

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря
Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

« ____ »  2026р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
на тему: **АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ
БЕЗПЕКИ НА ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКІЙ АЕС**

Виконав студент 4287ст3 групи

 Мугиль А. О.

Керівник роботи: зав. кафедри
екології та ПТ, д-р.техн.наук,
професор

 Трохименко Г.Г.

Консультант роботи: старший
викладач кафедри екології та ПТ

 Грушина О.Г.

Миколаїв 2026р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря
Кафедра екології та природоохоронних технологій
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 Ремешевська І.В.
« ____ » _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
Студентці Мугиль Альоні Олександрівні

1. Тема роботи: Аналіз системи забезпечення радіаційної безпеки на Південноукраїнській АЕС.

Керівник роботи д-р техн. наук, професор Трохименко Г.Г.

Затверджені наказом ректора № 146 від 22 квітня 2026 року

2. Термін подання роботи: 4.06.2026р.

3. Вихідні дані по роботі: літературні та наукові джерела інформації, законодавча база України, статистичні дані

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
Розділ 1. Теоретичні основи радіаційної безпеки. Розділ 2. Характеристика Південноукраїнської АЕС та джерел радіаційної небезпеки. Розділ 3. Аналіз системи радіаційної безпеки на АЕС. Розділ 4. Оцінка ефективності системи радіаційної безпеки та шляхи її вдосконалення. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік презентаційних матеріалів: Структурно-логічна схема роботи, Нормативне забезпечення радіаційної безпеки в Україні, Загальна характеристика Південноукраїнської АЕС, Основні джерела радіаційної небезпеки на АЕС, Вплив Південноукраїнської АЕС на довкілля, Організація системи радіаційного контролю, Захист персоналу та дозиметричний контроль, Поводження з радіоактивними відходами, Оцінка відповідності нормативним вимогам, Аналіз потенційних ризиків, Оцінка індивідуального радіаційного ризику, Шляхи вдосконалення системи радіаційної безпеки, Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав	завдання прийняв
P5	Маринець О. М.		

7. Дата видачі завдання 24.03.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
P1.	Теоретичні основи радіаційної безпеки	04.06.2026р.	
P2.	Характеристика Південноукраїнської АЕС та джерел радіаційної небезпеки	04.06.2026р.	
P3.	Аналіз системи радіаційної безпеки на АЕС	04.06.2026р.	
P4.	Оцінка ефективності системи радіаційної безпеки та шляхи її вдосконалення	04.06.2026р.	
P5.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	04.06.2026р.	

Студент



А.О. Мугиль

Керівник роботи



Г.Г. Трохименко

Консультант роботи



О.Г. Грушина

АНОТАЦІЯ

на бакалаврську роботу за темою «Аналіз системи забезпечення
радіаційної безпеки на Південноукраїнській АЕС»

Мутиль А.О.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» з технології захисту довкілля – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – Миколаїв. – 2026.

Випускна кваліфікаційна робота присвячена аналізу системи забезпечення радіаційної безпеки на Південноукраїнській АЕС.

У першому розділі роботи подано теоретичні основи радіаційної безпеки.

У другому розділі розглянуто характеристику Південноукраїнської АЕС та джерел радіаційної небезпеки.

У третьому розділі зроблено аналіз системи радіаційної безпеки на АЕС.

У четвертому розділі проведена оцінка ефективності системи радіаційної безпеки та запропоновано шляхи її вдосконалення.

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на АЕС.

Ключові слова: радіаційна та екологічна безпека; іонізуюче випромінювання; моніторинг довкілля; радіоактивні відходи; дозиметричний контроль.

ABSTRACT

for the bachelor's thesis on the topic

"Analysis of the radiation safety system at the South Ukrainian NPP"

Muhyl A.O.

Qualification work for obtaining a higher education degree "Bachelor" in Environmental Protection Technology - Admiral Makarov National University of Shipbuilding. - Mykolaiv. - 2026.

The final qualification work is devoted to the analysis of the radiation safety system at the South Ukrainian NPP.

The first section of the work presents the theoretical foundations of radiation safety.

The second section examines the characteristics of the South Ukrainian NPP and sources of radiation hazard.

The third section analyzes the radiation safety system at the NPP.

The fourth section evaluates the effectiveness of the radiation safety system and suggests ways to improve it.

