

3 ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПЕКИ МАЛОГО МОДУЛЬНОГО РЕАКТОРА SMR-160

3.1 Вступ

Ядерна енергія є одним із джерел, яке виробляє чисту енергію. Реактори нового покоління принесуть переваги чистої, надійної ядерної енергії в більше місць, ніж будь-коли раніше. Малі модульні реактори (ММР) – це простіші, менш масштабні версії традиційних реакторів, потужністю до 300 МВт електричної енергії.

Малий	• стосується потужності і фізичного розміру РУ
Модульний	• може виготовлятися окремими модулями на заводі
Реактор	• використання ядерного поділу для виробництва енергії

Рисунок 3 – Що таке ММР

Малі модульні реактори – це новий етап у розвитку атомної енергетики. На даний момент є близько 70-ти різних проектів ММР [2]. Удосконалені конструкції реакторів включають у себе еволюційні та інноваційні реакторні технології. Еволюційні реакторні технології покращують уже існуючі проекти за допомогою певних модифікацій, але зі збереженням перевірених конструктивних особливостей для мінімізації технологічних ризиків. Сюди відносяться малі модульні реактори, де теплоносієм і сповільнювачем є вода. У свою чергу, інноваційні реакторні технології включають у себе кардинальні зміни у використанні матеріалів, палива, теплоносія, температурних режимів тощо. Сюди можна віднести високотемпературні реактори з

газовим теплоносієм, реактор на швидких нейтронах з рідкометалевим, натрієвим або газовим теплоносієм, а також реактор, де теплоносієм є суміш розплавлених солей. Серед усіх проектів одним із найбільш продвинутих в плані ліцензування є SMR-160.

SMR-160 – це невеликий реактор з водою під тиском (PWR), який генерує 160 **МВт** електричної потужності (рис. В.1). Його розробником є Holtec International. В основу роботи реактору покладено пасивний принцип, що в перспективі робить цей реактор одним з найбезпечніших. Даний реактор сконструйований так, що вся охолоджуюча вода, необхідна для ефективного відведення теплоти, розташована всередині герметичного огороження. Окрім того, більшість систем безпеки, які підключені до системи охолодження, є повністю пасивними. У першому контурі наявна природня циркуляція, яка забезпечує гарантовану циркуляцію теплоносія, тим самим усуваючи необхідність насосів передавати теплову енергію для виробництва електроенергії під час нормальної експлуатації та відводити тепло від активної зони реактора.

3.2 Основні системи. Їх призначення та склад

3.2.1 Циркуляційний контур реактору

Дана система транспортує воду, що нагріта в активній зоні реактора, до труб парогенератора (рис. В.2). Гарячий теплоносій передає енергію на другий контур парогенератора, там теплоносій другого контуру перетворюється на пару і йде в систему паропроводу. Гарячий теплоносій охолоджується, проходячи через трубки парогенератора, і повертається до входу у реакторну установку. Циркуляційний контур реактору включає в себе наступне:

- реакторну установку, що містить активну зону реактора та стрижні управління;
- парогенератор, який містить трубки, які передають тепло між першим та другим контурами.

– компенсатор тиску, який встановлюється на верхній частині парогенератора і має з'єднання з першим контуром реактору.

3.2.2 Система паропроводів

Це є система трубопроводів, що з'єднує парогенератор з турбіною. Система паропроводів містить запобіжні клапани для скидання пари, у випадках коли це необхідно.

3.2.3 Система живлення та конденсату

Конденсатор конденсує пару з турбіни, яка потім перекачується системою живлення конденсату назад до парогенератора, щоб знову створити пару. Система складається з декількох насосів живильної води та підігрівачів живильної води.

3.2.4 Система підживлення і продувки

Дана система контролює об'єм та хімічний склад теплоносія у першому контурі. Система забезпечує циркуляцію теплоносія у першому контурі для підтримки об'єму води під тиском і концентрації бору. Система складається з рециркуляційних насосів, також є резервуари для очищення теплоносія (СВО). Насоси використовуються для збільшення об'єму теплоносія по першому контуру.

Рециркуляційний контур системи підживлення-ПРОДУВКИ складається з наступного:

- трубопровід, який врізається в “ХОЛОДНУ” НИТКУ;
- регенеративний теплообмінник та доохолоджувач;
- фільтри;
- іонообмінники;
- деаератор для дегазації води;
- рециркуляційні насоси для примусового потоку в циркуляційному контурі;

– трубопровід, який врізається в іншу частину “холодної” нитки для повернення чистої води до реактору.

Також є контур підживлення, який складається з трубопроводу, який врізається до контуру рециркуляції, лінії для подачі борованої води та лінії для подачі дистилляту.

