

# Розробка вимог до використання імовірнісних методів для оптимізації технічного обслуговування та ремонтів обладнання

*Об'єктом дослідження є використання ризик-орієнтованих підходів (РОП) у регулюючій діяльності та експлуатації АЕС України, а саме оптимізація технічного обслуговування і ремонтів (ТОіР) з використанням імовірнісних методів. Наведено основні принципи та вимоги до оптимізації ТОіР з використанням РОП.*

А.И. Бережной, А. Е. Севбо, И.А. Семенюк

## Разработка требований к использованию вероятностных методов для оптимизации технического обслуживания и ремонтов оборудования

*Объектом исследования является использование риск-ориентированных подходов (РОП) в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины, в частности оптимизация технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) с использованием вероятностных методов. В статье представлены основные принципы и требования к оптимизации ТОиР с использованием РОП.*

**Р**изик-орієнтовані методи аналізу безпеки органічно доповнюють традиційні детерміністичні методи оцінки та обґрунтування безпеки енергоблоків АЕС. Особливістю цих методів є те, що вони дозволяють одержати кількісну оцінку рівня безпеки, використовують системний підхід при ідентифікації аварійних сценаріїв широкого спектра можливих інцидентів та аварій і включають реалістичні оцінки частот вихідних подій та їх наслідків.

Впровадження ризик-орієнтованих методів в регуляторну діяльність та експлуатацію атомних електростанцій (далі — АЕС) повинно базуватися на системі нормативно-методологічних та технічних документів. Одним з документів, що входить до цієї системи, є документ, що містить вимоги до використання імовірнісних методів для оптимізації технічного обслуговування і ремонтів обладнання (далі — ТОіР) та може використовуватись як для проведення експертизи відповідних матеріалів з оптимізації ТОіР, так і для визначення конкретних заходів з оптимізації ТОіР обладнання АЕС. Такий документ — «Вимоги до використання імовірнісних методів для оптимізації технічного обслуговування та ремонтів обладнання» — було розроблено фахівцями ВП «Бюро аналітичних досліджень безпеки АЕС» ДНТЦ ЯРБ у рамках міжнародного співробітництва з Комісією ядерного регулювання США. Розроблений документ встановлює: вимоги до імовірнісного аналізу безпеки (далі — ІАБ), що використовуються при роботах з оптимізації ТОіР; вимоги до категоризації систем та обладнання; вимоги до моделювання об'єктів оптимізації.

## 1. Загальні відомості

Документ «Вимоги до використання імовірнісних методів для оптимізації технічного обслуговування та ремонтів обладнання» розроблено на підставі рішення колегії Державного комітету ядерного регулювання України від 13.11.2001 № 9 «З питань застосування оцінки ризиків в регулюванні безпеки ядерних установок» [1] та Програми ризик-орієнтованих підходів (РОП) [2].

Документ встановлює загальні вимоги щодо використання імовірнісних методів для оптимізації ТОіР обладнання АЕС. Оптимізацію спрямовано на ефективне та своєчасне використання матеріально-технічних ресурсів при виконанні ТОіР. Документ містить вимоги до ІАБ, що використовується для цілей оптимізації ТОіР, основні принципи та вимоги до процесу оптимізації ТОіР і враховує досвід як вітчизняних досліджень [4], так і міжнародний досвід [6], [8].

Вимоги документа поширюються на діяльність з використання оцінок ризику в регулюванні безпеки ядерних установок та експлуатації енергоблоків АЕС. Документ може використовуватись для проведення експертизи матеріалів із застосування імовірнісних методів аналізу для цілей підвищення безпеки та для допомоги при прийнятті регулюючих рішень.

Документ пов'язаний тільки з оптимізацією ТОіР шляхом застосування імовірнісних методів. Оптимізація ТОіР відносно таких чинників, як вироблення електроенергії, експлуатація енергоблока, вартість реалізації заходу тощо не є предметом детального розгляду цього документа.

## 2. Основні принципи та вимоги

Головні ідеї та концепції оптимізації ТОіР із застосуванням РОП полягають [6]:

у визначенні систем, обладнання, конструкцій (СОК) для програми оптимізації, їх категоризації за значимістю щодо безпеки з метою раціонального використання ресурсів;

оцінюванні ефективності виконання оптимізації ТОіР шляхом використання певних критеріїв, для яких необхідні визначити належні значення;

орієнтуванні ефективної програми ТОіР не тільки на випадкові, але й на потенційні відмови обладнання, які можуть виникати внаслідок діяльності, пов'язаної з ТОіР; врахуванні внеску до безпеки АЕС обладнання, яке виведено в ТОіР;

врахуванні ефективною програмою ТОіР співвідношення між готовністю обладнання та рівнем його надійності; врахуванні галузевого та міжнародного досвіду експлуатації; періодичності оцінювання ефективності програми оптимізації ТОіР;

залучанні до робіт з реалізації програми оптимізації ТОіР персоналу, який пройшов відповідну підготовку.

