

**О. В. ЄФІМОВ, В. Л. КАВЕЦЕВ, А. В. ПОДОБІН, В. О. ДЯГІЛЄВ**

## **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ РЕМОНТІ АТОМНИХ ЕНЕРГООБЛОКІВ В СУЧАСНОМУ СВІТІ**

В останні роки стрімкий розвиток технологій, у тому числі робототехніки, цифрових систем та сучасних методів діагностики, дозволяє не тільки підвищувати якість ремонтних програм, але й скорочувати термін реалізації ремонту обладнання та прогнозувати ремонтні програми з використанням мінімального ризику для персоналу який задіяний в процесі ремонту. Одним з таких методів є методологія RCM (Reliability Centered Maintenance/ Технічне обслуговування, орієнтоване на надійність) яка дозволяє визначити вимоги по технічному обслуговуванню та ремонту кожного виробничого об'єкту в конкретній робочій ситуації і об'єднує найбільш ефективні методики в єдиний механізм управління, який допомагає визначити оптимальну, гнучку стратегію технічного обслуговування і ремонту-надалі ТОіР

**Ключові слова:** ремонтний цикл, контроль характеристик, надійність обладнання, RCM, технічний стан обладнання, оцінка технічного стану обладнання, енергообладнання, ТОіР, парогенератор, станційні трубопроводи, парова турбіна, турбогенератор, блоковий трансформатор, генераторні вимикачі.

### **Вступ**

Застосування методології RCM (Reliability Centered Maintenance/ Технічне обслуговування, орієнтоване на надійність) дозволяє ув'язати всі можливі сучасні методи обслуговування обладнання в єдиний механізм формування та оптимізації програми ТОіР, спрямованої на підтримку необхідного рівня надійності, а також забезпечення оптимальної вартості обслуговування та максимальної тривалості життєвого циклу виробничих активів.

Важливість RCM полягає в тому, що воно визнає вищу важливість наслідків відмов у порівнянні з технічними характеристиками. Приводом для виконання активного техобслуговування є не так попередження відмов як таких, але попередження або щонайменше «пом'якшення» їх наслідків, тобто ремонти практично проводяться «за фактом відмови», але проводяться вони не «на руїнах», а в самий останній момент, на поки що «живому» обладнанні.

### **Мета роботи**

Аналіз та удосконалення методів існуючих ремонтних циклів на основі системи RCM яка дозволяє ув'язати всі можливі сучасні методи обслуговування обладнання в єдиний механізм формування та оптимізації програми ТОіР

### **Викладення основного матеріалу. Визначення та основні функції системи RCM**

RCM – це систематизовані процедури визначення необхідних заходів, які гарантують, що будь-який виробничий об'єкт продовжуватиме виконувати ті функції, які необхідні власнику у поточній робочій ситуації.

Одним з основних завдань застосування RCM є створення структурованої бази знань про стан обладнання та процеси ТОіР. Важливість RCM полягає в тому, що воно визнає вищу важливість наслідків відмов у порівнянні з технічними характеристиками.

Приводом для виконання активного техобслуговування є не так попередження відмов як таких, але попередження або щонайменше

«пом'якшення» їх наслідків, тобто ремонти практично проводяться «за фактом відмови», але проводяться вони не «на руїнах», а в самий останній момент, на поки що «живому» обладнанні.

Обслуговування за надійністю (RCM) – це метод, використовуваний визначення набору впливів, які мають бути виконані у тому, щоб об'єкт продовжував виконувати свої виробничі функції, а обґрунтування вибору варіантів впливу: ТО, ремонт, реконструкція, заміна виробляється з історії устаткування.

Орієнтованість системи ТОіР на надійність означає структурування програми ТОіР на основі розуміння потреб та пріоритетів обладнання, а також обмежень за ресурсами (персонал та фінанси). ТОіР планується на будь-який період вперед, як правило, на рік, але в основі лежать не усереднені показники періодичності, а максимально можлива повна оцінка технічного стану конкретної одиниці техніки та оцінка ризиків, пов'язаних з ним.

У системі RCM гроші виділяються не так на ремонт, але в скорочення ризиків, що з кожної конкретної одиницею техніки. В основі успішного застосування RCM лежить адекватна, об'єктивна та всебічна оцінка технічного стану та ризику.

RCM зазвичай, розглядає наступні сім питань:

- Які функції об'єкта та стандартні технічні характеристики у існуючому операційному контексті?

