информационных и управляющих систем важных для безопасности атомных электростанций.
20. ПНАЭ Г -7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов ЯЭУ. Утв. Государственным комитетом СССР по использованию атомной энергии, 1987. — 525 с.
21. ГОСТ 27.402-95. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Ч. 1. Экспоненциальное распределение. Утв. Постановлением Комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 26.07.1996. Введ. 01.01.1997.
22. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.12.87, № 4889. Введ. 01.01.89.
23. РД 26.260.004-91. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. Введ. 01.01.92. — 63 с.
24. РД 50-423-83. Методические указания. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. Утв. постановлением Государственного комитета СССР по стандартам, 1983.
25. ПНАЭ Г 2-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭУ. Утв. Государственным комитетом СССР по использованию атомной энергии, 1989.
26. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 05.10.1983, № 4768. Введ. 01.01.85. ■

*К. Маловик, керівник інституту нанотехнологій інформаційно-вимірвальних і спеціалізованих комп'ютеризованих систем в енергетиці, кандидат технічних наук, професор Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості (СКУЯЕтаП),
Ю. Каретна, асистент викладача, аспірант СКУЯЕтаП, м. Севастополь*