

П. І. Ковтонюк¹, О. Є. Севбо²,
В. П. Невмержицький¹, В. В. Охрімчук¹,
О. О. Очаковська¹

¹Рівненська АЕС, м. Кузнецовськ, Україна

²Державний науково-технічний центр
з ядерної та радіаційної безпеки, м. Київ, Україна

Оцінка впливу додаткової системи аварійної живильної води на показник частоти пошкодження активної зони реакторів ВВЕР-440/213 на прикладі енергоблоків №№ 1, 2 Рівненської АЕС

За допомогою засобів імовірнісного аналізу безпеки оцінено вплив додаткової системи аварійної живильної води на показник частоти пошкодження активної зони реакторів енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС. Порівнюються результати впливу попереднього та впровадженого технічного проекту системи на цей показник. Показано особливості моделювання елементів системи.

Ключові слова: аналіз безпеки енергоблоків, ВВЕР-440, множинні відмови устаткування, зона без розриву, імовірнісний аналіз безпеки, частота пошкодження активної зони, додаткова система аварійної живильної води, вихідні події аварій, дерево подій, дерево відмов.

**П. И. Ковтонюк, А. Е. Севбо, В. П. Невмержицкий,
В. В. Охримчук, О. А. Очаковская**

Оценка влияния дополнительной системы аварийной питательной воды на показатель частоты повреждения активной зоны реакторов ВВЭР-440/213 на примере энергоблоков №№ 1, 2 Ровенской АЭС

С помощью средств вероятностного анализа безопасности оценивается влияние дополнительной системы аварийной питательной воды на показатели частоты повреждения активной зоны реакторов энергоблоков №№ 1, 2 РАЭС. Сравниваются результаты влияния предварительного и внедренного технического проекта системы на этот показатель. Показаны особенности моделирования элементов системы.

Ключевые слова: анализ безопасности энергоблоков, ВВЭР-440, множественные отказы оборудования, зона без разрыва, вероятностный анализ безопасности, частота повреждения активной зоны, дополнительная система аварийной питательной воды, исходные события аварий, дерево событий, дерево отказов.

© П. І. Ковтонюк, О. Є. Севбо, В. П. Невмержицький,
В. В. Охрімчук, О. О. Очаковська, 2012

У середині 1990-х років за результатами аналізів безпеки енергоблоків з реакторами ВВЕР-440 виявилася проблема множинних відмов устаткування і систем 2-го контуру внаслідок просторових взаємодій (запарювання, забризкування, биття трубопроводів, дія реактивних струменів води і пари), викликаних розривами високоенергетичних трубопроводів 2-го контуру за межами гермооболонки (ГО). Для усунення даної проблеми, описаної в публікації МАГАТЕ [1], була запропонована концепція «зона без розриву».

Зоною без розриву вважається ділянка труби трубопроводів пари і живильної води за межами ГО, на якій можна відмовитися від розгляду постульованих розривів та їх наслідків за умови виконання основаних на аналізі напружень критеріїв [2]. Проте аналіз показав, що дану концепцію не можна застосувати для високоенергетичних трубопроводів 2-го контуру за межами ГО енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС через невідповідність ряду критеріїв (в першу чергу, через складну геометричну компоновку трубопроводів) [3]. Тому за компенсуючий захід було запропоновано використовувати додаткову систему аварійної живильної води (ДСАЖВ) [4].

Реалізація концепції «зона без розриву» впливає лише на частоту пошкодження активної зони (ЧПАЗ) в імовірнісному аналізі безпеки (ІАБ) внутрішніх затоплень. Отже, розробляючи обґрунтування компенсуючих заходів за неможливості застосування даної концепції, аналізувався вплив впровадження ДСАЖВ лише на ІАБ внутрішніх затоплень. Аналіз показав, що в разі впровадження ДСАЖВ частота пошкодження активної зони в ІАБ внутрішніх затоплень на енергоблоці № 1 РАЕС зменшувалася на 55,9 % (або на $5,09 \cdot 10^{-6}$ [4] в абсолютних величинах), на енергоблоці № 2 — на 82,35 % (на $1,96 \cdot 10^{-5}$ [5] в абсолютних величинах). З точки зору впливу на підвищення безпеки енергоблока впровадження ДСАЖВ на енергоблоці № 1 мало середню значність, на енергоблоці № 2 — високу [6, 7].

Після введення ДСАЖВ в експлуатацію виникла необхідність більш розширеного аналізу впливу впровадження даної системи на безпеку енергоблоків, зумовлена відсутністю комплексного аналізу впливу цього заходу на результати ІАБ, впровадженням заходів з підвищення безпеки на енергоблоках останніми роками та потребою аналізу внеску ДСАЖВ в безпеку енергоблоків за нової конфігурації обладнання.