- Яким чином об'єкт може відмовити, припинити виконувати свої функції?

- Які причини кожної функціональної відмови (що призводить до відмови)?

- Що відбувається у разі відмови (функції)?

- До яких наслідків приводить кожна відмова (чи є суттєві наслідки)?

- Чи можна зробити щось, щоб запобігти або спрогнозувати відмову чи несправність?

- Що робити, якщо запобігти чи спрогнозувати відмову не можна?

© Єфімов О.В., Каверцев В.Л., Подобін А.В., Дягілев В.О., 2024

RCM-підхід до організації ремонтів заснований на тому, що більшість дефектів, які можуть виникнути в процесі роботи обладнання, мають свої діагностичні ознаки та параметри, що інформують про те, що дефекти є, і здатні призвести до відмови роботи обладнання. Контроль та прогноз зміни параметрів, що діагностуються, дозволяє прогнозувати можливі несправності. Обслуговування за технічним станом передбачає, що з груп виробничих активів визначено контрольні параметри, значення яких заміряються у процесі моніторингу чи зняття показань датчиків. Для кожного контрольованого параметра прописані критичні точки, при досягненні яких потрібно розпочинати ремонтні роботи.

**Аналіз технічного стану обладнання**

Обладнання, що бере участь у технологічному процесі вироблення та передачі електричної та

теплової енергії, є основним елементом виробництва Енергоблоків, з метою визначення стану обладнання, ступеня його зносу та непридатності застосовують аналіз технічного стану обладнання. Технічний стан устаткування характеризується його фізичним і моральним зносом, рівнем застосування нової техніки, але це насамперед залежить від віку устаткування. Діагностика є процес визначення технічного стану обладнання в даний момент часу і заснована на застосуванні методів екстраполяції явищ на майбутній інтервал експлуатації за відомими результатами спостережень технічного стану за попередній період [1–9].

Безпека експлуатації основного енергетичного обладнання АЕС залежить від технічного стану основного й допоміжного устаткування та їх технологічної взаємодії [2–4].