Виходячи з наведеного, діяльність щодо оптимізації ТОіР із застосуванням ІАБ повинна містити такі етапи:

категоризація систем і обладнання АЕС відповідно до їх значимості для безпеки. Оцінка впливу обладнання і систем на безпеку енергоблока має виконуватись як на якісному, так і на кількісному рівні з використанням ІАБ, як показано в розділі 4;

визначення систем і обладнання, для яких буде виконана оптимізація ТОіР. Даний перелік визначається досвідом ТОіР на атомній станції, результатами роботи з категоризації обладнання, а також наявністю необхідних вихідних даних для оцінки технічного стану конкретних видів обладнання;

вибір методології, технології й засобу оптимізації ТОіР для кожної одиниці (групи, системи) обладнання, визначеного для оптимізації; збирання даних для обґрунтування оптимізації ТОіР (характер і номенклатура даних визначаються обраним методом оптимізації);

моделювання об'єктів оптимізації — модифікацію моделі ІАБ, яка визначається специфікою конкретних завдань оптимізації ТОіР. Дана модифікація дозволить застосовувати ІАБ для оцінки адекватності ТОіР і визначення можливості зміни обсягів ТОіР. Вимоги до моделювання ІАБ для оптимізації ТОіР наведені в розділі 5;

розробку і впровадження технічних рішень з оптимізації ТОіР;

оцінку ефективності виконання програми оптимізації ТОіР.

ІАБ, що використовується для робіт з оптимізації ТОіР, має відповідати загальним вимогам щодо технічної якості [3]. Допускається використання ІАБ, розробленого для іншого енергоблока. В цьому випадку обов'язковим є наведення обґрунтування прийнятності застосування матеріалів ІАБ іншого енергоблока та додаткові аналізи (при необхідності), обумовлені відмінностями між енергоблоками.

Застосування ІАБ не виключає можливості паралельно застосування інших методів: детерміністичних, експертних оцінок та інших.

### 3. Вимоги до імовірнісних аналізів безпеки

ІАБ, що використовується для цілей оптимізації ТОіР, повинен задовольняти вимогам щодо обсягу, рівня деталізації та технічної якості [8], [9]. Фундаментальною є така вимога: ІАБ має реалістично відбивати існуючий проект, діючу експлуатаційну практику і накопичений досвід експлуатації енергоблока. Далі наведено загальні вимоги до тех-

нічної якості ІАБ, які складаються з декількох технічних елементів (ТЕ). ІАБ, у якому немає одного чи більше з перерахованих нижче ТЕ, не є прийнятним і фактично не може розцінюватись як ІАБ.

**ІАБ 1-го рівня** повинен складатися з таких ТЕ.

**“Аналіз вихідних подій аварій”.** У рамках даного ТЕ ідентифікують і аналізують внутрішні події, що порушують нормальну експлуатацію енергоблока (при роботі на потужності чи в умовах зупину), вимагають успішних відповідних дій персоналу і роботи обладнання із запобігання пошкодженням активної зони. Ідентифікують і описують характеристики подій, що відбувалися на енергоблоці, а також події з обґрунтованою імовірністю виникнення. Для зменшення кількості аналізованих подій може бути виконаний аналіз природи подій з наступним об'єднанням кількох подій у класи за належністю до однакових систем і подібністю відповідної реакції систем енергоблока. Профіль ризику може бути неповним або спотвореним у разі, якщо важливі вихідні події аварій будуть пропущені або некоректно включені до груп вихідних подій аварій (ВПА).

**“Аналіз даних”.** У рамках даного ТЕ розраховуються імовірності відмов обладнання і неготовність обладнання систем, які моделюються. В процесі оцінки використовується механізм аналізу невизначеностей, що дозволяє логічно послідовно поєднувати різні джерела даних і представляти досвід експлуатації енергоблока, при необхідності використовувати дані з узагальнених джерел.

**“Аналіз залежних відмов”.** Аналіз залежних відмов виконується з метою отримання інформації із залежностей, які використовуються в інших елементах ІАБ, а також для перевірки коректного урахування всіх можливих залежностей. Адекватне моделювання залежностей є важливою складовою частиною ІАБ. Усі залежності, включаючи приховані, повинні бути змодельовані або в явному вигляді, або враховані шляхом розглядання відмов за загальними причинами. Фізичні залежності, викликані просторовими взаємодіями та зовнішніми екстремальними подіями, в рамках ІАБ 1-го рівня не розглядаються.