The fifth section examines the issue of occupational health and safety in emergency situations at the NPP.

Keywords: radiation and environmental safety; ionizing radiation; environmental monitoring; radioactive waste; dosimetric control.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ.....	9
1.1. Основи радіаційної безпеки та вплив іонізуючого випромінювання.....	9
1.2. Нормативне забезпечення радіаційної безпеки в Україні.....	15
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС ТА ДЖЕРЕЛ РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ.....	20
2.1. Загальна характеристика Південноукраїнської АЕС.....	20
2.2. Основні джерела радіаційної небезпеки.....	23
2.3. Потенційний вплив діяльності АЕС на довкілля.....	28
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА АЕС.....	34
3.1. Організація системи радіаційного контролю.....	34
3.2. Захист персоналу та дозиметричний контроль.....	36
3.3. Поводження з радіоактивними відходами та моніторинг довкілля....	38
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ.....	42
4.1. Оцінка відповідності системи нормативним вимогам.....	42
4.2. Аналіз проблем та потенційних ризиків.....	44
4.3. Заходи щодо підвищення рівня радіаційної безпеки.....	51
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	54
5.1. Небезпечні фактори під час експлуатації АЕС.....	54
5.2. Засоби захисту персоналу.....	56
5.3. Дії персоналу у разі радіаційної аварії.....	58
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

ВСТУП

Атомна енергетика є однією з найважливіших складових енергетичного сектору України та забезпечує значну частку виробництва електричної енергії. Надійна та безпечна експлуатація атомних електростанцій має вирішальне значення для енергетичної безпеки держави, захисту населення та збереження навколишнього природного середовища. Водночас використання ядерної енергії пов'язане з потенційною небезпекою впливу іонізуючого випромінювання, що зумовлює необхідність постійного вдосконалення систем радіаційного захисту та контролю.

Питання радіаційної безпеки залишаються актуальними в усьому світі, оскільки наслідки аварій на атомних електростанціях можуть мати довготривалий вплив на здоров'я населення, стан екосистем та соціально-економічний розвиток регіонів. Для України особливого значення набуває забезпечення високого рівня безпеки ядерних установок з урахуванням досвіду ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, сучасних міжнародних вимог МАГАТЕ та нових викликів, пов'язаних із воєнними ризиками для об'єктів критичної інфраструктури.

Актуальність теми полягає у необхідності оцінки ефективності функціонування системи радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС, визначення її відповідності сучасним нормативним вимогам та виявлення можливих напрямів удосконалення. Проведення такого аналізу дозволяє оцінити рівень захищеності персоналу, населення та довкілля від впливу іонізуючого випромінювання, а також сприяє підвищенню екологічної безпеки регіону розташування станції.

Метою роботи є аналіз системи забезпечення радіаційної безпеки на Південноукраїнській АЕС, оцінка її відповідності нормативним вимогам та визначення шляхів підвищення ефективності радіаційного захисту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Розглянути теоретичні основи радіаційної безпеки та вплив іонізуючого випромінювання на людину і навколишнє середовище.

2. Проаналізувати нормативно-правове забезпечення радіаційної безпеки в Україні та міжнародні вимоги МАГАТЕ.

3. Дослідити особливості діяльності Південноукраїнської АЕС та основні джерела радіаційної небезпеки на підприємстві.

4. Проаналізувати організацію системи радіаційного контролю, захисту персоналу та поводження з радіоактивними відходами на ПАЕС.

5. Оцінити ефективність моніторингу довкілля та контролю радіаційної обстановки в зоні впливу станції.

6. Провести оцінку відповідності системи радіаційної безпеки чинним нормативним вимогам.

7. Визначити основні проблеми, потенційні ризики та запропонувати заходи щодо підвищення рівня радіаційної безпеки.

Об'єкт дослідження – система забезпечення радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС.

Предмет дослідження – організаційні, технічні та екологічні аспекти функціонування системи радіаційної безпеки на Південноукраїнській АЕС.