Крім того, існують відмінності між технологічними схемами впровадженого та попереднього проекту ДСАЖВ, який розглядався на етапі аналізу можливості застосування даної системи як компенсуючого заходу. До того ж у процесі аналізу можливості застосування попереднього проекту ДСАЖВ у [4, 5] використовувалися узагальнені дані з надійності, взяті з [8]. Ці відмінності між проектами зумовлюють необхідність проаналізувати внесок у ЧПАЗ впровадженого проекту порівняно з внеском у ЧПАЗ попереднього проекту.

У даній роботі проаналізовано вплив впровадження ДСАЖВ на:

інтегральний ІАБ першого рівня на номінальному рівні потужності, до складу якого входять ІАБ першого рівня для внутрішніх ініціаторів на номінальному рівні потужності, ІАБ першого рівня для внутрішніх пожеж на номінальному рівні потужності, ІАБ першого рівня для внутрішніх затоплень на номінальному рівні потужності, ІАБ першого рівня для зовнішніх екстремальних впливів (ЗЕВ) на номінальному рівні потужності;

ІАБ першого рівня для внутрішніх ініціаторів на зниженому рівні потужності і в стані зупинки реактора (ІАБ ППР).

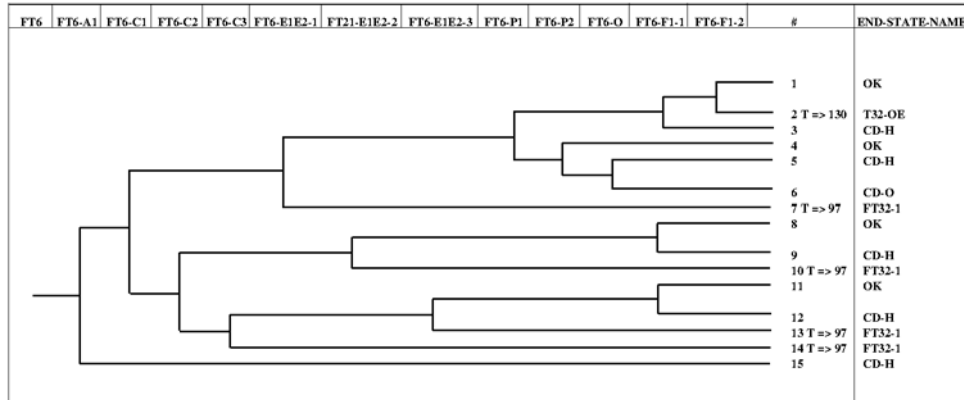


Рис. 1. Дерево подій FT6, що використовувалося для розрахунку ЧПАЗ від ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ енергоблоків №№ 1, 2 без впровадження ДСАЖВ

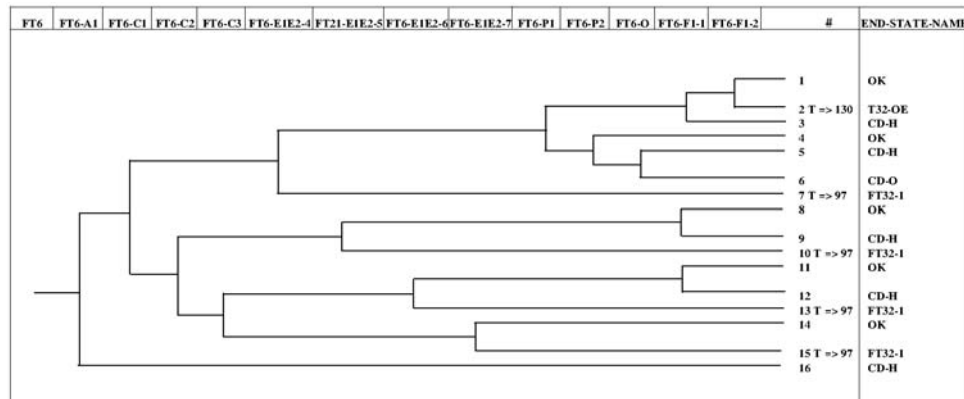


Рис. 2. Дерево подій FT6, що використовувалося для розрахунку ЧПАЗ від ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ енергоблоків №№ 1, 2 для попереднього та впровадженого технічного проекту ДСАЖВ

ДСАЖВ призначена підтримувати необхідний рівень у парогенераторах з метою гарантованого відведення тепловиділення від активної зони реактора та запобігання неприпустимому перегріванню та руйнуванню твєлів, забезпечення аварійної зупинки реакторної установки (РУ) та її безпечного переведення у «холодний» стан у разі відмови систем основної та аварійної живильної води енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС. Це означає, що дана система дублює роботу всіх наявних систем із забезпечення водою парогенераторів (ПГ) на випадок різних вихідних подій аварії (ВПА).

Відповідно до виконуваних функцій система подачі аварійної живильної води в ПГ є захисною системою безпеки.

Згідно з [9], всі елементи ДСАЖВ:

- розраховані на виконання своїх функцій під час максимального розрахункового землетрусу (МРЗ);
- розміщені в приміщеннях, будівельні конструкції яких розраховані на МРЗ та інші впливи (зокрема техногенні);
- захищені від впливу пожеж, предметів, що летять, динамічного впливу струменів води та інших впливів.