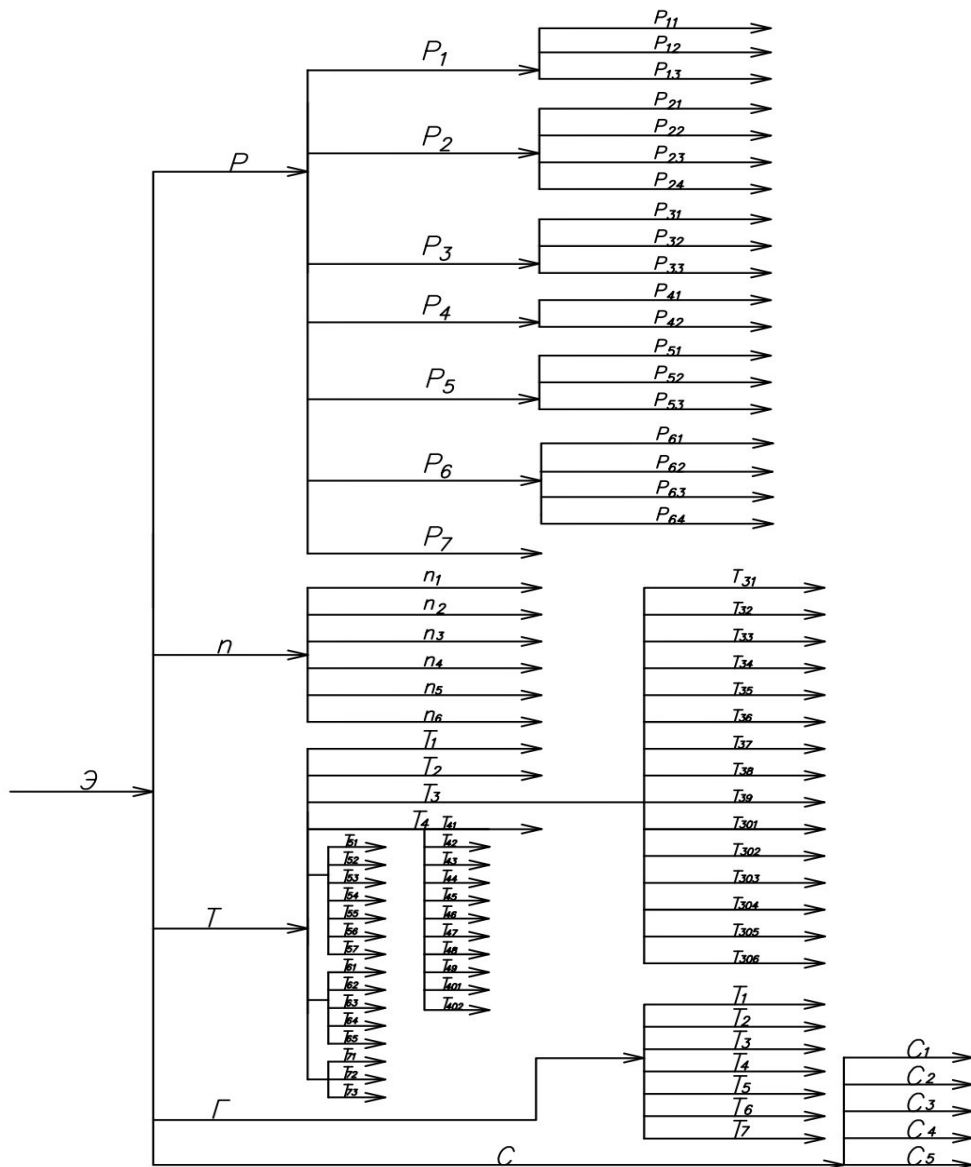


Рисунок 1– Структурна модель енергоблоку АЕС

На рис. 1 представлена структурна схема енергоблоку АЕС, яка включає в себе наступні складові:

- Енергоустановки в цілому (Е).
  - Реактор (Р), парогенератор (П), турбоагрегат (Т), генератор (Г), силові трансформатори (С).
  - Головний циркуляційний контур (Р1), теплообмінник САОЗ (Р2), спринклерна система (Р3), басейн витримки (Р4), вент-система (Р5), корпус реактора (Р6), система захисту та управління технологічними процесами (Р7);
  - Корпус парогенератора (П1), трубна система (П2), колектори (П3), всепараційні пристрій (П4), трубопроводи (П5), засувки (П6);
  - турбіна (Т1), конденсатор (Т2), система регенерації низького тиску (Т3), система регенерації високого тиску (Т4), сепаратор пароперегрівника (Т5), бойлерна установка (Т6), циркуляційна система (Т7);
  - власне генератор (Г1), збудник (Г2), системна система змащення (Г3), система охолодження (Г4), Газоохолоджувачі (Г5), трубопроводи зв'язку (Г6), арматура (Г7);
  - система охолодження (С1), електричні вивідні лінії (С2), опресовки (С3), система пожежогасіння (С4), система зливу та заповнення трансформатора маслом (С5).
- Трубопроводи в системі реактора (Р11), головні циркуляційні засувки (Р12), головний циркуляційний насос (Р13); корпус теплообмінника (Р21), електронагрівач (Р22), теплообмінник для охолодження води (Р23), засувки (Р24), насоси (Р33); система ТВЕЛів (Р41), насосна група (Р42), вентиляційна установка (Р51), зворотні і регулюючі клапани (Р52), теплообмінники для охолодження (Р53); внутрішньокорпусні пристрою реактора (Р61), робочі та захисні ТВЕЛі (Р62), система СУЗов (Р63), система регулювання концентрації бору (Р64); конденсатні насоси (Т31), клапан рециркуляції (Т32), ежектори (Т33), підігрівачі низького тиску (Т34), підігрівачі високого тиску (Т35), деаератор (Т36), живильний насос (Т37), трубопровід до живильного насоса (Т38), бустерний насос (Т39), охолоджувачі дренажів (Т301), трубопровід зв'язку (Т302), блокова знесолювальних установка (Т303), дренажні насоси (Т304), редуктори рівні конденсатора (Т305), засувки (Т306); турбоживильних насоси (Т41), бустерні насоси (Т42), турбіна приводная (Т43), підігрівачі високого тиску (Т44), охолоджувач дренажів (Т45), трубопроводи зв'язку основного конденсатора (Т46), трубопроводи зв'язку дренажів (Т47), арматура запірна (Т48), клапан рециркуляції (Т49), дренажів баки (Т401), насоси перекачування дренажу (Т402); корпус сепаратора-пароперегрівача (Т51), модулі трубої системи (Т52), дренажні насоси (Т53), клапани (Т54), трубопроводи зв'язку (Т55), дренажів трубопроводи (Т56);
- подогреватель мережної води (Т61), насоси мережної води (Т62), трубопроводи (Т63), арматура запірна (Т64), насоси дренажні (Т65);

– насоси циркуляційної системи (Т71), арматура запірна (Т72), система очищення конденсату (Т173).