Під час виконання роботи використовувалися методи аналізу нормативної документації, порівняльного аналізу, статистичної обробки даних, оцінки ризиків та узагальнення результатів радіаційного контролю і моніторингу довкілля.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінки ефективності систем радіаційного захисту, удосконалення екологічного моніторингу та підвищення рівня безпеки експлуатації об'єктів атомної енергетики.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

1.1. Основи радіаційної безпеки та вплив іонізуючого випромінювання

Радіаційна безпека є одним з головних напрямів забезпечення екологічної та техногенної безпеки під час експлуатації об'єктів атомної енергетики, основною метою якого є захист персоналу, населення та довкілля від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання. Відповідно до чинного законодавства України, радіаційна безпека визначається як стан захищеності людини та довкілля від негативного впливу іонізуючого випромінювання [21, 27].

Іонізуюче випромінювання - це потік частинок або електромагнітних квантів, енергія яких достатня для утворення іонів у речовині. Основними видами іонізуючого випромінювання є альфа-, бета-, гамма- та нейтронне випромінювання [2,11].

Потік позитивно заряджених частинок (ядер атома гелію), які складаються з двох протонів і двох нейтронів, називають альфа-випромінюванням. Воно виникає під час радіоактивного розпаду важких елементів, таких як уран, радій, плутоній та торій. Альфа-частинки характеризуються дуже високою іонізуючою здатністю, оскільки мають значну масу та високу швидкість руху. Разом з тим проникна здатність альфа-випромінювання є незначною. Альфа-частинки можуть бути затримані аркушем паперу, верхнім шаром шкіри людини або кількома сантиметрами повітря. При зовнішньому опроміненні альфа-випромінювання не становить значної небезпеки, однак його вплив різко зростає у разі потрапляння радіоактивних речовин до організму через органи дихання, травлення або пошкоджену шкіру. У такому випадку відбувається інтенсивне локальне опромінення тканин і внутрішніх органів, що може призвести до серйозних біологічних ушкоджень [2].

Бета-випромінювання являє собою потік електронів або позитронів, які утворюються під час радіоактивного розпаду нестабільних ядер. На відміну

від альфа-випромінювання, бета-частинки мають меншу масу та нижчу іонізуючу здатність, проте характеризуються більшою проникною здатністю. Вони можуть проходити через декілька міліметрів металу або сантиметри біологічної тканини. Під впливом бета-випромінювання можливе виникнення променевих уражень шкіри, опіків та пошкодження тканин. Особливу небезпеку бета-випромінювання становить у випадках внутрішнього опромінення, коли радіонукліди накопичуються в організмі людини. Для захисту від бета-випромінювання використовують матеріали з невеликою атомною масою, зокрема пластик, алюміній, органічне скло або спеціальні полімерні екрани [11].

Гамма-випромінювання це електромагнітне випромінювання, що наділене високою енергією, яке виникає під час переходу атомних ядер зі збудженого стану в стабільний. На відміну від альфа- та бета-випромінювання, гамма-промені не мають маси та електричного заряду, що пояснює їхню надзвичайно високу проникну здатність. Гамма-випромінювання здатне проходити через значні товщі різних матеріалів, включаючи бетон, метал та тканини організму людини. Воно становить серйозну небезпеку як при зовнішньому, так і при внутрішньому опроміненні. Вплив гамма-випромінювання може призводити до пошкодження клітин, порушення функцій органів, розвитку променевої хвороби та онкологічних захворювань. Для захисту від гамма-випромінювання застосовують спеціальні захисні конструкції з матеріалів великої щільності — свинцю, сталі, бетону та води. Ефективність захисту залежить від товщини та фізичних властивостей матеріалу, а також від енергії випромінювання [31].

Нейтронне випромінювання виникає переважно в активній зоні ядерних реакторів під час процесу поділу ядерного палива. Воно являє собою потік нейтронів — електрично нейтральних частинок, які мають високу проникну здатність та значну біологічну ефективність. Нейтронне випромінювання має здатність взаємодіяти з ядрами атомів речовини, змінюючи їхню структуру та викликаючи наведене радіоактивне забруднення матеріалів. Нейтронне

випромінювання є одним із найбільш небезпечних видів радіації, оскільки навіть відносно невеликі дози можуть спричиняти значні біологічні ушкодження. Для захисту від нейтронного випромінювання використовують матеріали, що містять велику кількість легких ядер, зокрема воду, поліетилен, парафін та бетон. Часто застосовується комбінований захист, який поєднує матеріали для поглинання нейтронного та гамма-випромінювання [18].