Насоси та електрифікована арматура ДСАЖВ забезпечені електроживленням від власних джерел надійного електропостачання.

Живильна вода подається до ПГ аварійних енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС системою в кількості, потрібній для відведення остаточних тепловиділень від активної зони реакто-

ра та розхолодження РУ скиданням пари в атмосферу через пристрої скидання пари (запобіжні клапани ПГ, швидкодіючі редуційні установки скидання пари в атмосферу).

Відповідно до свого призначення, ДСАЖВ функціонує тільки в аварійній ситуації в разі відмови систем основної та аварійної живильної води.

Робота ДСАЖВ може бути потрібною при таких ВПА: мала і середня течя 1-го контуру; аварії, пов'язані з порушенням відведення тепла від РУ по 2-му контуру; аварійне знеструмлення АЕС; пожежа в турбінному відділенні; розриви високоенергетичних трубопроводів 2-го контуру; екстремальні впливи техногенного й природного походження. Крім того, робота ДСАЖВ потрібна для всіх ВПА з аварійними послідовностями з відмовою систем подачі живильної води в ПГ.

В умовах нормальної експлуатації енергоблоків система знаходиться в режимі очікування.

Відповідно до викладених вище функцій системи та проектних критеріїв, ДСАЖВ спроектована й виконана спільною на два енергоблоки та складається [10] з:

двох автономних підсистем, кожна з яких призначена для свого енергоблока і містить одну дизель-насосну установку (ДНУ) з електрогенератором власних потреб потужністю 80 кВт, один бак запасу знесоленої води місткістю 1000 м³, самостійний магістральний напірний колектор насосного агрегату, трубопроводи об'язки ДНУ, вузли

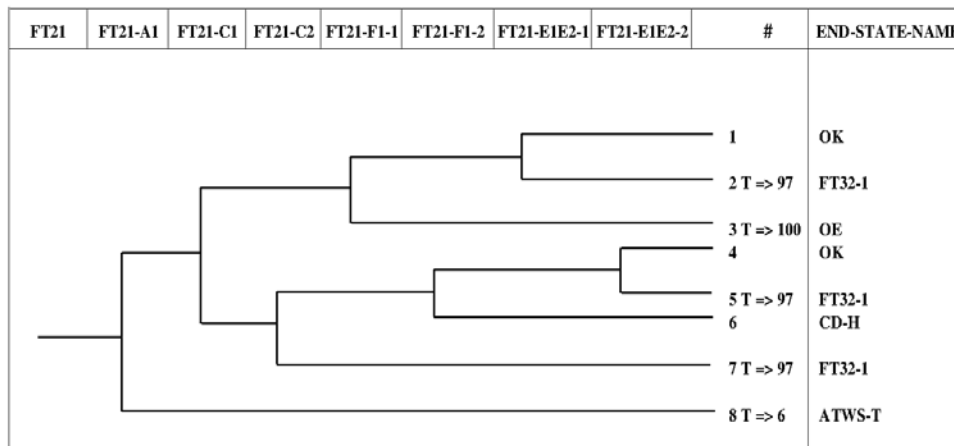


Рис. 3. Дерево подій FT21, що використовувалося для розрахунку ЧПАЗ від ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ енергоблоків №№ 1, 2 без впровадження ДСАЖВ

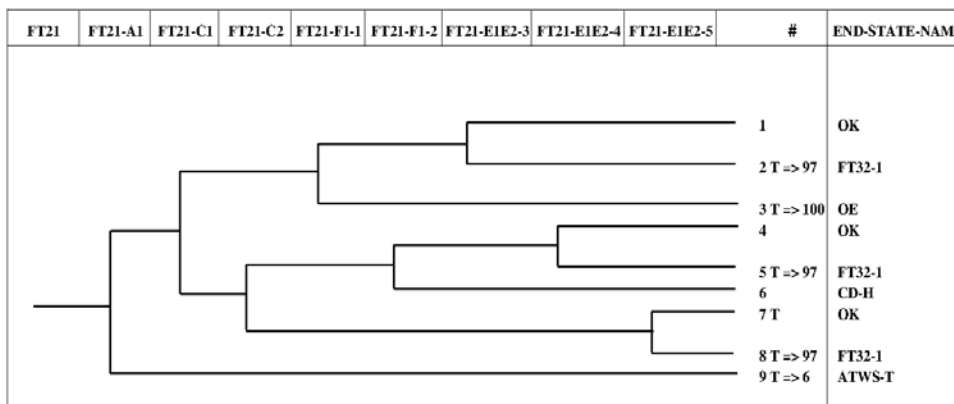


Рис. 4. Дерево подій FT21, що використовувалося для розрахунку ЧПАЗ від ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ енергоблоків №№ 1, 2 для попереднього та впровадженого технічного проекту ДСАЖВ

живлення кожного з шести ПГ кожного енергоблока контрольно-вимірювальні пристрої та апаратуру;

резервної підсистеми, що може підключатися до перших двох і до складу якої входять ДНУ з електрогенератором власних потреб, трубопроводи обв'язки ДНУ, арматурний вузол; контрольно-вимірювальні пристрої та апаратура.