При підготовці рішення про можливість та доцільність подальшої експлуатації основного обладнання та його складових частин необхідно використовувати наведену інтегральну класифікаційну бальну оцінку технічного стану обладнання, що діагностується. [6].

#### **Бальна оцінка технічного стану обладнання**

Бал Технічний стан обладнання що діагностується, подальша експлуатація обладнання та прогнозна оцінка (глибина прогнозу) наведена нижче:

1. Справне на момент контролю, але може перейти в несправне поза межами глибини прогнозу (6 тис. год. або 1 року) Допустима в межах 6 тис. год. або 1 рік Контроль технічного стану та/або проведення відновлювальних робіт не пізніше ніж через 6 тис. год. год або 1 рік роботи

2. Справне на момент контролю, але може перейти в несправне поза межами глибини прогнозу (15 тис. год. або 2 роки) Допустима в межах 15 тис. год. або 2 роки Контроль технічного стану та/або проведення відновлювальних робіт не пізніше ніж через 15 тис. год. год або 2 роки роботи

3. Справне на момент контролю, але може перейти в несправне поза межами глибини прогнозу (20 тис. год. або 3 роки) Допустима в межах 20 тис. год. або 3 років Контроль технічного стану та/або проведення відновлювальних робіт не пізніше ніж через 20 тис. год. год або 3 роки роботи

4. Справне на момент контролю, але може перейти в несправне поза межами глибини прогнозу (25 тис. год. або 4 років) Допустима в межах 25 тис. год. або 4 років Контроль технічного стану та/або проведення відновлювальних робіт не пізніше ніж через 25 тис. год. год або 4 роки роботи

5. Справне Допустима в межах 50 тис. год. або 8 років Контроль технічного стану не пізніше ніж через 50 тис. год. або 8 років роботи.

#### **Прогнозованими діагностичними параметрами можуть бути:**

– Експлуатаційні параметри, що вимірюються штатними приладами автоматичної системи управління технологічним процесом (АСК ТП), при цьому застосовується функціональна діагностика без виведення обладнання з експлуатації;

– параметри технічного стану, що вимірюються переносними приладами із зупинкою обладнання та/або частковим розбиранням.

Розрізняють такі основні напрями прогнозування:

– **експертні оцінки**, коли думки експертів щодо майбутнього стану обладнання збирають шляхом

опитування або анкетування, оброблюються та отримують прогноз.

- **аналітичний**, коли в результаті прогнозування визначається величина контрольованого параметра (параметрів), що характеризує технічний стан об'єкта у часі;

- **ймовірнісний**, коли в результаті прогнозування визначається ймовірність виходу (невиходу) параметра (параметрів) технічного стану за допустимі межі;

- **статистична класифікація** (розпізнавання образів), коли в результаті прогнозування визначається клас об'єкта, що діагностується, за критерієм працездатності.

Вихідними для проведення діагностики та прогнозування за будь-яким з методів є історія вимірювання параметрів у часі. Якщо інтервали між вимірами рівні, такий ряд вимірів називають тимчасовим. Деякі методи прогнозування вимагають, щоб ряд був саме тимчасовим – без перепусток значень з однаковими інтервалами часу. Більшість факторів, що впливають на надійність обладнання Енергоблоків, є випадковими, тому багато параметрів надійності мають ймовірнісний характер і для їх визначення використовується математичний апарат теорії ймовірностей та математичної статистики. Діагностику обладнання АЕС слід починати з визначення елементів устаткування, що найчастіше ушкоджуються і/або становлять найбільшу небезпеку, та їх вразливих зон. Ці елементи та вразливі зони встановлюються на основі досвіду експлуатації та/або аналізу напруженого стану та режимів експлуатації обладнання. В основному потенційно небезпечні елементи та їх уразливі зони для більшості технічних пристроїв Енергоблоків відомі. Для багатьох з них розроблено методи, порядок проведення та норми діагностики, детально описані у чинних нормативних документах [1, 7, 8, 9].