3.2.5 Система управління та захисту

Система управління та захисту (СУЗ) реактора забезпечує управління реактором при його пуску, роботі на потужності, плановому чи аварійному зупиненні реактора і відноситься до системи важливої для безпеки. Дана система призначена для:

- управління реактивністю та потужністю РУ;
- контролю потужності нейтронного потоку, швидкості його зміни, технологічних параметрів, необхідних для захисту та управління реактивністю і потужністю РУ;
- переведення активної зони реактора в підкритичний стан та утримання її у підкритичному стані.

3.2.6 Система охолодження басейну витримки

Система охолодження басейну витримки (БВ) є замкненою системою з двома паралельними шляхами потоку, яка забезпечує ефективне відведення теплоти від відпрацьованих тепловиділяючих збірок.

Таблиця 3.1 – Основні геометричні параметри теплообмінника

Найменування	Значення
Кількість труб	1980
Зовнішній діаметр трубки (мм)	15,875
Товщина трубки (мм)	1
Довжина труби (м)	3,81

Кожен канал має теплообмінник та насос. Вода з БВ всмоктується в теплообмінник, охолоджується і потім повертається назад у БВ. Деталі теплообмінника представлені у таблиці 1

3.2.7 Система відводу залишкового тепла

Система відведення залишкового тепла є універсальною високопродуктивною системою низького тиску, яку можна використовувати для відведення залишкового тепла від активної зони і зниження температури теплоносія під час зупину реактора. Складається з двох окремих та незалежних каналів, кожен з яких включає у себе:

- два насоси;
- один теплообмінник;
- трубопроводи, арматуру, контрольно-вимірювальні прилади.

3.2.8 Пасивна система охолодження активної зони

Дана система забезпечує надійне охолодження активної зони при порушеннях нормальних умов експлуатації та аварійних ситуаціях (рис. В.5). Складається з 4-х підсистем:

- системи відводу теплоти по першому контуру;
- системи відводу теплоти по другому контуру;
- системи автоматичного зниження тиску;
- система пасивного підживлення активної зони.

Система відводу теплоти по першому контуру призначена для охолодження теплоносія за допомогою двох теплообмінників. Відповідно теплоносії передає свою теплоту до живильної води, яка знаходиться в іншому контурі, котра в свою чергу через інший теплообмінник передає теплоту до кільцевого водного резервуару, який являється кінцевим поглиначем тепла. В додатковому контурі передбачений розширювальний бак, який використовується для захисту від надмірного тиску. Резервуар частково заповнений повітрям, стисливість якого амортизує удар,

викликаний гідроударом, і поглинає надлишковий тиск води, викликаний тепловим розширенням.

Щодо системи відводу тепла по другому контуру, то ситуація аналогічна. Пара забирається із парогенератора, проходить через трубки теплообмінника і конденсується на них, передаючи свою теплоту до кільцевого водного резервуару. Деталі теплообмінника представлені у таблиці 2.

Таблиця 3.2 – Основні геометричні параметри теплообмінника

Найменування	Значення
Кількість труб	125
Зовнішній діаметр трубки (мм)	31,75
Товщина трубки (мм)	1,27
Довжина трубки (м)	10,668

Система автоматичного зниження тиску контролювано знижує тиск в реакторі, для того щоб забезпечити поетапне підживлення активної зони та дозволити тривалу рециркуляцію теплоносія в реакторі. Ця система складається з двох ступенів, які будуть розглянуті далі.

Пасивна системи підживлення активної зони забезпечує подачу води до активної зони реактора. Застосовується спрощена система, яка складається всього із двох ступенів. На першому ступені із ГЄ САОЗ борована вода подається в активну зону.



Рисунок 4 – ГЄ САОЗ [7]

ГЄ схожі на ті, що використовуються у звичайних реакторах ВВЕР. Вони являють собою великі сферичні баки приблизно на три чверті заповнені борованою водою, а інша частина – стисненим азотом. Випускна лінія ГЄ підключена до лінії прямого вводу в активну зону. Пара зворотних клапанів запобігає вприскуванню потоку за нормальних умов експлуатації. Коли тиск у реакторі падає нижче тиску в баці, наприклад, у разі аварії із втратою ТЕПЛОНОСІЯ, зворотні клапани відкриваються, дозволяючи вприскувати теплоносії у реактор.

На другому ступені здійснюється подача борованої води під дією сили тяжіння через сітчасті фільтри, які знаходяться в баках підживлення активної зони.

3.2.9 Пасивна система відводу тепла Від герметичного огороження.

Ця система забезпечує ефективне відведення тепла від герметичного огороження до кільцевого водного резервуару (рис. В.3). Як стверджує розробник, об'єм води в кільцевому резервуарі достатній для відведення тепла протягом 3-х місяців, після цього можливе повітряне охолодження. У самому кільцевому резервуарі знаходиться приблизно 625 тонн води.

3.3 Пасивні системи безпеки

Відповідно до [8], пасивна система визначається або як система, що повністю складається з пасивних компонентів і конструкцій, або як система, в якій дуже обмежено використовуються активні компоненти для ініціювання подальшої пасивної роботи. МАГАТЕ класифікує пасивні засоби безпеки за чотирма різними категоріями залежно від їхньої функціональності.