ДСАЖВ розміщується в окремій будівлі. Баки запасу знесоленої води розміщено поза будівлею ДСАЖВ на окремих фундаментах та з'єднано з будівлею ДСАЖВ підземним каналом.

Для аналізу впливу впровадження ДСАЖВ проведено три етапи розрахунків ЧПАЗ енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС: для попереднього технічного проекту ДСАЖВ; для впровадженого технічного проекту ДСАЖВ; без впровадження ДСАЖВ. Для розрахунків використовувалися останні редакції моделей ІАБ енергоблоків у розрахунковому коді SAPHIRE, а саме: інтегральна модель ІАБ 1-го рівня енергоблока № 1 на номінальному рівні потужності; модель ІАБ 1-го рівня для внутрішніх ініціаторів енергоблока № 1 на зниженому рівні потужності та в стані зупинки; інтегральна модель ІАБ 1-го рівня енергоблока № 2 на номінальному рівні потужності; модель ІАБ 1-го рівня для внутрішніх ініціаторів енергоблока № 2 на зниженому рівні потужності та в стані зупинки.

Зміни в розрахункові моделі вносилися модифікацією дерев відмов, а для ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ

також двох дерев подій: FT21 — розрив трубопроводів живильної води за межами ГО, FT6 — розрив трубопроводів гострої пари за межами ГО. У розрахунках ЧПАЗ для впровадженого технічного проекту ДСАЖВ, крім врахування змін у проекті, також використовувалися нові дані з надійності обладнання ДСАЖВ.

На рис. 1 та 2 представлені дерева подій FT6 — «Розрив трубопроводів гострої пари за межами ГО», що використовувалися для розрахунку ЧПАЗ від ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ енергоблоків №№ 1, 2.

Модифікація дерева подій FT6 для врахування ДСАЖВ полягала в заміні проміжних подій FT6-E1E2-1, FT6-E1E2-2, FT6-E1E2-3 — «Відведення тепла по другому контуру» — на проміжні події, які враховують впровадження ДСАЖВ: FT6-E1E2-4, FT6-E1E2-5, FT6-E1E2-6, FT6-E1E2-7 — «Відведення тепла по другому контуру» (рис. 1, 2).

На рис. 3 та 4 представлені дерева подій FT21 — «Розрив трубопроводів живильної води за межами ГО», що використовувалися для розрахунку ЧПАЗ від ІАБ затоплень та інтегрального ІАБ енергоблоків №№ 1, 2. Як бачимо, модифікація дерева подій FT21 для врахування ДСАЖВ полягала в заміні проміжних подій FT21-E1E2-1, FT21-E1E2-2 — «Відведення тепла по другому контуру» на проміжні події, які враховують впровадження ДСАЖВ: FT21-E1E2-3, FT21-E1E2-4, FT21-E1E2-5 — «Відведення тепла по другому контуру».

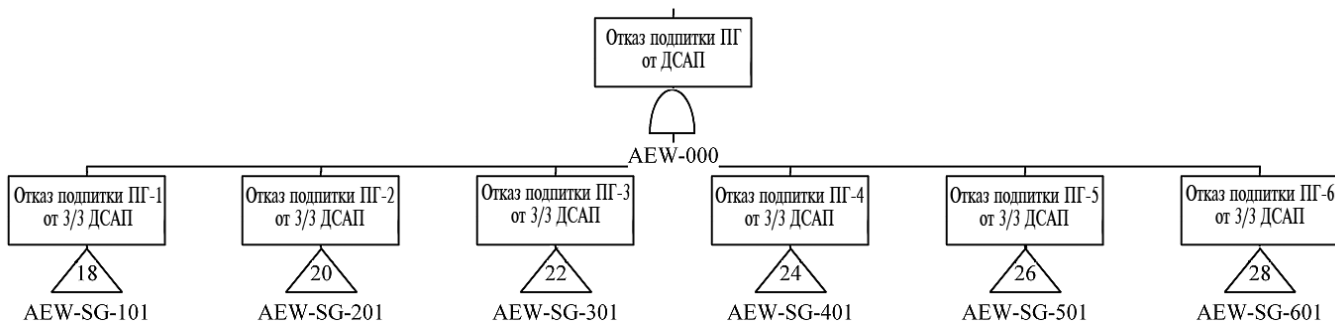


Рис. 5. Дерево відмов AEW-000 — «Відмова підживлення ПГ від ДСАЖВ»