**Технічна експертиза** - це комплекс заходів, що проводяться з метою аналізу та оцінки стану обладнання та запобігання його несподіваному виходу з ладу. Технічна експертиза показує, наскільки обладнання відповідає встановленим нормам, що дозволяє визначити термін служби обладнання, можливість його продовження. При цьому визначається відповідність параметрів нормованим значенням місця і причини поломки обладнання, а також додатковий ресурс експлуатації до наступної експертизи або до виходу в ремонт або списання. Крім того, оцінюється потенційна безпека експлуатації обладнання.

**Устаткування підлягає експертизі у випадках:**

- відпрацювання встановленого автором проекту чи підприємством-виробником ресурсу експлуатації;

- відсутності встановленого ресурсу та перебування в експлуатації 20 років та більше;

- відсутності встановленого ресурсу та накопичення за час роботи 1000 та більше циклів малоциклових навантажень;

- тимчасового знаходження під впливом параметрів, які перевищують зазначені в технічних умовах (наприклад, під час пожежі чи аварії, зміни складу робочого середовища тощо);

- потреби перевірки додаткового чи залишкового ресурсу;

- виконання ремонту чи реконструкції, пов'язаних із відновленням елементів, що працюють під тиском;

- на вимогу органів Держтехнагляду.

**У процесі технічної експертизи устаткування вирішуються такі питання:**

- визначається стан відповідності параметрів технічного стану обладнання нормованим значенням;

- визначаються місця та причини псування обладнання;

- визначається додатковий ресурс експлуатації обладнання до наступної експертизи або ресурс експлуатації обладнання до виходу в ремонт або списання;

- оцінюється безпека експлуатації обладнання.

За результатами технічного діагностування та випробування обладнання приймаються рішення щодо відповідності обладнання заданим нормам та проектним даним, а також, за необхідності, про величину залишкового ресурсу обладнання. У тому випадку, коли обладнання, яке зазнавало експертизи, не відповідає зазначеним у технічній документації нормам, визначається обсяг ремонтно-відновлювальних робіт, після виконання яких може бути проведено повторне технічне діагностування обладнання. Для визначення оптимального графіка виведення в ремонт та скорочення необґрунтованих простоїв періодичності, необхідний збір усієї експлуатаційної інформації, тобто дані щодо відмов та їх усунення. Аналізуючи цю інформацію та згідно з нормативами, формується періодичність робіт з ТОіР.

**Система пріоритетів при плануванні робіт по ОіР.** Наявність пріоритетів є однією з необхідних умов ефективного функціонування системи планування технічного обслуговування та ремонту обладнання.

Максимальний пріоритет мають роботи з виконання приписів контролюючих та інспектуючих організацій, діагностики, технічного обслуговування та ремонту обладнання.

**При визначенні пріоритетності робіт повинні використовуватися такі категорії пріоритетів у порядку зменшення значущості:**

- **безпека** – заходи, спрямовані на виконання розпоряджень Державних органів нагляду, охорону праці, підтримання безпеки обладнання, екологічної безпеки, виконання вимог нормативно-технічної

документації (НТД);

- **живість** – виконання заходів, спрямованих на забезпечення роботи електростанції.

- **надійність** – виконання заходів, спрямованих на забезпечення роботи енергоблоку.

- **економічність** – виконання заходів, спрямованих на забезпечення техніко-економічних показників роботи обладнання.

- **інше** – роботи, які не потрапляють до попередніх категорій визначення пріоритетів відповідно до НТД.