Джерелами іонізуючого випромінювання можуть бути як природні, так і техногенні об'єкти. Природне радіаційне тло існує постійно та є невід'ємною складовою навколишнього середовища. Воно сформувалося внаслідок природних процесів, що відбуваються у космосі та земній корі, і впливає на всі живі організми протягом усього періоду їх існування.

До природних джерел іонізуючого випромінювання належить космічне випромінювання, яке надходить на поверхню Землі з космічного простору. Інтенсивність космічного випромінювання залежить від висоти над рівнем моря, географічного положення та стану атмосфери. На великих висотах рівень космічного випромінювання зростає через зменшення захисного впливу атмосфери.

Важливим природним джерелом є також природні радіонукліди, що містяться у ґрунтах, гірських породах, воді, повітрі та будівельних матеріалах. Найпоширенішими серед них є ізотопи урану, торію, радію та калію-40. У процесі природного радіоактивного розпаду вони утворюють інші радіоактивні елементи, зокрема радон — радіоактивний газ, який може накопичуватись у закритих приміщеннях і становити небезпеку для здоров'я людини.

Природні джерела формують основну частину річної дози опромінення населення. Рівень природного радіаційного фону може суттєво відрізнятися залежно від геологічних особливостей місцевості, вмісту природних радіонуклідів у ґрунтах та умов проживання населення.

Техногенні джерела іонізуючого випромінювання виникають у результаті діяльності людини, пов'язаної з використанням ядерних технологій,

радіоактивних матеріалів та спеціального обладнання. Найбільш масштабними техногенними джерелами є атомні електростанції, на яких відбувається контрольований процес ядерного поділу. Під час експлуатації АЕС утворюються радіоактивні речовини, що потребують постійного контролю, ізоляції та безпечного поводження.

До техногенних джерел також належать підприємства ядерного паливного циклу, які здійснюють видобуток, переробку, збагачення та транспортування ядерного палива. Потенційну небезпеку становлять процеси зберігання та утилізації радіоактивних відходів, а також можливість виникнення аварійних ситуацій.

Значне поширення джерела іонізуючого випромінювання мають у медицині. Рентгенологічне обладнання, комп'ютерні томографи, установки променевої терапії та радіонуклідної діагностики широко використовуються для обстеження і лікування пацієнтів. Незважаючи на важливе медичне значення, застосування таких технологій потребує суворого дотримання вимог радіаційної безпеки та постійного дозиметричного контролю.

Іонізуюче випромінювання також використовується у промисловості. Радіоактивні джерела застосовують для дефектоскопії металевих конструкцій, контролю якості продукції, вимірювання товщини матеріалів, стерилізації обладнання та наукових досліджень. Усі роботи з джерелами випромінювання повинні проводитися відповідно до встановлених норм і правил радіаційного захисту.

Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини залежить від багатьох факторів, серед яких основними є вид випромінювання, величина отриманої дози, тривалість та характер опромінення, а також індивідуальні особливості організму. Ступінь радіаційного ураження визначається також віком людини, станом її здоров'я, чутливістю окремих органів і тканин та здатністю організму до відновлення пошкоджених клітин.

Іонізуюче випромінювання може впливати на організм як безпосередньо, так і опосередковано. Прямий вплив полягає у безпосередньому пошкодженні

клітинних структур та молекул. Непрямий вплив пов'язаний із радіолізом води, унаслідок якого утворюються вільні радикали — хімічно активні сполуки, здатні пошкоджувати клітини та тканини організму. Оскільки організм людини значною мірою складається з води, непрямий механізм радіаційного впливу має особливо важливе значення. Тканини, які мають високу швидкість поділу клітин є найбільш вразливими до дії іонізуючого випромінювання. До них належать кровотворні органи, кістковий мозок, лімфатична система, епітеліальні тканини, статеві клітини та органи травлення. Менш чутливими є м'язова та нервова тканини, оскільки їх клітини поділяються значно повільніше.

Радіаційний вплив може бути зовнішнім і внутрішнім. Зовнішнє опромінення виникає при дії джерела випромінювання, що знаходиться поза організмом людини. Внутрішнє опромінення відбувається внаслідок потрапляння радіоактивних речовин до організму через органи дихання, травлення або через шкіру. Внутрішнє опромінення є особливо небезпечним, оскільки радіонукліди можуть накопичуватись у певних органах і тривалий час опромінювати тканини зсередини.