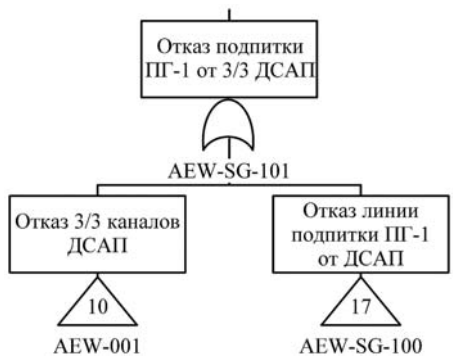


Рис. 6. Дерево відмов AEW-SG-101 — «Відмова підживлення ПГ-1 від 3/3 каналів ДСАЖВ»

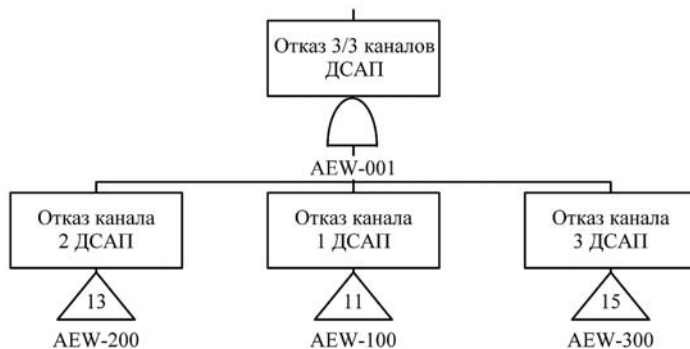


Рис. 7. Дерево відмов AEW-001 — «Відмова 3/3 каналів ДСАЖВ»

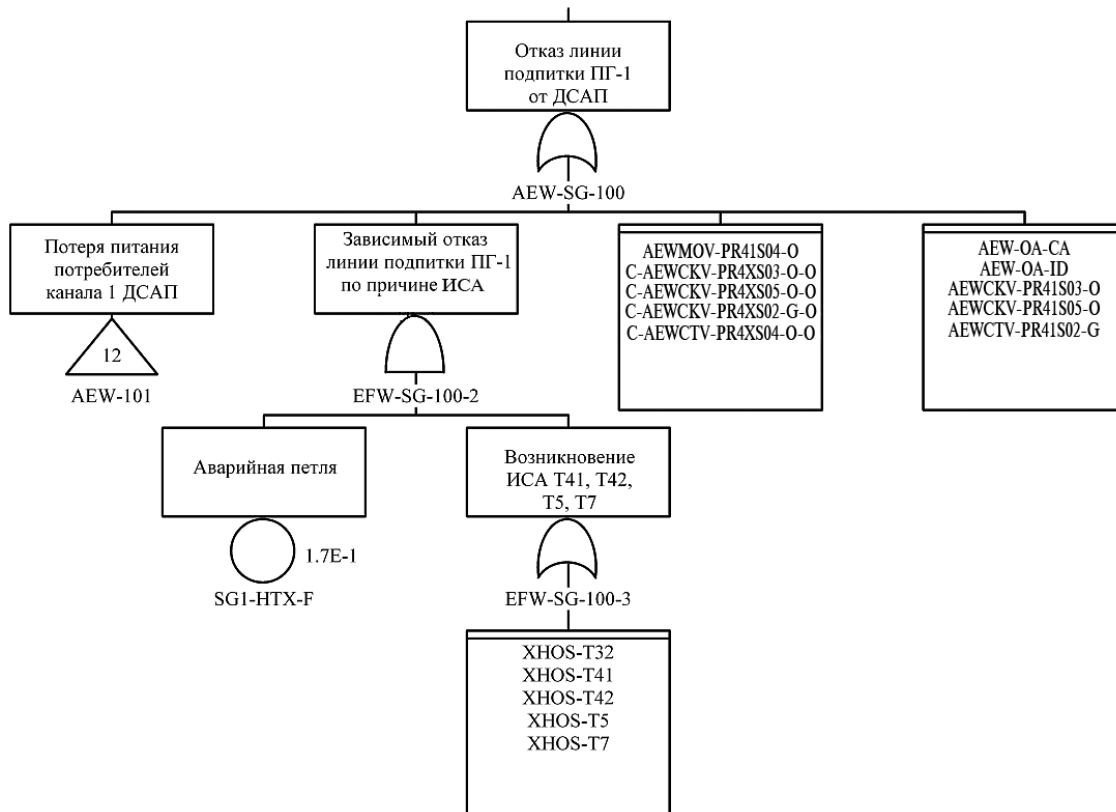


Рис. 8. Дерево відмов AEW-SG-100 — «Відмова лінії підживлення ПГ-1 від ДСАЖВ»

На рис. 5—10 представлені функціональні та системні дерева відмов, які було розроблено для моделювання ДСАЖВ. Критерієм успіху роботи ДСАЖВ вважається підживлення одного ПГ від одного каналу системи (рис. 5).

Відмова підживлення одного ПГ від усіх трьох каналів ДСАЖВ (рис. 6) відбувається при:
 відмові 3/3 каналів ДСАЖВ (рис. 7);
 відмові лінії підживлення цього ПГ від ДСАЖВ.