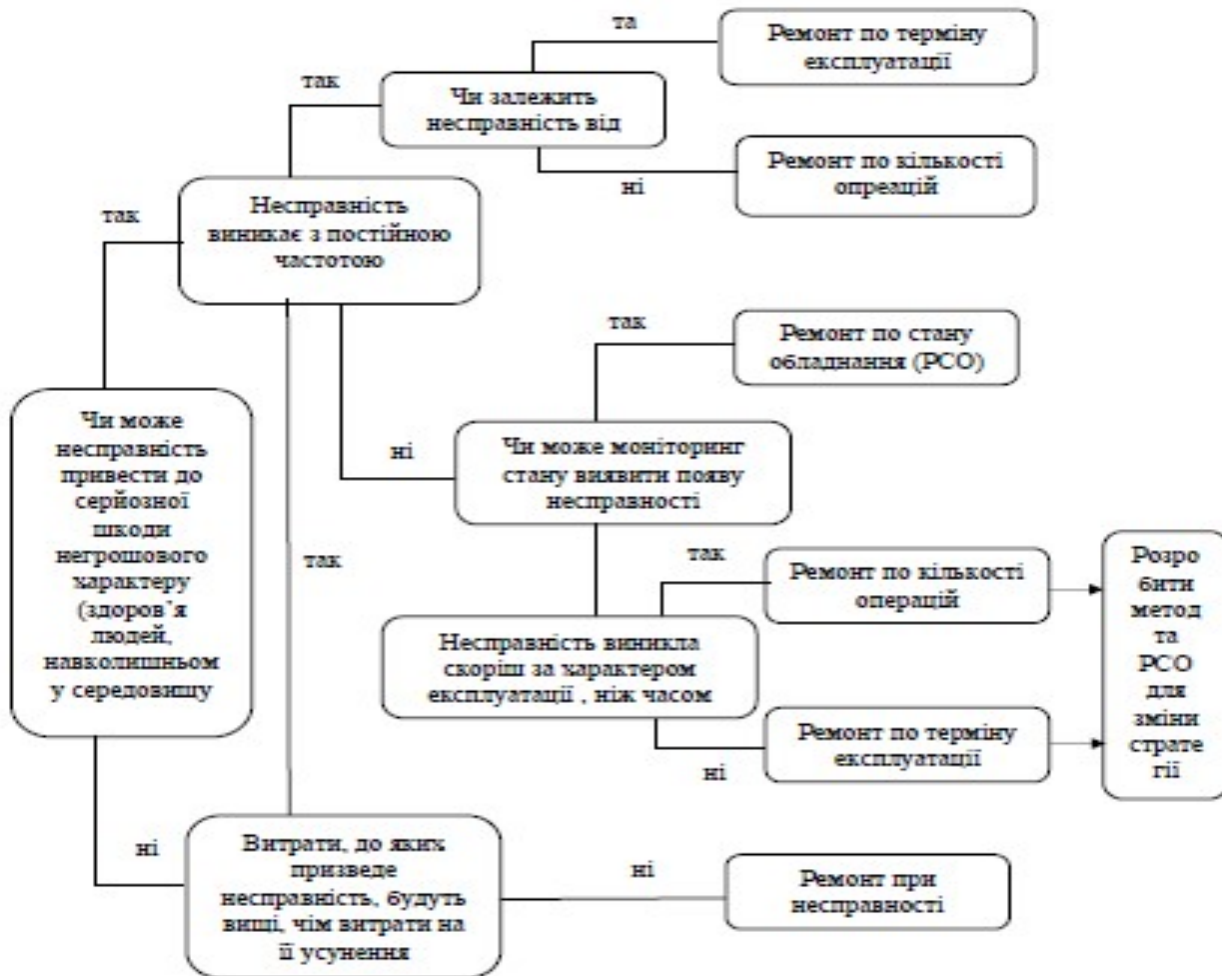


Рисунок 2 – Логічна блок-схема RCM-підходу

Під «живучістю» розуміють властивість об'єкта, що полягає в його здатності протистояти розвитку критичних відмов через дефекти та пошкодження при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту, або властивість об'єкта зберігати обмежену працездатність при впливах, не передбачених умовами експлуатації, або властивість об'єкта зберігати обмежену працездатність при наявності дефектів або пошкоджень певного виду, а також при відмові деяких компонентів.

Під «надійністю» розуміють властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах

значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

**Прогнозування технічного стану обладнання.**

Для виявлення механізмів виникнення ушкоджень повинні використовуватися всі відомості, одержані безперервною, періодичною діагностикою та експертизою технічного стану обладнання. Залежно від обсягу та характеру наявних вихідних даних для прогнозування залишкового ресурсу можуть застосовуватися статистичні чи

екстраполяційні методи. Вид математичної моделі для прогнозування вибирається, виходячи з виду переважаючого механізму руйнування, рівня та характеру навантажень, вихідними даними визначення залишкового ресурсу елементів устаткування є:

- умови експлуатації за весь попередній термін служби (фактична температура, напруження за всі роки експлуатації, коливання тиску та кількість пусків із різних теплових станів);

- геометричні розміри елементів енергообладнання та динаміка їх змін за попередній термін служби;

- механічні та жароміцні властивості тривалої роботи металу, структурний стан і структурно-фазовий стан металу, мікроушкодження на момент продовження терміну його служби;

- результати дефектоскопічного контролю;

- наявність та глибина корозійних виразок та інших дефектів, швидкість корозії, кількість відкладень;

- інші додаткові дані, характерні для конкретного елемента обладнання

За підсумками аналізу вихідних даних, і результатів розрахункової оцінки ресурсу виробляється інтегральна класифікаційна оцінка з урахуванням результатів проведеної оцінки ризику експлуатації обладнання виконується коригування зробленого прогнозу [7-9].