Залежно від величини дози та тривалості впливу розрізняють гостре та хронічне опромінення. Гостре опромінення виникає при короткочасному надходженні великих доз радіації та може призводити до розвитку гострої променевої хвороби. Хронічне опромінення пов'язане з тривалим впливом малих доз іонізуючого випромінювання та може спричиняти віддалені негативні наслідки для здоров'я.

Наслідки радіаційного впливу поділяються на детерміністичні та стохастичні. Детерміністичні ефекти виникають при перевищенні певного порогового рівня дози та проявляються у вигляді променевих опіків, гострої променевої хвороби або ураження окремих органів. Тяжкість таких наслідків зростає зі збільшенням дози опромінення. Стохастичні ефекти не мають чітко визначеного порогового рівня та можуть проявлятися через тривалий час після опромінення. Основними стохастичними наслідками є розвиток злоякісних

новоутворень та генетичних порушень, імовірність виникнення яких зростає зі збільшенням дози. [2, 35].

Іонізуюче випромінювання впливає не лише на окрему людину, а й на майбутні покоління, оскільки пошкодження генетичного матеріалу може передаватися спадково.

Іонізуюче випромінювання негативно впливає не лише на організм людини, а й на навколишнє природне середовище. Потрапляння радіоактивних речовин у довкілля може призводити до порушення природних екосистем, зміни біологічних процесів та тривалого радіаційного забруднення окремих територій. Масштаби такого впливу залежать від виду радіонуклідів, їхньої активності, фізико-хімічних властивостей, тривалості впливу та умов поширення у навколишньому середовищі [2, 20]. Після потрапляння у навколишнє середовище радіонукліди здатні накопичуватись у ґрунтах, водних об'єктах, рослинності та живих організмах. Значна частина радіоактивних речовин осідає у верхніх шарах ґрунту, де вони можуть зберігатися протягом тривалого часу. Забруднений ґрунт стає джерелом вторинного поширення радіонуклідів через пилові частинки, поверхневі та підземні води, а також через сільськогосподарську продукцію.

Особливу небезпеку становить потрапляння радіонуклідів у водні екосистеми. Радіоактивні речовини можуть накопичуватися у донних відкладах, водоростях, рибі та інших водних організмах. Через використання водних ресурсів для питного водопостачання, рибальства та господарських потреб забруднення води створює потенційну загрозу для населення та природних екосистем. Радіонукліди здатні включатися у харчові ланцюги та поступово накопичуватися у живих організмах. Рослини поглинають радіоактивні речовини з ґрунту та води, після чого вони передаються тваринам і людині через продукти харчування. Особливо небезпечним є явище біоаккумуляції, за якого концентрація радіонуклідів у живих організмах може зростати на кожному наступному рівні харчового ланцюга.

Негативний вплив іонізуючого випромінювання на рослинний і тваринний світ проявляється у порушенні процесів росту, розвитку та розмноження організмів. Радіаційне опромінення може викликати мутації, зниження життєздатності популяцій, зміни генетичної структури видів та порушення екологічної рівноваги в природних екосистемах.

Найбільшу загрозу для довкілля становлять радіонукліди, які здатні тривалий час зберігати радіаційну активність. До таких ізотопів належать цезій-137, стронцій-90, плутоній-239 та інші елементи з великим періодом напіврозпаду. Вони можуть залишатися у навколишньому середовищі десятки або навіть тисячі років, створюючи довготривалу екологічну небезпеку.

1.2. Нормативне забезпечення радіаційної безпеки в Україні

Нормативне забезпечення радіаційної безпеки в Україні базується на системі законодавчих, санітарних та міжнародних документів, які визначають допустимі рівні опромінення, вимоги до експлуатації джерел іонізуючого випромінювання та заходи захисту персоналу і населення.

Основним нормативним документом у сфері радіаційної безпеки в Україні є Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Цей документ визначає систему державних вимог і критеріїв щодо захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання та встановлює допустимі межі опромінення для персоналу, населення і навколишнього середовища [21]. НРБУ-97 застосовуються під час проєктування, будівництва, експлуатації та виведення з експлуатації об'єктів, діяльність яких пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання, зокрема атомних електростанцій, підприємств ядерного паливного циклу, медичних і промислових установок.