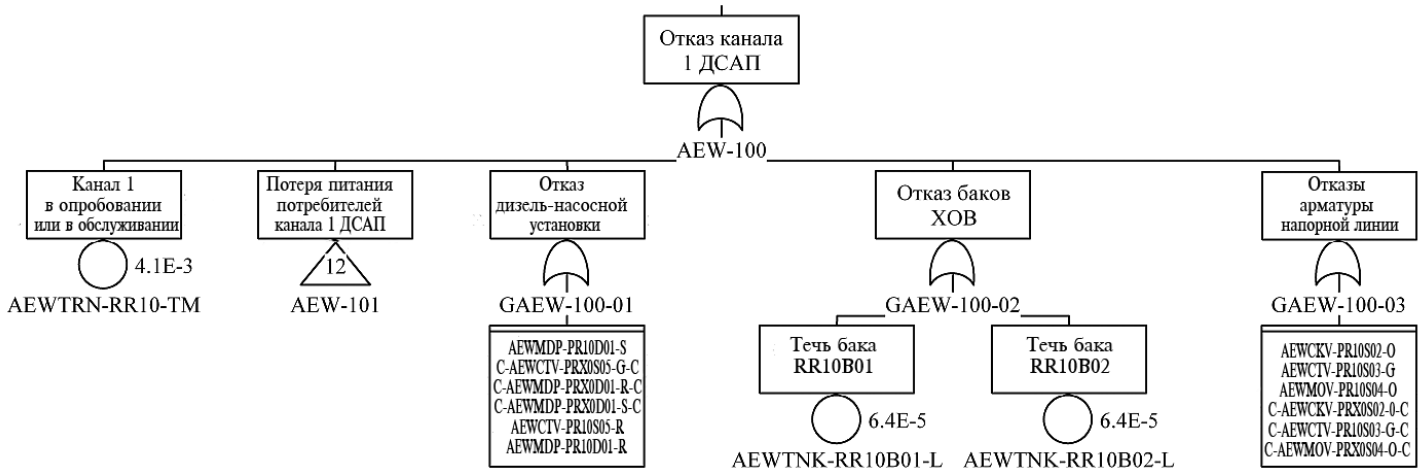


Рис. 9. Дерево відмов АЕВ-100 — «Відмова каналу 1 ДСАЖВ»

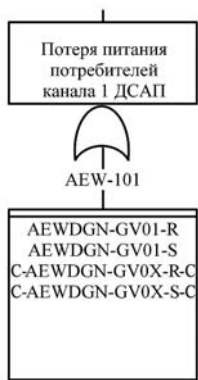


Рис. 10. Дерево відмов АЕВ-101 — «Втрата живлення споживачів каналу 1 ДСАЖВ»

Відмова лінії підживлення будь-якого одного ПГ (рис. 8) відбувається при:

- втраті живлення споживачів відповідного каналу ДСАЖВ; залежній відмові лінії підживлення ПГ з причини вихідної події аварії;
- відмові арматури на лінії підживлення ПГ від ДСАЖВ; помилках персоналу при організації підживлення ПГ від ДСАЖВ.

Відмова будь-якого одного каналу ДСАЖВ (рис. 9) відбувається хоча б при одній з таких відмов:

- відмові однієї з арматур напірної лінії;
- відмові одного з баків хімічно знесоленої води ДСАЖВ;
- відмові однієї з дизель-насосних установок ДСАЖВ;
- втраті живлення споживачів каналу ДСАЖВ; опробуванні чи обслуговуванні каналу.

Втрата живлення споживачів одного каналу ДСАЖВ (рис. 10) відбувається при відмові відповідного ДГ на запуск, у роботі або із загальних причин.

Для врахування всіх можливих ефектів від впровадження ДСАЖВ — як позитивних, так і негативних, — крім функції підживлення ПГ була також проаналізована можливість течі ПГ через трубопроводи ДСАЖВ.

У табл. 1 та 2 подано результати розрахунків впливу впровадженого технічного проекту ДСАЖВ на ЧПАЗ енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС. Як бачимо, впровадження ДСАЖВ значно знижує ЧПАЗ для блоків №№ 1, 2 РАЕС для ІАБ на номінальній потужності. Незначний вплив на ІАБ ППР пов'язаний з тим, що обсяг наявного ІАБ ППР обмежений тільки внутрішніми ВПА, та з незначною тривалістю експлуатаційних станів роботи енергоблока на зниженій потужності (порівняно з номінальною потужністю).