**“Системний аналіз”.** У процесі аналізу систем ідентифікують різні комбінації відмов, що перешкоджають виконанню функцій системи. Імовірнісна модель системи являє собою різні комбінації відмов технологічного обладнання, засобів виміру і керування, а також події з помилками персоналу, які можуть перешкоджати виконанню системою необхідної функції. Базові події, що представляють обладнання і помилки персоналу, наводять у моделі з достатнім рівнем деталізації, що дає змогу враховувати залежності між різними системами, а також розрізняти специфічне обладнання чи помилки персоналу, котрі мають максимальний вплив на здатність системи виконувати призначену функцію.

**“Аналіз критеріїв успіху”.** Аналіз критеріїв успіху виконується з метою встановлення для кожної ВПА мінімального набору систем, що дозволять успішно реалізовувати функції безпеки в умовах даного ВПА, і насамкінець досягти безпечного стабільного стану, що запобігає пошкодженню активної зони чи радіоактивному викиду. Для цієї мети застосовуються теплогідрравлічні розрахунки, які імітують хід розвитку аварійної послідовності, а також інші засоби оцінки. У критеріях успіху враховуються часові характеристики відповідної реакції систем, обладнання і дій персоналу.

**“Аналіз аварійних послідовностей”.** У хронологічному порядку моделюються різні варіанти розвитку вихідних подій починаючи від моменту виникнення і закінчуючи успішним

заглушенням аварії чи пошкодженням активної зони. В аварійних послідовностях (АП) представляють системи і дії персоналу, що використовуються (і доступні) для пом'якшення протікання ВПА відповідно до критеріїв успіху та інструкцій з ліквідації аварій. Працездатність систем моделюється з урахуванням функціональних, феноменологічних та експлуатаційних залежностей і взаємодій між різними системами і діями персоналу в ході розвитку аварії.

**“Аналіз надійності персоналу”.** Даний ТЕ розробляється для ідентифікації та оцінки ймовірностей базових подій типу взаємодії людина — система. Розглядаються дії персоналу двох типів: доаварійні, пов'язані з виконанням випробування, обслуговування, калібрування, і післяаварійні, що представляють відповідні дії на порушення в роботі енергоблока. Рівень деталізації аналізу надійності персоналу має бути достатнім для можливості моделювання ефектів від змін станційних процедур та інструкцій.

**“Інтеграція моделі і кількісна оцінка частоти пошкодження активної зони”** (далі — ЧПАЗ). Метою ТЕ є розробка інтегрованої ймовірнісної моделі енергоблока для оцінки ЧПАЗ. Всі розроблені системні моделі та моделі аварійних послідовностей об'єднуються в комплексну логічну структуру ймовірнісного аналізу безпеки. Виконується кількісна оцінка ЧПАЗ, яка є сумою розрахованих частот для всіх АП, що призводять до пошкодження активної зони.

**“Аналіз та інтерпретація результатів”.** Аналіз та інтерпретація результатів ІАБ потрібні для виявлення і розуміння тих аспектів проекту та експлуатації енергоблока, що впливають на величину ризику. Щоб забезпечити досягнення цієї мети, виконуються: аналіз невизначеностей ЧПАЗ; аналіз чутливості щодо припущень і спрощень у ІАБ; розрахунок мір значимості, необхідних для ідентифікації всіх потенційних слабких місць енергоблока.

**ІАБ 2-го рівня** повинен складатися з таких ТЕ.

**“Інтерфейс між ІАБ 1-го та 2-го рівнів”.** Встановлюються взаємозв'язки між діяльністю в рамках ІАБ 1-го та 2-го рівнів за допомогою переведення аварійних послідовностей ІАБ 1-го рівня в стани пошкодження енергоблока (СПЕ). Внаслідок аналізу станів пошкодження, сценарії з однаковими станами пошкодження активної зони групуються, що дозволяє практично оцінювати розвиток важких аварій і поведіння герметичної оболонки (ГО), які є результатом повного спектра аварійних послідовностей, визначених у ІАБ 1-го рівня.

**“Аналіз міцнісних характеристик гермооб'єму (ГО)”.** Виконується оцінка міцності і видів відмов ГО. Важливою частиною ІАБ 2-го рівня є оцінка здатності ГО витримувати високі тиски і температури, спричинені аварійними навантажувальними умовами. У рамках даного ТЕ також розглядаються структурні аспекти таких видів відмов, як прямий байпас і відмова ізоляції ГО.