#### **Система планування робіт з технічного обслуговування.**

Враховуючи першочерговість забезпечення високої надійності роботи обладнання, особливе значення має раціональне планування профілактичних робіт з ТО та підвищення надійності. Планування робіт з ТО має забезпечувати високопродуктивне використання робочого дня за всієї різноманітності робіт і складності умов, у яких вони проводяться, т. е. необхідно забезпечити мінімум витрат часу й ресурсів, кожна з робіт має бути пов'язана з певними термінами виконання, зумовленими неоднаковою інтенсивністю експлуатації обладнання, його фактичним технічним станом, по кожному виду обладнання мають бути передбачені групи робіт, що виконуються з різною періодичністю.

Дати їх виконання повинні встановлюватись планом-графі кому процесу ТО. Плани-графіки повинні складатися з урахуванням раціонального поєднання окремих видів робіт, місцевих умов тощо, роботи, що включаються в план-графік, повинні плануватися таким чином, щоб проміжки часу між одними і тими ж роботами були рівними і не перевищували встановленої періодичності, а роботи, технологічно пов'язані між собою, виконувались одночасно.

Для складання нормованих графіків технічного обслуговування обладнання повинні застосовуватись затверджені типові норми часу, а за відсутності типових норм часу на окремі види робіт допускається

встановлювати місцеві норми, що затверджуються в установленому порядку. Для виконання окремих робіт із застосуванням засобів механізації або залученням висококваліфікованих працівників можуть бути створені спеціалізовані бригади, які працюють за окремим графіком, що затверджується керівництвом ТЕС з урахуванням переліку та періодичності виконуваних робіт, передбачених інструкцією з технічного обслуговування. З урахуванням великої невизначеності робіт та умов їх виконання планування ведуть поетапно: річне (план-графік робіт на рік і чотиритижневий план-графік технологічного процесу) та оперативне. Такий підхід забезпечує послідовне наближення до кінцевого плану шляхом поетапного розподілу робіт у часі зі зростаючою точністю. Річне планування забезпечує облік всього відомого заздалегідь обсягу робіт та його раціональний розподіл. Оперативне планування дозволяє раціонально розподіляти запланований обсяг робіт відповідно до умов, що змінюються в поточному місяці. Воно передбачає складання та коригування оперативного плану, взаємопов'язаного з річним та чотиритижневим планами-графіками. Крім того, оперативний план раціонально розподіляє невідомий заздалегідь обсяг робіт на додаток до робіт місячного плану-графіка. Методика планування зводиться до складання трьох взаємозалежних планів: плану-графіка робіт на рік, місячного плану-графіка та оперативного плану роботи на місяць.

#### **Висновки**

Модель підходу RCM визначення та планування ТОiP обладнання включає новітній підхід до надійності загальної моделі опрацювання усіх етапів аналізу та прийому рішень щодо пріоритетів ремонтних циклів. При використанні даної моделі можливо суттєво знизити ризики виходу зі строю як окремого обладнання, так і загальної групи основного та допоміжного обладнання в цілому, а також знизити вартість ремонтних програм та термін їх реалізації.

#### **Список літератури**

1. Галузевий керівний документ (ГКД 34.20.661-2003) «Правила організації технічного обслуговування та ремонту обладнання, будівель і споруд електростанцій та мереж». Міністерство палива та енергетики України 2004.
2. Yefimov O.V. Reactors and steam-generators of NPP power units: schemes, processes, materials, constructions, models / O.V. Yefimov, M.M. Pylypenko, T.V. Ponanina, T.A. Harkusha. / Kharkiv: – “V Spravi” – 2017. – 420 p. (Ukr)
3. ГКД 34.20.661-2003 Правила організації технічного обслуговування та ремонту обладнання будівель і споруд електростанцій та мереж (в редакції наказу від 15.03.2019 № 124) ДП «Львівське конструкторське бюро» 2019р.
4. O. Yefimov, M. Pylypenko, T. Potanina, at al. Materials and decision support systems in the nuclear power industry.

- LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020, 135 p.
5. Енергетика. Історія, сучасність і майбутнє. Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем / К.Б. Денісевич, Ю.О.Ландау, В.О. Нейман, В.М. Сулейманов, Б.А.Шіляєв. – К, 2013, 304 с.
  6. Russell Rhinehart R. Nonlinear Regression Modeling for Engineering Applications. Modeling, Model Validation, and Enabling Design of Experiments. John Wiley & Sons Limited, 2016. 403 p.
  7. Report on the state of nuclear and radiation safety in Ukraine in 2017. – URL: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document/id=389980>. (Ukr)
  8. Report on the state of nuclear and radiation safety in Ukraine in 2017. – URL: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document/id=389980>. (Ukr)
  9. Стратегія розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2035 року. [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=99111](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=99111)
  3. GKD 34.20.661-2003 Pravila organizacii tehnicnogo obslugovuvannja ta remontu obladnannja budivel' i sporud elektrostancij ta merezh (v redakcii nakazu vid 15.03.2019 № 124) DP «L'vivs'ke konstruktors'ke bjuro» 2019r.
  4. O. Yefimov, M. Pylypenko, T. Potanina, et al. Materials and decision support systems in the nuclear power industry. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020, 135 p.
  5. Energetika. Istorija, suchasnist' i majbutne. Rozvitok atomnoi energetiki ta ob'ednanih energosistem / K.B. Denisevich, Ju.O.Landau, V.O. Nejman, V.M. Sulejmanov, B.A.Shiljaev. – K, 2013, 304 s.
  6. Russell Rhinehart R. Nonlinear Regression Modeling for Engineering Applications. Modeling, Model Validation, and Enabling Design of Experiments. John Wiley & Sons Limited, 2016. 403 p.
  7. Report on the state of nuclear and radiation safety in Ukraine in 2017. – URL: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document/id=389980>. (Ukr)
  8. Report on the state of nuclear and radiation safety in Ukraine in 2017. – URL: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document/id=389980>. (Ukr)
  9. Стратегія розвитку паливно-енергетичного комплексу України до 2035 року. [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=99111](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=99111)

#### References (transliterated)

1. Galuzevij kerivnij dokument (GKD 34.20.661-2003) «Pravila organizacii tehnicnogo obslugovuvannja ta remontu obladnannja, budivel' i sporud elektrostancij ta merezh». Ministerstvo paliva ta energetiki Ukraїni 2004.
2. Yefimov O.V. Reactors and steam-generators of NPP power units: schemes, processes, materials, constructions, models / O.V. Yefimov, M.M. Pylypenko, T.V. Ponanina, T.A. Harkusha. / Kharkiv: – “V Spravi” – 2017. – 420 p. (Ukr)

Надійшла (received) 19.10.2024

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Єфімов Олександр Вячеславович (Yefimov Olexandr)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: AVEfimov22@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3300-7447>.

**Кавертцев Валерій Леонідович (Kavertsev Valerii)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: kavertseff@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9472-1658>.

**Подобін Андрій Васильович (Podobin Andriy)** – аспірант кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [IPodobin.ua@gmail.com](mailto:IPodobin.ua@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/my-orkid?orcid=0009-0007-3361-8527>

**Вадим Дягілев (Vadym Diaghilev)** – аспірант кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [dyaga.v@gmail.com](mailto:dyaga.v@gmail.com), orcid 0000-0001-6823-7221

**O. V. YEFIMOV, V. L. KAVERTSEV, A. V. PODOBIN, V. O. DIAGHIYEV**

#### INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN REPAIR OF NUCLEAR POWER UNITS IN THE MODERN WORLD

In recent years, the rapid development of technologies, including robotics, digital systems and modern diagnostic methods, allows not only to improve the quality of repair programs, but also to reduce the time for equipment repair and to predict repair programs with minimal risk to personnel involved in the repair process. One of these methods is the RCM (Reliability Centered Maintenance) methodology, which allows you to determine the requirements for maintenance and repair of each production facility in a specific operating situation and combines the most effective methods into a single management mechanism that helps determine the optimal, flexible maintenance and repair strategy - hereinafter referred to as TOiP.

**Keywords:** repair cycle, performance control, equipment reliability, RCM, technical condition of equipment, assessment of the technical condition of equipment, power equipment, TOiP, steam generator, station pipelines, steam turbine, turbogenerator, block transformer, generator circuit breakers.