До засобів пасивної безпеки категорії А відносяться ті, які не вимагають введення зовнішніх сигналів, зовнішніх джерел енергії або сил і не мають механічних частин, що рухаються, ні рухомої робочої рідини. Прикладами заходів безпеки є фізичні бар'єри, зміцнені будівельні конструкції для захисту об'єкта від зовнішніх

ВПЛИВІВ, системи охолодження активної зони, засновані лише на радіаційному теплообміні та/або теплопровідності від ядерного палива до зовнішніх частин конструкції при гарячому зупиненні реактора та статичні компоненти пасивних систем, пов'язаних з безпекою (наприклад, труби, компенсатори тиску, баки та зрівняльні резервуари), а також конструктивні деталі (наприклад, опори, обмежувачі і т.д.).

До засобів пасивної безпеки категорії В відносяться ті, які не вимагають введення зовнішніх сигналів, зовнішніх джерел енергії або сил, і не мають механічних частин, що рухаються. Однак у них є робоча рідина, що рухається.

Приклади засобів безпеки категорії В:

- системи аварійного розхолодження реактора, засновані на упорскуванні охолоджуючої води;
- охолодження активної зони реактора на основі природної циркуляції в теплообмінниках, занурених у резервуари з водою (всередині захисної оболонки), яким безпосередньо передається залишкове тепло при знеструмленні станції;
- системи охолодження захисної оболонки, засновані на природній циркуляції повітря, що обтікає стіни захисної оболонки, з впуском та випуском через вентиляційну трубу;
- тривале охолодження захисної оболонки шляхом конденсації пари за допомогою конденсаторів, занурених у басейн із водою.

Щодо SMR-160, то до засобів пасивної безпеки категорії В можна віднести пасивну систему відводу тепла від герметичного огороження.

Засоби пасивної безпеки категорії С - це ті, які не вимагають введення зовнішніх сигналів або зовнішніх джерел енергії або сил. Однак вони мають рухомі механічні частини незалежно від того, чи присутні робочі рідини, що рухаються. Прикладами заходів безпеки є системи аварійного упорскування, що складаються з резервуарів для зберігання та випускних ліній, обладнаних зворотними клапанами, пристрої захисту від надлишкового тиску та/або аварійного охолодження систем обмеження тиску на

основі скидання рідини через запобіжні клапани, фільтруючі системи вентиляції захисної оболонки та механічні приводи, такі як зворотні та запобіжні клапани, а також деякі механізми відключення (наприклад, датчики температури, тиску та рівня). У SMR-160 до засобів пасивної безпеки категорії С можна віднести гідроємності **САОЗ**.

Пасивні засоби безпеки категорії D, які називаються функціями типу «пасивне ВИКОНАННЯ», є пасивними функціями, в яких виконання функції безпеки здійснюється за допомогою пасивних методів, описаних у попередніх категоріях, за винятком того, що внутрішній інтелект недоступний для ініціювання процесу. У цих випадках для запуску пасивного процесу потрібний зовнішній сигнал. Прикладами систем безпеки категорії D є пасивна система відводу теплоти по першому контуру, пасивна система відводу теплоти по другому контуру, система автоматичного зниження тиску та частково система підживлення активної зони.

3.3.1 Функціонування пасивних систем при втраті теплоносія (теча першого контуру або розрив трубки парогенератора)

Після течі першого контуру або розриву трубки парогенератора Зниження тиску в першому контурі ПРИЗВЕДЕ до спрацювання системи аварійного захисту, відключення реактора, зменшуючи потужність активної зони для зниження енерговиділення в активній зоні. Сигнал S буде спрацьовувати з системою захисту станції, оскільки тиск в реакторі продовжує знижуватися. S-Signal ізолює герметичне ОГОРОДЖЕННЯ, головну систему паропроводу, головну систему живлення та конденсату, а також систему підживлення і продувки. Окрім того, активує пасивну систему відводу тепла по першому контуру, пасивну систему відводу тепла по другому контуру та активує логіку керування для системи автоматичного зниження тиску. У таблиці 3 представлено зміну параметрів протягом певного часу у теплообміннику пасивної системи відводу теплоти по другому контуру.

Таблиця 3.3 – Зміна параметрів у теплообміннику

Час (с)	Температура на вході (°C)	Тиск на вході (МПа)	Масова витрата на ВХОДІ (кг/с)	Температура на виході (°C)
1000	244	3,027	3,90	127
10000	188	1,103	2,38	113
50000	141	0,352	0,91	99

Оскільки тиск у реакторі зменшується за рахунок спрацювання першого етапу системи автоматичного зниження тиску, ГЄ САОЗ будуть подавати боровану воду для охолодження активної зони через лінії прямого вводу в активну зону. Після спорожнення баків тиск продовжуватиме знижуватися, доки не буде активовано другий етап системи автоматичного зниження тиску. Охолоджуюча рідина випускається з нижнього частини гарячої нитки в паровий простір захисної оболонки. Також після спрацювання другого етапу клапани впорскування баку підживлення активної зони відкриваються і борована вода пасивно подається до нижньої частини активної зони.