**“Аналіз розвитку важких аварій”.** Виконується аналіз розвитку важких аварій та моделюються послідовності подій, що впливають на цілісність ГО, для сценаріїв СПЕ. У ході розвитку аварій враховуються взаємодії між феноменологією важких аварій та відповідною реакцією систем і діями персоналу щодо ідентифікації ймовірних видів відмов ГО, включаючи відмови ізоляції ГО.

**“Кількісна оцінка, аналіз та інтерпретація результатів”.** Метою ТЕ є розробка інтегрованої ймовірнісної моделі розвитку аварії та виконання кількісної оцінки частоти граничного аварійного викиду (ЧГАВ). Аналіз та інтерпретація результатів ІАБ 2-го рівня виконуються для виявлення і розуміння тих аспектів проекту та експлуатації енер-

гоблока, що впливають на величину ризику. Інтерпретація результатів включає аналіз результатів розрахунку мір значимості для ідентифікації внесків різних подій у ЧГАВ. Ідентифікуються джерела невизначеності та аналізується їхній вплив на результати. Чутливість результатів моделі до граничних умов та інших ключових допущень оцінюється за допомогою аналізу чутливості. Аналіз ключових допущень проводиться як індивідуально, так і в логічних комбінаціях. Комбінації для аналізу відбираються з метою повного обліку взаємодій між змінними аналізу.

**ІАБ внутрішніх екстремальних подій** повинен складатися з таких ТЕ.

**“Ідентифікація внутрішніх екстремальних подій”.** Мінімальний обсяг розгляду включає внутрішні пожежі та внутрішні затоплення. У рамках цього ТЕ визначаються зони енергоблока, в яких пожежі (затоплення) можуть призводити до потенційно високого ризику. Зони визначаються на підставі фізичних бар'єрів, шляхів поширення та можливостей припинення пожеж (затоплення). Виконується кількісна оцінка частот вихідних подій, ініційованих пожежами (затопленнями), які відбивають проектні та експлуатаційні характеристики, а також досвід експлуатації енергоблока.

**“Аналіз розвитку внутрішніх екстремальних подій”.** У рамках цього ТЕ ідентифікують та моделюють потенційні сценарії розвитку внутрішніх екстремальних подій, враховуючи особливості систем, обладнання і конструкцій енергоблока або дії персоналу щодо припинення пожеж (затоплень). Перевіряється уразливість кожної системи, обладнання й конструкції до механізмів відмов внаслідок пожеж (затоплень), наприклад впливу вогню і продуктів горіння, або підтоплення, забризкування, биття трубопроводу, ударний струмінь. На підставі сценаріїв розробляються аварійні послідовності, ініційовані внутрішніми екстремальними подіями.

**“Інтеграція моделі і кількісна оцінка ЧПАЗ внаслідок внутрішніх екстремальних подій”.** Ймовірнісні моделі, розроблені в рамках ІАБ 1-го рівня, модифікуються для врахування відмов внаслідок пожеж (затоплень), при необхідності розробляються нові дерева подій та дерева відмов. Кількісна оцінка ЧПАЗ внаслідок внутрішніх екстремальних подій виконується з використанням модифікованих даних з надійності обладнання і дій персоналу.

**ІАБ при роботі енергоблока на зниженій потужності та в період зупину** має містити ТЕ, наведені для ІАБ 1-го рівня, а також елемент *“Ідентифікація експлуатаційних станів”*. У даному ТЕ встановлюються взаємозв'язки між діяльністю в рамках ІАБ для номінальної потужності і ІАБ для зниженої потужності за допомогою ідентифікації й аналізу експлуатаційних станів енергоблока в процесі зниження потужності та зупинки на планово-попереджувальний ремонт (ППР), а також ідентифікація вихідних подій аварій для кожного експлуатаційного стану.

**ІАБ зовнішніх екстремальних подій** повинен містити ТЕ, наведені для ІАБ внутрішніх екстремальних подій, а також такі ТЕ, як:

**“Відбірковий та граничний аналіз зовнішніх екстремальних подій”.** В рамках даного ТЕ ІАБ визначаються події із зовнішніми екстремальними впливами природного та техногенного характеру для подальшого аналізу і їх частотні характеристики. На підставі критеріїв відбору виконується граничний аналіз з метою визначення та відсіву впливів, які не становлять значної небезпеки для енергоблока.

**“Детальний аналіз зовнішніх екстремальних подій”.** В рамках даного ТЕ ідентифікують потенційні сценарії внаслідок

зовнішніх екстремальних подій, враховуючи особливості систем, обладнання і конструкцій енергоблока або дії персоналу з управління аварією. Оцінюється уразливість кожної системи до механізмів відмов, що ініціюються зовнішніми екстремальними подіями (наприклад, підтоплення, землетрус, смерч, техногенні впливи). Розробляються сценарії розвитку подій шляхом виявлення можливостей чисельних відмов обладнання та відповідні аварійні послідовності.