Таблиця 1. Результати розрахунків впливу впровадженого технічного проекту ДСАЖВ на ЧПАЗ енергоблока № 1 РАЕС

Модель ІАБ 1-го рівня	ЧПАЗ			
	Без ДСАЖВ	з ДСАЖВ	Зменшення	Зменшення, %
ІАБ внутрішніх ініціаторів	$1,378 \cdot 10^{-5}$	$9,749 \cdot 10^{-6}$	$4,031 \cdot 10^{-5}$	29,25
ІАБ пожеж	$4,197 \cdot 10^{-6}$	$3,663 \cdot 10^{-6}$	$5,340 \cdot 10^{-7}$	12,72
ІАБ затоплень	$5,065 \cdot 10^{-6}$	$3,872 \cdot 10^{-6}$	$1,193 \cdot 10^{-6}$	23,55
ІАБ ЗЕВ	$1,307 \cdot 10^{-7}$	$1,046 \cdot 10^{-8}$	$1,202 \cdot 10^{-7}$	92,00
Інтегральний ІАБ	$2,318 \cdot 10^{-5}$	$1,729 \cdot 10^{-5}$	$5,890 \cdot 10^{-6}$	25,41
ІАБ ППР	$3,192 \cdot 10^{-5}$	$3,041 \cdot 10^{-5}$	$1,510 \cdot 10^{-6}$	4,73

Таблиця 2. Результати розрахунків впливу впровадженого технічного проекту ДСАЖВ на ЧПАЗ енергоблока № 2 РАЕС

Модель ІАБ 1-го рівня	ЧПАЗ			
	Без ДСАЖВ	з ДСАЖВ	Зменшення	Зменшення, %
ІАБ внутрішніх ініціаторів	$1,017 \cdot 10^{-5}$	$4,476 \cdot 10^{-6}$	$5,694 \cdot 10^{-6}$	55,99
ІАБ пожеж	$9,510 \cdot 10^{-6}$	$3,350 \cdot 10^{-6}$	$6,160 \cdot 10^{-6}$	64,77
ІАБ затоплень	$1,143 \cdot 10^{-5}$	$8,525 \cdot 10^{-6}$	$2,905 \cdot 10^{-6}$	25,42
ІАБ ЗЕВ	$1,390 \cdot 10^{-7}$	$1,061 \cdot 10^{-8}$	$1,284 \cdot 10^{-7}$	92,37
Інтегральний ІАБ	$3,125 \cdot 10^{-5}$	$1,636 \cdot 10^{-5}$	$1,489 \cdot 10^{-5}$	47,65
ІАБ ППР	$3,192 \cdot 10^{-5}$	$3,041 \cdot 10^{-5}$	$1,510 \cdot 10^{-6}$	4,73

У табл. 3 та 4 наведено результати розрахунків впливу на ЧПАЗ енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС попереднього та впровадженого технічного проекту ДСАЖВ, а також зменшення ЧПАЗ для впровадженого технічного проекту ДСАЖВ відносно попереднього технічного проекту. Різниця між проектами полягає у зменшенні кількості арматури у впровадженому проекті ДСАЖВ порівняно з попереднім та встановленні ДНУ від іншого виробника, а не від

запланованого. Крім того, на відміну від попереднього проекту ДСАЖВ, для аналізу якого в [4] і [5] використовувались узагальнені дані з надійності обладнання, для впровадженого проекту ДСАЖВ використовуються реальні заводські дані з надійності обладнання.

Таблиця 3. Результати розрахунків впливу на ЧПАЗ енергоблока № 1 РАЕС попереднього технічного проекту ДСАЖВ та впровадженого технічного проекту ДСАЖВ

Модель ІАБ 1-го рівня	ЧПАЗ			
	Попередній проект	Впровадженний проект	Зменшення	Зменшення, %
ІАБ внутрішніх ініціаторів	$9,843 \cdot 10^{-6}$	$9,749 \cdot 10^{-6}$	$9,400 \cdot 10^{-8}$	0,95
ІАБ пожеж	$3,669 \cdot 10^{-6}$	$3,663 \cdot 10^{-6}$	$6,000 \cdot 10^{-9}$	0,16
ІАБ затоплень	$3,938 \cdot 10^{-6}$	$3,872 \cdot 10^{-6}$	$6,600 \cdot 10^{-8}$	1,68
ІАБ ЗЕВ	$1,223 \cdot 10^{-8}$	$1,046 \cdot 10^{-8}$	$1,770 \cdot 10^{-9}$	14,47
Інтегральний ІАБ	$1,746 \cdot 10^{-5}$	$1,729 \cdot 10^{-5}$	$1,700 \cdot 10^{-7}$	0,97
ІАБ ППР	$3,041 \cdot 10^{-5}$	$3,041 \cdot 10^{-5}$	0,00	0,00

Таблиця 4. результати розрахунків впливу на ЧПАЗ енергоблоку № 2 РАЕС попереднього технічного проекту ДСАЖВ та впровадженого технічного проекту ДСАЖВ