Відповідно пароводяна суміш буде скинута в ГО за допомогою другого етапу системи автоматичного зниження тиску. Рідина, яка сконденсувалась, почне заливати захисну оболонку та вилитися в басейн витримки. Оскільки кількість борованої води у баку підживлення активної зони зменшується, клапани рециркуляції баку підживлення активної зони відкриються на основі низького рівня борованої води. Ці рециркуляційні клапани з'єднують басейн витримки з баком підживлення активної зони (рис. 4), і тепер установка перебуває в режимі тривалого охолодження.

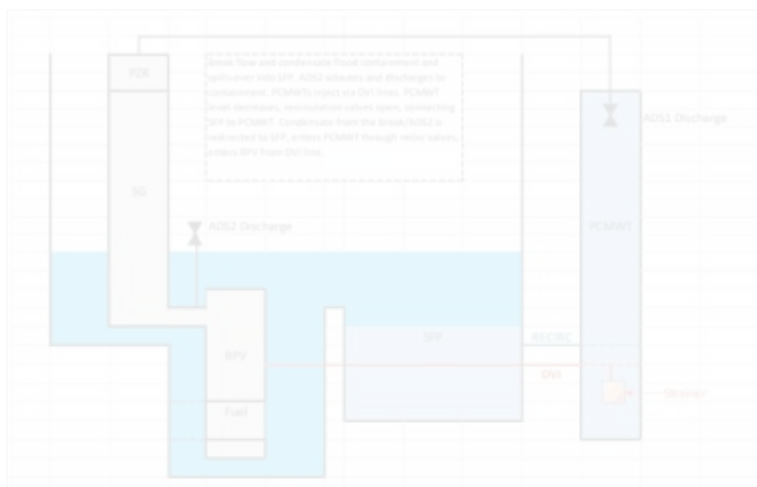


Рисунок 5 – Схематичне зображення з'єднання БВ із баком підживлення активної ЗОНИ

Окрім того, ще спрацює пасивна система відводу теплоти від герметичного огороження. За рахунок тонкого сталюого шару теплота ефективно відводиться до кільцевого водного резервуару, відбувається процес теплообміну.

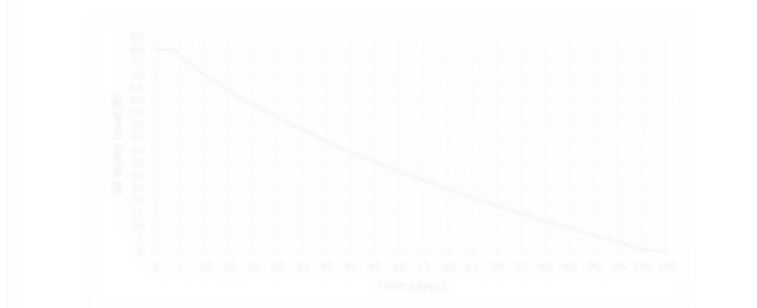


Рисунок 6 – Графік зміни рівня в кільцевому водному резервуарі при довготривалому охолодженні

3.3.2 Функціонування пасивних систем при інших ситуаціях

У разі події, не пов'язаної з течєю першого контуру, система захисту стації активує відключення реактора, зменшуючи потужність активної зони для зниження енерговиділення в активній зоні, після цього пізніше активує S-Signal, пасивну систему відводу тепла від першого контуру і пасивну систему відводу тепла від другого контуру. S-Signal ізолює головну систему паропроводу, головну систему живлення та конденсату, а також систему підживлення і продувки. В свою чергу, СИСТЕМА відводу тепла від першого контуру і система відводу тепла від ДРУГОГО КОНТУРУ відводитимуть тепло з реактора до кільцевого водного резервуару. Обидві СИСТЕМИ здатні відводити тепло протягом щонайменше 72 годин.

Теплоносій увійде в петлю пасивної системи відводу тепла по першому контуру з гарячої нитки і піде вгору до верхньої частини теплообмінника. Гарячий теплоносій передаватиме енергію до допоміжного контуру і повертатиметься до нижньої частини парогенератора. Нагріта вода у допоміжному контурі підніметься вгору і потрапить у верхню частину іншого теплообмінника, там передасть теплоту до кільцевого водного резервуару, який оточує трубки теплообмінника, і повернеться до нижньої частини першого теплообмінника.

Після відключення реактора та спрацьовування даних систем природна циркуляція все ще відбуватиметься в першому контурі. Таким чином, енергія буде передаватися до другого контуру через трубки парогенератора. Пар продовжуватиме вироблятися і рухатися вгору до петлі системи відводу тепла по другому контуру. Пара надходитиме у теплообмінник, буде передавати тепло до кільцевого водного резервуару, конденсуватися в рідину і повертатися на дно парогенератора через зворотний трубопровід.