#### 4. Категоризація систем і обладнання

Ключовим елементом оптимізації ТОіР є керування обсягами робіт, що досягається в першу чергу визначенням переліку критичних СОК [5]. Для визначення цього переліку виконується категоризація СОК в залежності від їх важливості для безпеки та встановлюється рівень категоризації СОК.

Категоризація СОК починається з аналізу систем. Системи мають різні режими експлуатації і деякі виконують кілька функцій; у кожній функції системи задіяне певне обладнання. Тому при застосуванні ІАБ у процесі оптимізації ТОіР категоризація в залежності від важливості для безпеки в першу чергу виконується на рівні функцій системи. Виходячи з цього, категоризація базується на визначенні тих функцій системи, які важливі для безпеки. Ідентифікуються компоненти обладнання і режими функціонування компонентів, необхідні для підтримання важливих для безпеки функцій, і визначається категоризація компонентів обладнання, яка базується на цій інформації.

Визначення пропонує змін, які виникають у процесі оптимізації ТОіР, включає ідентифікацію всіх функцій системи, які вона виконує. Процес визначення важливості для безпеки функцій систем повинен починатися з аналізу основних систем і функцій безпеки. Будь-яке рішення з категоризації потребує визначення важливості для безпеки всіх функцій, які виконує ця система.

Категоризація кожного компонента системи базується на ступені важливості для безпеки функцій, які виконує цей компонент.

Оцінка може бути виконана тільки для системи в цілому, і тоді всі елементи системи будуть віднесені до тієї ж категорії, що й уся система. Такий підхід можна застосовувати для систем, які належать до категорій з низьким ступенем важливості для безпеки. При цьому рівень важливості для безпеки має бути підтверджений за допомогою критеріїв, розроблених із застосуванням ІАБ.

Перелік критичних СОК складається на основі кількісного і якісного аналізу значимості СОК та оновлених моделей ІАБ, які мають включати все обладнання, важливе для безпеки, або те, що підлягає ремонту за технічним станом.

Для оцінки впливу відмов систем, обладнання і конструкцій на рівень безпеки енергоблока і ранжування СОК слід виконати категоризацію за рівнями значимості для безпеки, розрахованими в ІАБ (рис. 1):

*висока значимість*, якщо обладнання має показники значимості підвищення ризику (RAW) більше 2 і показник значимості за Фуселем—Веселем (FV) більше 0,005 (або RAW > 100; FV > 0,1);

*середня значимість*, якщо показники значимості обладнання RAW < 2 і  $0,005 < FV < 0,1$  (або  $2 < RAW < 100$  і  $FV < 0,005$ );

*низька значимість*, якщо показники значимості обладнання RAW < 2 і  $FV < 0,005$ .

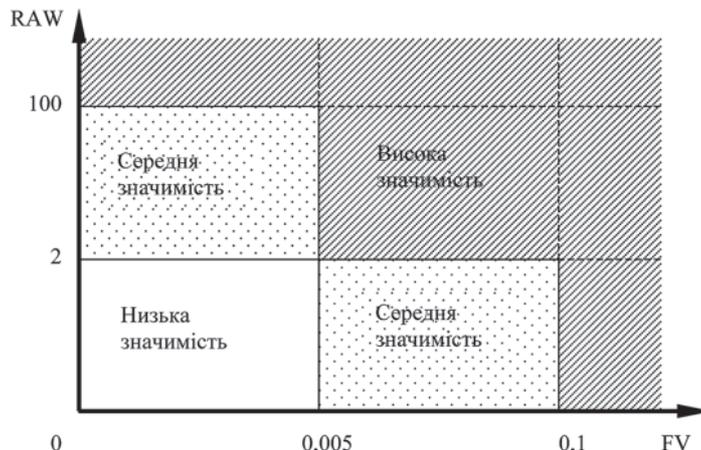


Рис. 1 Кількісна категоризація СОК

Для виконання кількісної категоризації СОК необхідно забезпечити технічну якість ІАБ: обсяг, рівень деталізації і адекватність виконуваної задачі. ІАБ повинен реалістично відображати існуючий проект і конструкцію, поточну експлуатаційну практику і накопичений досвід експлуатації енергоблока.

Як існа категоризація виконується на основі інформації, отриманої за допомогою як імовірнісних, так і детерміністичних методів, та за результатами аналізу таких факторів, як:

- виникнення вихідної події аварії внаслідок відмови СОК; відмова системи, важливої для безпеки, внаслідок відмови СОК;

- використання СОК для керування і заглушення аварії; наявність вимог щодо роботи СОК в інструкціях з ліквідації аварій;

- важливість СОК у процесі зниження потужності і зупину енергоблока.