Модель ІАБ 1-го рівня	ЧПАЗ			
	Попередній проект	Впровадженний проект	Зменшення	Зменшення, %
ІАБ внутрішніх ініціаторів	$4,700 \cdot 10^{-6}$	$4,476 \cdot 10^{-6}$	$2,240 \cdot 10^{-7}$	4,77
ІАБ пожеж	$3,528 \cdot 10^{-6}$	$3,350 \cdot 10^{-6}$	$1,780 \cdot 10^{-7}$	5,05
ІАБ затоплень	$8,673 \cdot 10^{-6}$	$8,525 \cdot 10^{-6}$	$1,480 \cdot 10^{-7}$	1,71
ІАБ ЗЕВ	$1,245 \cdot 10^{-8}$	$1,061 \cdot 10^{-8}$	$1,840 \cdot 10^{-9}$	14,78
Інтегральний ІАБ	$1,691 \cdot 10^{-5}$	$1,636 \cdot 10^{-5}$	$5,500 \cdot 10^{-7}$	3,25
ІАБ ППР	$3,041 \cdot 10^{-5}$	$3,041 \cdot 10^{-5}$	0,00	0,00

З табл. 3 та 4 видно, що впровадженний технічний проект ДСАЖВ дає зменшення ЧПАЗ порівняно з попереднім технічним проектом ДСАЖВ для всіх ІАБ на номінальному рівні потужності.

Висновки

Впровадження ДСАЖВ істотно підвищує безпеку енергоблока, оскільки:

знижується можлива частота пошкодження активної зони для всіх вихідних подій, не пов'язаних з течєю 1-го контуру, охоплюючи МРЗ;

забезпечується безпечна аварійна зупинка РУ і введення її в холодний стан за допомогою тепловідведення через 2-й контур в разі припиненні подачі живильної води в ПГ існуючими системами.

Система розташовується в окремо розташованій будівлі, яка розраховується на екстремальні впливи, а саме: максимальний розрахунковий землетрус; екстремальне снігове

навантаження; екстремальне вітрове навантаження; навантаження від смерчу й повітряної ударної хвилі.

Система забезпечує відведення залишкових тепловиділень від реактора і розхолодження РУ скидання пари в атмосферу через скидні пристрої.

З впровадженням ДСАЖВ підвищується ступінь резервування наявних каналів подачі аварійної живильної води в ПГ, оскільки система по суті є третім додатковим каналом системи безпеки, який працює в разі відмови наявних двох. Унаслідок повної незалежності ДСАЖВ від інших систем енергоблока забезпечується надійна робота системи за будь-яких вихідних подій, які призводять до порушення умов нормальної експлуатації або до проектних аварій.

Аналіз впливу даної системи на зниження ЧПАЗ показав, що для всіх проаналізованих ІАБ енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС впровадження системи ДСАЖВ значно знижує ЧПАЗ. Так, для інтегрального ІАБ 1-го рівня на номінальному рівні потужності зниження ЧПАЗ становить 25,41 % для енергоблока № 1 і 47,65 % для енергоблока № 2. Слід зазначити, що впровадження ДСАЖВ найвагоміше вплинуло на ІАБ ЗЕВ: ЧПАЗ зменшується на 92 % для енергоблока № 1 та на 92,37 % — для енергоблока № 2 РАЕС.

При аналізі впровадженого і попереднього технічних проектів ДСАЖВ встановлено, що впровадженний технічний проект має ще більший вплив на підвищення рівня безпеки енергоблоків №№ 1, 2 РАЕС.

Список використаної літератури

1. Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-440 модель 213 и их категории. IAEA-EBR-WWER-03. — Вена: МАГАТЭ, 1997.
2. Правила проектирования и сооружения систем атомных электростанций с реактором типа PWR 1400 MBT, RCC-P: Перевод. — 1991, октябрь.
3. Анализ возможности применения концепции зона без разрыва для высокоэнергетичных трубопроводов 2-го контура за пределами герметичного объема. 38-6A1.218.002.OT00.
4. Ривненская АЭС. Энергоблок № 1. Обоснование компенсирующих мероприятий при невозможности применения концепции (зона без разрыва), мероприятие 2.4.2 КПБ КМУ. Итоговый отчет по обоснованию компенсирующих мероприятий при невозможности применения концепции «зона без разрыва». EP06-2008.120.ОД01, 2008.
5. Ривненская АЭС. Энергоблок № 2. Обоснование компенсирующих мероприятий при невозможности применения концепции «зона без разрыва» для энергоблока № 2 ВП РАЭС, мероприятие 2.4.2 КПБ КМУ. Итоговый отчет по обоснованию компенсирующих мероприятий при невозможности применения концепции «зона без разрыва». EP46-2008.110.ОД.1, 2010.
6. Застосування ризик-орієнтованих підходів у діяльності по регулюванню безпеки АЕС України: проект НП 306.2.01.1-05 / Державний комітет ядерного регулювання України. — К., 2005.
7. An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to The Licensing Basis / US Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.174. — 2002.
8. IAEA-TECDOC-478. Component reliability data for use in probabilistic safety assessment. — 1988.
9. Ривненская АЭС. Энергоблоки № 1,2. Реконструкция. Окончательный отчет по анализу безопасности. Дополнительная система аварийной питательной воды парогенераторов. 176-ООАБ-ДСАПВ-ЦОС, 2010.
10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации дополнительной системы аварийной питательной воды ПГ. Защитная система безопасности. Блок № 1, 2. Ривненская АЭС. — 2011.

Отримано 12.02.2012.