У разі гільйотинного розриву основного паропроводу або розриву лінії живильної води всередині герметичної оболонки, систему відводу теплоти по другому контуру буде виведено з ладу. При розриві основного паропроводу пара з парогенератора буде виходити з МІСЦЯ розриву замість того, щоб потрапити до

теплообмінника, таким чином не буде конденсату для повернення в теплообмінник через лінію живильної води. При обриві лінії живильної води пара, яка конденсується в теплообміннику, буде виходити через розрив замість того, щоб потрапити до парогенератора. У будь-якому випадку, спрацює система відводу тепла по першому контуру, яка розроблена таким чином, що може відводити теплоту протягом більше ніж 72 годин і забезпечувати достатнє охолодження активної зони.

3.4 Реалізація глибокоешелонованого захисту

Для компенсації потенційних помилок людини або механічних відмов реалізується концепція глибокоешелонованого захисту, що спирається на декілька рівнів захисту та включає певну послідовність бар'єрів на шляху виходу радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище. Ця концепція включає захист бар'єрів за допомогою запобігання пошкодженню станції та ушкодження самих бар'єрів. Вона включає подальші заходи захисту населення та навколишнього середовища від шкоди, якщо бар'єри виявляться не цілком ефективними [9].

Можливі два типи подій, що впливають на стан глибокоешелонованого захисту:

- вихідна подія, яка потребує дії певних систем безпеки, призначених для подолання наслідків цієї вихідної події;
- погіршення працездатності однієї чи більшого числа систем безпеки без настання вихідної події, для якого передбачені ці системи безпеки.

Принцип глибокоешелонованого захисту реалізується, насамперед, шляхом створення серії бар'єрів, які мають принципово ніколи не перебувати під загрозою, і які, у свою чергу, мають бути порушені перш, ніж може бути завдано шкоди людині та навколишньому середовищу. Згідно [10], у систему послідовних фізичних бар'єрів входить:

- паливна матриця;
- оболонка твела;

- межа контуру теплоносія РУ;
- герметичне огороження РУ;
- біологічний захист.

Глибокоешелонований захист складається з п'яти рівнів. У разі відмови одного рівня у дію входить наступний рівень. Метою першого рівня захисту є запобігання позаштатній роботі та відмови системи. Якщо перший рівень не здатний контролювати, порушення нормальних умов експлуатації чи відмови виявляються другим рівнем захисту. У разі відмови другого рівня, третій рівень забезпечує подальше виконання функцій безпеки, здійснюється шляхом активації певних систем безпеки та інших функцій безпеки. Якщо третій рівень не здатний впоратись, то в дію йде четвертий рівень. Четвертий рівень обмежує розвиток аварії за рахунок управління аваріями, щоб запобігти або пом'якшити важкі аварійні умови із зовнішніми викидами радіоактивні матеріали. Останній п'ятий рівень забезпечує зниження радіологічних наслідків значних зовнішніх викидів за межі майданчика, а також реагування на надзвичайні ситуації.

Для ефективної реалізації глибокоешелонованого захисту деякі основні передумови застосовуються до всіх заходів на рівнях з першого по п'ятий. Ці передумови взаємопов'язані і виконуються як частина політики безпечного проектування та експлуатації, є відповідним консерватизмом, забезпеченням якості та культури безпеки.

Заходи на рівні 1 включають широкий спектр консервативних положень у дизайні, від розміщення до кінця життя станції, спрямованих на утримання радіоактивного матеріалу і мінімізації відхилень від нормальних умов експлуатації (включаючи перехідні умови та стани зупинки реактора).

Таблиця 3.4 – Реалізація першого рівня ГЕЗ відповідно до [10]

	Засоби досягнення мети	Виконання для SMR-160
Рівень 1. Запобігання порушенням нормальної експлуатації	Вибір майданчика для розміщення АС відповідно до вимог нормативних документів.	Ядерна установка та басейн витримки установлені нижче рівня ґрунту, більший захист від зовнішніх небезпек (рис. В.4). Тому вимоги до вибору майданчика для SMR-160 є менш жорсткими ніж до «великих» АЕС.
	розробка проекту на основі консервативного підходу з максимальним використанням властивостей внутрішньої самозахисності РУ.	Дана вимога виконується .
	забезпечення необхідної якості систем і елементів АС, робіт з її будівництва, експлуатації і модернізації.	Така вимога є і вона має бути забезпечена на етапі будівництва. Забезпечення необхідної якості систем та елементів АС буде реалізовуватись за рахунок того, що більшість елементів буде збиратися відразу на заводі. У конструкції SMR-160 приділяється особлива увага стабільній роботі та великому запасу міцності.
	наявність автоматичних технічних засобів, які запобігають порушенню вимог нормальної експлуатації.	Передбачається система управління станцією , яка контролює установку у ВСіх режимах експлуатації.
експлуатація енергоблока відповідно до вимог нормативних документів, технологічних регламентів безпечної експлуатації та інструкцій з експлуатації.	Буде забезпечено на етапі експлуатації. До початку експлуатації передбачається розробка всієї необхідної експлуатаційної документації	