Кінцевим результатом даної задачі є перелік СОК енергоблока АЕС, які розподілені за наступними категоріями: обладнання, яке пов'язано з безпекою і має високу ризик-важливість;

- обладнання, яке пов'язано з безпекою і має низьку ризик-важливість;

- обладнання, яке не пов'язано з безпекою, але має високу ризик-важливість;

- обладнання, яке не пов'язано з безпекою і має низьку ризик-важливість.

Якісний аналіз виконується шляхом експертної інженерної оцінки з урахуванням даних про відмови СОК.

#### 5. Моделювання об'єктів оптимізації

Для оцінки змін, пов'язаних із оптимізацією ТОіР, ІАБ має моделювати ті конкретні системи та обладнання, які впливають на запропоновану зміну. Модель повинна дозволити виконувати групування обладнання для тих періодів, коли виконуються його випробування та ремонт. Обмежувальні умови експлуатації та вимоги з наглядом відносяться до каналу системи або обладнання, які змодельовані в деревах відмов у рамках ІАБ. Дерева відмов потрібно достатньо деталізувати, щоб включити всі компоненти обладнання, для яких виконується випробування та ТОіР і які підлягають оцінюванню:

для оцінки допустимої (або регламентованої) тривалості ТОіР (далі — ДТР) модель каналу системи вважається адекватною в тому разі, коли все обладнання каналу чітко ідентифіковано (тобто те обладнання, яке може спричинити відмову каналу);

для оцінки інтервалів між випробуваннями необхідні моделі з рівнем індивідуального моделювання компонентів.

Для аналізу змін як ДТР, так і інтервалів між випробуваннями обладнання, використовується модель ІАБ, виконана на рівні компонентів обладнання.

Моделі неготовності компонентів обладнання мають враховувати внесок випадкових відмов, відмов за загальними причинами, простоїв, пов'язаних з випробуванням та ТОіР обладнання:

зміни до моделі неготовності компонентів обладнання, пов'язаних з простоями обладнання внаслідок випробування та ТОіР, мають базуватися на реалістичній оцінці очікуваних стратегій ТОіР та нагляду, які застосовуватимуться після упровадження змін до програми ТОіР, а також на станційному досвіді експлуатації або, якщо це необхідно, з урахуванням узагальненого досвіду експлуатації;

модель неготовності компонентів обладнання має бути достатньо гнучкою для того, щоб розділити внески неготовності обладнання, пов'язані з простоями внаслідок випробувань і ТОіР;

за необхідності може бути упроваджена додаткова деталізація, пов'язана з розділенням внесків інтенсивності відмов на вимогу та відмов у режимі очікування.

Внески відмов за загальними причинами потрібно змодельовувати так, щоб їх можна було модифікувати до стану, коли один чи декілька компонентів перебувають у стані неготовності.

Для врахування ефектів зміщення випробувань резервного обладнання відносно один одного можуть застосовуватися залежні від часу моделі та додаткові оцінки, що потребує використання спеціалізованих кодів.

Якщо в ІАБ не змодельовано систему, для якої виконується зміна, пов'язана з оптимізацією ТОіР, необхідно виконати спеціалізований аналіз такої системи. Приклади таких випадків:

1) систему змодельовано в дереві подій, але для неї не розроблено дерево відмов. У такому разі зміни, пов'язані з оптимізацією ТОіР, можуть оцінюватись двома шляхами:

– розробкою окремого дерева відмов для розглянутої системи і доданням до існуючої моделі ІАБ без прямої модифікації ІАБ;

– виконанням граничної оцінки на основі відмов системи, тобто відмова будь-якого компонента обладнання вважається причиною відмови усєї системи;

2) для системи розроблено окреме дерево відмов і для цієї системи можуть бути змінені специфічні вимоги регламенту та може бути розрахована зміна неготовності системи, яка далі використовується в моделі ІАБ для оцінки відповідних величин в рамках ІАБ 1-, 2- та 3-го рівнів. Такі оцінки можуть бути враховані так само, як і отримані при використанні безпосередньо моделей ІАБ, але вони мають задовольняти таким вимогам:

відмови усередині системи не повинні впливати на відмови інших систем чи компонентів обладнання;

відмова системи не повинна впливати на частоту будь-якої ВПА;

система не повинна мати спільного обладнання з іншими системами;

3) граничні оцінки виконані за умови, що будь-яка відмова компонента в системі вважається системною відмо-

вою. Тоді розрахований внесок ризику від зміни ТОіР може бути збільшеним, а відповідні прийняті оцінки будуть менші ніж ті, які можуть бути підтвержені детальною моделлю.