Документ визначає категорії осіб, які підлягають радіаційному контролю. До категорії А належить персонал, що постійно або тимчасово працює безпосередньо з джерелами іонізуючого випромінювання. Категорія Б охоплює працівників, які безпосередньо не працюють з джерелами

випромінювання, але можуть зазнавати впливу радіації в умовах виробництва. До категорії В належить усе населення.

НРБУ-97 також регламентує основні принципи радіаційного захисту, порядок контролю дозового навантаження, класифікацію категорій персоналу та населення, а також вимоги до проведення дозиметричного контролю. НРБУ-97 спрямовані на мінімізацію ризику виникнення негативних наслідків для здоров'я людини внаслідок впливу радіації та забезпечення безпечних умов праці на об'єктах підвищеної радіаційної небезпеки.

Відповідно до НРБУ-97 система радіаційного захисту ґрунтується на трьох базових принципах:

- принцип виправданості;
- принцип неперевикнення дозових меж;
- принцип оптимізації (ALARA).

Принцип виправданості передбачає, що будь-яка діяльність, пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання, повинна приносити більше користі, ніж потенційної шкоди для людини та довкілля. Це означає, що застосування радіаційних технологій допускається лише за умов наявності обґрунтованої необхідності та відсутності безпечніших альтернатив.

Принцип неперевикнення дозових меж полягає у встановленні допустимих рівнів опромінення для персоналу та населення. Метою цього принципу є недопущення виникнення детерміністичних ефектів та зниження ймовірності виникнення стохастичних наслідків опромінення. Для персоналу категорії А, який безпосередньо працює з джерелами випромінювання, встановлено ліміт ефективної дози 20 мЗв на рік у середньому за будь-який п'ятирічний період, при цьому доза за окремий рік не повинна перевищувати 50 мЗв. Для населення річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв [21].

Принцип оптимізації або ALARA (As Low As Reasonably Achievable) передбачає підтримання доз опромінення на настільки низькому рівні, наскільки це є практично можливим з урахуванням економічних і соціальних

факторів. Реалізація цього принципу здійснюється шляхом удосконалення технологічних процесів, використання сучасних засобів захисту, скорочення часу перебування персоналу у зонах опромінення та постійного контролю радіаційної обстановки.

Важливе значення у системі забезпечення радіаційної безпеки в Україні мають Державні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ДСП 6.177-2005-09-02). Цей нормативний документ встановлює обов'язкові санітарно-гігієнічні вимоги щодо безпечного використання джерел іонізуючого випромінювання та визначає порядок організації радіаційного захисту на підприємствах, установах і об'єктах, діяльність яких пов'язана з радіаційними технологіями [24]. ДСП регламентують вимоги до проєктування, експлуатації та виведення з експлуатації радіаційно небезпечних об'єктів, а також визначають правила поводження з радіоактивними матеріалами і відходами. Особлива увага приділяється забезпеченню безпечних умов праці персоналу, попередженню перевищення допустимих доз опромінення та захисту населення і навколишнього середовища від негативного впливу радіації.

Документ визначає порядок здійснення виробничого радіаційного контролю, індивідуального дозиметричного контролю персоналу, контролю радіаційного стану навколишнього середовища та заходів щодо попередження аварійних ситуацій. Виробничий радіаційний контроль передбачає постійний моніторинг рівнів випромінювання у виробничих приміщеннях, контроль радіоактивного забруднення поверхонь, обладнання та повітря робочої зони. Індивідуальний дозиметричний контроль забезпечує облік доз опромінення працівників, які контактують із джерелами іонізуючого випромінювання. Окреме значення має контроль радіаційного стану довкілля, який включає спостереження за рівнями радіаційного фону, вмістом радіонуклідів у воді, ґрунті та атмосферному повітрі. ДСП також визначають вимоги до аварійної готовності підприємств, порядок дій у разі радіаційних аварій та заходи щодо

мінімізації можливих наслідків радіаційного впливу на людей і навколишнє середовище.

Правові засади використання ядерної енергії та забезпечення радіаційної безпеки визначаються Законом України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [27]. Цей закон є одним із базових нормативно-правових актів у сфері ядерної енергетики та встановлює основні вимоги щодо безпечного використання ядерних установок, джерел іонізуючого випромінювання та радіоактивних матеріалів. Його дія поширюється на всі підприємства, установи та організації, діяльність яких пов'язана з використанням ядерної енергії, включаючи атомні електростанції, підприємства ядерного паливного циклу, науково-дослідні установи та об'єкти поводження з радіоактивними відходами.