Продовження табл. 3.4

підтримка в робочому стані конструкцій, систем та елементів, важливих для безпеки, шляхом своєчасного виявлення дефектів і вжиття профілактичних заходів проти їх виникнення, заміни обладнання, яке відпрацювало свій ресурс, організації ефективно діючої системи контролю конструкцій, систем та елементів, їх технічного обслуговування, ремонту і модернізації, документування результатів зазначених робіт.	На етапі експлуатації.
підбір, підготовка персоналу і забезпечення необхідного рівня його кваліфікації	Передбачається менша кількість персоналу. Забезпечення необхідної кваліфікації за рахунок використання тренажеру. Пасивні системи зводять до мінімуму імовірність помилки персоналу.
формування і розвиток культури безпеки.	Має бути забезпечено на етапі експлуатації.

Рівень 2 включає притаманні станції характеристики, такі як стабільність активної зони та системи контролю нормальної роботи, передбачувані експлуатаційні події з урахуванням явищ, які можуть спричинити подальше погіршення стану станції. Системи для пом'якшення наслідків таких операцій розроблені відповідно до конкретних принципів, а саме резервування, різноманітність, фізичне розділення. Метою є повернути станцію до нормального режиму експлуатації якнайшвидше.

Діагностичні інструменти та обладнання, такі як системи автоматичного керування, можуть бути забезпечені для введення в дію коригувальних дій до досягнення межі захисту реактор. Прикладами є запобіжні клапани, автоматичні

системи обмеження потужності, тиску, температури або рівня охолоджуючої рідини, а також функція контролю процесу системи, яка записує і повідомляє про несправності в диспетчерській. Також необхідна перевірка та періодичні випробування систем і компонентів установки виявляти будь-яку деградацію обладнання та систем, перш ніж це може вплинути на безпеку станції.

Таблиця 3.5 – Реалізація другого рівня ГЕЗ відповідно до [10]

	Засоби досягнення мети	Виконання для SMR-160
Рівень 2. Забезпечення безпеки при порушеннях нормальної експлуатації і запобігання аварійним ситуаціям	своєчасне виявлення і усунення відхилень від нормальної експлуатації. наявність автоматично діючих захистів і блокувань, які запобігають переростанню порушень нормальної експлуатації в аварійні ситуації. дії персоналу відповідно до вимог інструкцій і технологічних регламентів безпечної експлуатації, їх постійне удосконалення з урахуванням досвіду, що накопичується і нових науково-технічних даних. тренування персоналу щодо дій у випадку порушень нормальної експлуатації.	Використання системи моніторингу та контролю. Наразі зазначена інформація для проекту відсутня. В проекті будуть передбачені захисти та блокування. Вимоги обґрунтовано є меншими. Пасивні системи знижують залежність безпеки ядерно-енергетичної установки від дій оператора під час переходу з одного режиму роботи на інший режим або при аваріях (принцип «внутрішньої властивості безпеки»). Це зменшує обсяг підготовки оператора. Передбачається.

Незважаючи на заходи щодо запобігання, можуть виникнути аварійні ситуації, проектні аварії. Інженерні функції безпеки та системи захисту застосовуються для того, щоб запобігти розвитку до серйозних аварій, а також для утримання

радіоактивних матеріалів. Ці заходи, що вживаються на цьому рівні, спрямовані, зокрема, на запобігання пошкодженню активної зони.

Інженерні засоби безпеки розроблені на основі постульованих аварій, що представляють граничні навантаження наборів подібних подій. Типові постульовані аварії це ті, що виникають на станції, наприклад, прорив труби у реакторі (втрата теплоносія) або в магістральному паропроводі або лінії живильної води, або втрата контролю критичності, наприклад, при повільному неконтрольованому розведенні бору або виведенні стрижнів управління.

Проектування та експлуатаційні процедури спрямовані на збереження ефективності бар'єрів, особливо герметичність, у разі такої постульованої аварії. У SMR-160 використовуються пасивні інженерні системи безпеки. Системи безпеки активуються системою захисту реактора, коли це необхідно.

Таблиця 3.6 – Реалізація третього рівня ГЕЗ відповідно до [10]

	Засоби досягнення мети	Виконання для SMR-160
Рівень 3. Запобігання і ліквідація аварій	наявність систем безпеки (захисних, локалізуючих, забезпечуючих, керівних), призначених для подолання аварійних ситуацій і проектних аварій, ліквідації їх наслідків і запобігання переростанню в запроектні аварії.	Застосовується система захисту станції, яка виконує аварійний зупин реактора та активує пасивні системи захисту. Використовуються такі пасивні системи як: 1) система відводу тепла по першому контуру, 2) система відводу тепла по другому контуру, 3) система автоматичного зниження тиску, 4) система підживлення активної зони; 5) система відводу тепла від герметичного огороження. Кінцевим поглиначем тепла є кільцевий водний резервуар.