Використання ІАБ для оцінки змін до програми ТОіР обладнання потребує розглядання низки припущень, зроблених в ІАБ, які можуть значно впливати на остаточне рішення щодо упровадження пропонованих змін. Такі припущення мають розглядатися при обґрунтуванні пропонованих змін у програмі ТОіР.

*Припущення, які мають бути розглянуті для оцінки змін ДТР:*

якщо аналіз ризику в ході оцінки ДТР виконаний із застосуванням ІАБ тільки для номінальної потужності, це означає, що ризик, пов'язаний із зупиною АЕС внаслідок порушення ДТР, не врахований;

коли розраховується внесок ризику, зміна середньої ЧПАЗ має оцінюватися з урахуванням середнього часу зупину. Якщо взято за основу, що стан обслуговування не порушує готовності обладнання, це слід обґрунтувати. Припущення щодо змін у практиці обслуговування в разі розширення ДТР необхідно обґрунтувати та оцінити їхній вплив на результат аналізу;

коли виконується оцінка внеску до ризику зміни у ДТР, береться до уваги внесок річного ризику з урахуванням частоти ТОіР. Збільшення ДТР означає, що обслуговування компонента було розширене, що в свою чергу може знизити інтенсивність відмови компонента, а отже, й частоту зупинів, необхідних для усунення деградації або відмови СОК. Оскільки даних експлуатації немає, потрібно зробити припущення, що і частота коригуючого обслуговування, і інтенсивність відмови залишаються однаковими. В цьому випадку не враховується вплив покращення обслуговування, і це може дати незначне збільшення річної оцінки міри ризику, пов'язаної з ДТР;

часто збільшення ДТР потрібно для вдосконалення ремонту компонентів систем безпеки при роботі енергоблока на потужності. Необхідно розрахувати частоту та тривалість збільшення ДТР, а також оцінити внесок до ризику неготовності такого обладнання;

в разі збільшення ДТР для обладнання каналів систем безпеки збільшується імовірність одночасної неготовності декількох компонентів (внаслідок комбінацій відмов, випробувань та обслуговування), тому що збільшена тривалість підвищує імовірність окремих подій, які складають одночасні численні зупини; таким чином, накладення запланованих дій та випадкових відмов стає імовірнішим. Вплив таких обставин на середній ризик енергоблока, наприклад ЧПАЗ, малий, але умовний ризик може бути значним.

*Припущення, які мають бути розглянуті для оцінки інтервалів між випробуваннями обладнання:*

припускається, що відмови обладнання, які виникають під час очікування, виявляються в ході його випробувань. Параметр потоку відмов представляє ці відмови у складі неготовності компонента. Ризик, обмежений періодом випробування обладнання, нормально оцінюється шляхом прийняття припущення, що під час випробування обладнання виявляються усі відмови, і після випробувань неготовність компонента дорівнює нулю (або «фальш» у Булевих виразах). Деякі відмови обладнання, залежно від конструкції і способу перевірки, можуть не виявитися під час звичайного випробування. В такому разі їхній внесок до ризику вважається незначним і не враховується;

періодичні випробування компонентів систем безпеки аналізують за їхнім впливом на їхні напрацювання. Як правило, для більшості компонентів збільшення інтервалу

обслуговування (ІО) за межі деякого значення може зменшити напрацювання компонента (тобто збільшиться інтенсивність відмови). Експлуатаційних даних для оцінки цього критичного значення інтервалу немає. Якщо для ризик-інформованого розрахунку вимог до обслуговування інтенсивність відмови вважається незмінною, це припущення означає, що інтервал обслуговування не перевищив того значення, при якому напрацювання суттєво зменшується. Слід не допускати перевищення ІО при застосуванні тільки ризик-інформованих аналізів;

визначення часу для випробувань резервованих компонентів відносно один одного (тобто стратегія випробувань) впливає на розраховані міри ризику. Застосовують послідовне або ступеневе випробування. Внесок ризику відносно стратегії випробування має бути оцінений для визначення наявності впливу розглянутої зміни;

поряд з позитивними аспектами випробувань по виявленню відмов, які виникають у період очікування, можуть існувати й деякі негативні явища: вимушений зупин для виконання випробування, помилки відновлення після випробування, перехідні процеси, ініційовані випробуванням, підвищений знос обладнання внаслідок випробувань. Вимушений зупин та помилки відновлення, як правило, моделюються в рамках ІАБ, хоча вони незначні. Перехідні процеси та знос обладнання характерні для деяких випробувань, але вони не моделюються окремо в рамках ІАБ, хоча можуть бути розраховані за допомогою моделей ІАБ, які доповнені даними та аналізом. Є методи для кількісної оцінки цих аспектів, проте для представлення розширення інтервалів випробувань також прийнятні якісні аргументи. Якщо негативний вплив випробування визнається значним, такий випадок належить розглядати на кількісному рівні.

Як і в будь-якому ризик-інформованому додатку, аналіз змін до програми ТОіР може бути пов'язаний з численними невизначеностями внаслідок припущень, зроблених під час розробки моделей ІАБ та прикладних задач. Аналіз чутливості може знадобитися, щоб перевірити коректність зроблених припущень до змін програми ТОіР. Вони можуть включати:

внесок змін до програми ТОіР внаслідок змін ДТР;  
внесок змін до допустимих середніх інтервалів простоїв або частоти;

вплив внесків до неготовності обладнання як відмов на вимогу, так і відмов у режимі очікування в разі зміни інтервалів випробувань;

вплив деталей моделювання (наприклад, інтенсивність відмови) відносно того, як змодельовані у ІАБ відмови за загальними причинами.

## 6. Вимоги до якості

Аналізи, пов'язані з використанням ІАБ в роботах з оптимізації ТОіР, повинні виконуватися персоналом, який має високий рівень підготовки з ІАБ.

Роботи з оптимізації ТОіР провадяться за спеціальною програмою.

Всі стадії виконання робіт з оптимізації ТОіР мають повно відображатися в підготовлених звітних документах. Перелік і вимоги до змісту необхідних документів встановлюються в програмі з оптимізації ТОіР. Документація з оцінками, які виконуються для обґрунтування пропонування змін в програму ТОіР, повинна включати такі розділи:

опис пропонування змін до програми ТОіР і їх причини;  
опис виконаних традиційних інженерних оцінок;  
зміни, які зроблені в ІАБ для виконання оцінок змін в програмі ТОіР;  
оцінка придатності та якості моделей ІАБ;  
обміркування мір ризику, які використовуються для оцінки змін;  
дані, які використовуються для доповнення баз даних ІАБ;  
розраховані міри ризику;  
аналіз чутливості і невизначеності;  
аналіз вкладу в ризик від пропонування змін і необхідні компенсаційні дії.

## Висновки

Використання ризик-орієнтованих підходів у регулюючій діяльності та експлуатації АЕС України, а саме оптимізацію технічного обслуговування і ремонтів з використанням імовірнісних методів, спрямовано на досягнення: підвищення безпеки за рахунок більш ефективного використання сил та засобів для усунення дефіцитів безпеки; підвищення ефективності регулювання;

зниження надлишкового навантаження на ліцензіата при забезпеченні необхідного рівня безпеки.

Розроблений в рамках даного дослідження документ визначає вимоги щодо імовірнісних аналізів безпеки, які будуть використовуватися для оптимізації ТОіР, зокрема вимоги та рекомендації з мінімально необхідного обсягу ІАБ, вимоги до технічної якості матеріалів ІАБ, рівня деталізації моделей та документації ІАБ. Також наданий опис загальних вимог до моделювання об'єктів оптимізації.

## Список літератури

1. Рішення Колегії Держатомрегулювання України № 9 «З питань застосування оцінки ризиків в регулюванні безпеки ядерних установок» від 13.11.2001.
2. НАЭК «Энергоатом», Госатомрегулирование Украины. Программа внедрения риск-ориентированных подходов в регулировании деятельности и эксплуатации АЭС Украины. — К., 2003.
3. Застосування ризик-орієнтованих підходів у діяльності по регулюванню безпеки АЕС України. Основні положення (НП 306.2.01.1-05) / Державний комітет ядерного регулювання України. — К., 2005.
4. Анализ и оценка технико-экономических эффектов при внедрении «Программы перехода на выполнение ремонтов по техническому состоянию оборудования и реализации риск-ориентированного подхода к ремонту и эксплуатации энергоблоков» / ООО «Энергориск». — К., 2004.
5. International Atomic Energy Agency. Guidance for Optimizing Nuclear Power Plant Maintenance Programmes. — IAEA-TECDOC-1383. — Vienna, 2003.
6. International Atomic Energy Agency. Advances in Safety Related Maintenance — IAEA-TECDOC-1138. — Vienna, 2000.
7. US Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 1.177 “An Approach for Plant-Specific, Risk-Informed Decisionmaking: Technical Specifications”, 1998.
8. US Nuclear Regulatory Commission. An Approach for Determining The Technical Adequacy Of Probabilistic Risk Assessment Results For Risk-Informed Activities, Regulatory Guide 1.200, 2004.
9. International Atomic Energy Agency. Applications of Probabilistic Safety Assessment (PRA) for Nuclear Power Plants. — IAEA-TECDOC-1200. — Vienna, 2001.

Надійшла до редакції 05.06.2009.