Продовження табл. 3.6

Засоби досягнення мети	Виконання для SMR-160
використання систем нормальної експлуатації для запобігання аварійним ситуаціям і проектним аваріям, а також для обмеження їх наслідків.	Такі системи передбачаються.
наявність і застосування інструкцій з ліквідації аварій і дії персоналу відповідно до їх ВИМОГ.	Наразі для SMR-160 відсутні інструкції з ліквідації аварій. Однак, ці інструкції мають бути розроблені після завершення робіт з розробки проекту та виконання аналізів безпеки проекту. Однак, з урахуванням того, що системи безпеки є пасивними, то втручання персоналу в управління аваріями буде мінімальним.
тренування персоналу на повномасштабних тренажерах щодо дій у випадку аварій.	З урахуванням того, що з використанням пасивних систем ймовірність помилки персоналу менша, тренувальний процес буде простішим.

Для концепції ГЕЗ передбачається, що заходи, розглянуті на перших трьох рівнях, забезпечать збереження структурної цілісності активної зони та обмежать потенційну радіаційну небезпеку для громадськості. Тим не менш, докладаються додаткові зусилля для подальшого зменшення ризиків. Мета четвертого рівня захисту полягає в тому, щоб гарантувати, що ймовірність аварії, що спричиняє серйозне пошкодження активної зони і величина радіоактивного викиду у малоімовірному разі виникнення серйозного стану станції, підтримуються на низькому рівні як розумно досяжні з урахуванням економічних та соціальних факторів (принцип ALARA) [11].

Функції, що захищають захисну оболонку, такі як охолодження захисної оболонки зазвичай проектується та аналізується за тими ж консервативними стандартами, що й технічні засоби безпеки. Така конструкція забезпечує можливість підтримки ефективного функціонування захисної оболонки у більш тяжких умовах станції.

Спеціальні заходи щодо управління аваріями встановлюються на основі досліджень безпеки та результатів досліджень. Ці заходи повністю використовують наявні можливості станції, включаючи наявне обладнання, що не пов'язане з безпекою. Наприклад, у SMR-160 повітряне охолодження може бути використане у разі втрати кінцевого поглинача тепла.

Таблиця 3.7 – Реалізація четвертого рівня ГЕЗ відповідно до [10]

	Засоби досягнення мети	Виконання для SMR-160
Рівень 4. Управління запроектними аваріями	використання систем нормальної експлуатації і систем безпеки для запобігання і розвитку запроектних аварій, обмеження наслідків, а також повернення РУ у контрольований стан. наявність і застосування інструкцій щодо управління запроектними аваріями, спрямованих на припинення ланцюгової реакції ділення, ефективне охолодження ядерного палива і утримання радіоактивних речовин у встановлених межах, а також обмеження наслідків важких аварій, включаючи захист герметичного огороження від руйнування.	Системи безпеки, які використовуються на 3-му рівні ГЕЗ також застосовуються і для 4-го рівня ГЕЗ. Наразі для SMR-160 відсутні інструкції з управління запроектними аваріями. Однак, ці інструкції мають бути розроблені після завершення робіт з розробки проекту та виконання аналізів безпеки проекту.

Продовження табл. 3.7

	Засоби досягнення мети наявність і застосування інструкцій з управління важкими аваріями, спрямованих на запобігання виходу розплаву активної зони з корпусу реактора і порушення цілісності герметичного огороження, обмеження радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище, та на створення умов для своєчасної реалізації планів щодо захисту персоналу і населення.	Виконання для SMR-160 Наразі для SMR-160 відсутні інструкції з управління важкими аваріями. Однак, ці інструкції мають бути розроблені після завершення робіт з розробки проєкту та виконання аналізів безпеки проєкту.
	дії персоналу відповідно до вимог інструкцій з управління запроектними аваріями.	З урахуванням того, що системи безпеки є пасивними, то втручання персоналу в управління запроектними аваріями буде мінімальним.
	тренування персоналу з управління запроектними аваріями.	Тренування персоналу передбачено з використанням тренажеру.

Навіть якщо очікується, що зусилля, описані вище, будуть ефективними в обмеження наслідків тяжких аварій, це було б несумісне з поглядом глибокоошелюваного захисту, щоб відхилити плани дій у надзвичайних ситуаціях за межами майданчика, в дію йде п'ятий рівень.

Аварійні процедури за межами майданчика готуються за погодженням з організацією та відповідальними органами та повинні дотримуватися міжнародних угод. Плани аварійних заходів як на майданчику, так і за її межами періодично відпрацьовуються для міри, необхідної задля забезпечення готовності задіяних організацій.

Таблиця 3.8 – Реалізація п'ятого рівня ГЕЗ відповідно до [10]

	Засоби досягнення мети	Виконання для SMR-160
Рівень 5. Аварійна готовність і реагування	установлення навколо АС санітарно-захисної зони і зони спостереження.	Вимоги до санітарно-захисної зони і зони спостереження у кожній країні є свої. За рахунок меншої потужності і розмірів SMR-160 може мати меншу санітарно-захисну зону і зону спостереження.
	наявність аварійних планів, планів аварійного реагування, їх ефективність і готовність до реалізації періодично перевіряються під час протиаварійних тренувань і навчань.	На етапі введення в експлуатацію.
	будівництво протирадіаційних сховищ і кризових центрів.	На етапі введення в експлуатацію.

3.5 Висновок

Роль концепції ГЕЗ у забезпеченні безпечної експлуатації АЕС є дуже важливою. Реалізація принципу ГЕЗ дозволяє досягти головної мети безпеки при експлуатації АЕС - запобігання відмова і аваріям, а у разі їх виникнення передбачає засоби та заходи щодо їх подолання або пом'якшення наслідків аварій. Проте, принцип ГЕЗ буде реалізований повною мірою, якщо буде забезпечена ефективність усіх п'яти рівнів.

Реактори, що діють нині, або так звані традиційні реактори — це в основному реактори II покоління, в яких для забезпечення безпеки реакторів широко використовуються «активні» системи безпеки. Ці системи безпеки мають певні можливості для припинення подій або аварій, але обмежені надійністю активних систем безпеки або оперативними діями оператора.

ГЕЗ найповніше реалізується в проектах АЕС нового покоління, серед яких і є SMR-160, у якому є застосування пасивних систем безпеки і властивостей внутрішньої самозахищеності, менша ПОТУЖНІСТЬ і навантаження, а також спрощена експлуатація. Всі ці риси реактора посилюють головну мету ГЕЗ на запобігання аваріям. Надійність конструкції сприяє значному зниженню умовної імовірності аварій внутрішнього чи зовнішнього походження, а пасивні системи безпеки забезпечують можливість відновлення реактора в стабільному стані в будь-яких аварійних умовах, що постулюються. Це можливо, тому що пасивні системи безпеки діють на основі природних законів, таких як плавучість, гравітація, природна конвекція і т. д., та використовують енергію системи для функціонування, на відміну від активних систем, яким для приведення в дію потрібне зовнішнє джерело енергії.

Окрім того, надійні фізичні бар'єри, різноманітні пасивні та активні системи безпеки підвищують безпеку станції та максимізують надійність виробництва електроенергії. У свою чергу, природна циркуляція усуває витрати на головні циркуляційні насоси реактора, технічне обслуговування, і являється однією із властивостей внутрішньої самозахищеності РУ.

Совпадения

Источники из Интернета

7

1	https://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-%D0%94%D0%86%D0%AF%D0%A0%D0%A3/type-%D0%9D%D0%B0%D0%BA%D0%...	8.35%
5	https://www.uatom.org/zagalni-vidomosti-2	1.27%
7	http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/75-entsiklopediya/rozvitok-atomnoji-energetiki-ta-ob-ednanikh-energосystem/...	0.54%
14	https://docs.dtkr.ua/doc/z0512-08	0.2%

4 источника

Источники из Библиотеки

30

2	TYa52-Filoniuk-diploma-2019	ID файла: 1000053709	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	1.52%
3	TZz92mp-KazakovAA-thesis-2020-2	ID файла: 1005720301	Учебное заведение: National Technical Univer	1.43%
4	TYa71mn-IvanovZV-thesis-2019	ID файла: 11883482	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	1.27%
6	Студенческая работа	ID файла: 1005685446	Учебное заведение: Zaporizhzhya National University	0.87%
8	TYa01mn-RomanchukAO-diploma-2022	ID файла: 1011351837	Учебное заведение: National Technical University ...	0.45%
9	TYa61-BadakaDV-diploma-2020-mod	ID файла: 1004049227	Учебное заведение: National Technical University of U...	0.27%
10	TYa01mp-BadakaDV-diploma-2021	ID файла: 1009439214	Учебное заведение: National Technical University of Uk...	0.25%
11	Dozimetry_2	ID файла: 1000855176	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechn...	0.22%
12	Студенческая работа	ID файла: 1004050876	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.2%
13	Студенческая работа	ID файла: 10881948	Учебное заведение: National University of Life and Envir	0.2%
15	Студенческая работа	ID файла: 3510285	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.18%
16	TYa72-PolupanAO-special-question-2021	ID файла: 1008120411	Учебное заведение: National Technical University...	0.18%
17	Студенческая работа	ID файла: 1000652837	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.18%
18	TYa81mp-IllinOM-thesis-2019-1	ID файла: 1000749392	Учебное заведение: National Technical University of Ukrai...	0.18%
19	Миронюк А.М. ТС-01мп	ID файла: 1009268336	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "К...	0.18%