Закон регламентує основні принципи державної політики у сфері ядерної та радіаційної безпеки, визначає повноваження органів державного регулювання та встановлює вимоги до ліцензування діяльності у сфері використання ядерної енергії. Важливе значення приділяється питанням захисту персоналу, населення та навколишнього середовища від можливого радіаційного впливу. Документ також визначає права та обов'язки суб'єктів діяльності у сфері використання ядерної енергії, порядок здійснення державного нагляду та відповідальність за порушення вимог ядерної та радіаційної безпеки. Окрему увагу закон приділяє забезпеченню фізичного захисту ядерних установок, аварійній готовності та компенсації шкоди у разі виникнення радіаційних аварій.

Важливим нормативним документом у сфері радіаційної безпеки є Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», який визначає правові та організаційні основи захисту населення від негативного впливу радіації [28]. Закон встановлює права громадян на безпечні умови проживання та праці, отримання достовірної інформації про рівні радіаційного впливу, а також на відшкодування шкоди у разі порушення вимог радіаційної безпеки. Документ визначає допустимі рівні опромінення населення, порядок

здійснення державного контролю у сфері радіаційного захисту та обов'язки підприємств і організацій, діяльність яких пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання. Особлива увага приділяється проведенню радіаційного моніторингу, контролю стану навколишнього середовища, продуктів харчування та питної води, а також заходам щодо попередження аварійних ситуацій і мінімізації наслідків радіаційного впливу на населення та довкілля.

Окрему важливу роль у сфері забезпечення ядерної та радіаційної безпеки відіграють міжнародні стандарти Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ). МАГАТЕ є спеціалізованою міжнародною організацією, діяльність якої спрямована на розвиток безпечного використання ядерної енергії та запобігання радіаційним ризикам. Документи агентства встановлюють міжнародні вимоги та рекомендації щодо безпечної експлуатації ядерних установок, поводження з радіоактивними матеріалами, транспортування радіоактивних речовин, управління радіоактивними відходами та забезпечення фізичного захисту ядерних об'єктів [18]. Значна увага у стандартах МАГАТЕ приділяється формуванню культури безпеки, яка передбачає відповідальне ставлення персоналу та керівництва до питань ядерної і радіаційної безпеки на всіх етапах діяльності.

Серед основних документів МАГАТЕ важливе значення мають General Safety Requirements Part 3, Safety Standards Series та Fundamental Safety Principles. У цих документах визначаються базові принципи радіаційного захисту, вимоги до систем управління безпекою та порядок здійснення радіаційного контролю. Міжнародні стандарти МАГАТЕ передбачають застосування концепції багаторівневого захисту, що включає використання технічних, організаційних та адміністративних заходів для попередження аварій та мінімізації їх наслідків. Окрема увага приділяється необхідності постійного моніторингу радіаційного стану, підготовці персоналу, підтриманню аварійної готовності та забезпеченню ефективного реагування у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС ТА ДЖЕРЕЛ РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

2.1. Загальна характеристика Південноукраїнської АЕС

Південноукраїнська атомна електростанція (АЕС) розташована в південній частині Придніпровської височини, на лівому березі річки Південний Буг у місті Південноукраїнськ Миколаївської області України. Вона є відокремленим підрозділом Національної атомної енергогенеруючої компанії НАЕК Енергоатом і входить до складу Південноукраїнського енергетичного комплексу разом з Олександрівською гідроелектростанцією (ГЕС) та Ташлицькою гідроакumuлюючою електростанцією (ГАЕС) [25].

Кількість електроенергії, що виробляється Південноукраїнським енергетичним комплексом, достатня для забезпечення життєдіяльності Одеської, Миколаївської, Херсонської областей та Автономної республіки Крим. Південноукраїнська АЕС щороку генерує 17-18 млрд кВтг, що становить понад 10% від загальної кількості електроенергії, яка виробляється в Україні, і біля 25% від електроенергії, отриманої від атомних державних електростанцій.

За оцінками міжнародних контролюючих організацій, рівень надійності енергоблоків Південноукраїнської АЕС станом на 2021 рік до повномасштабного російського вторгнення відповідала європейським вимогам та стандартам безпеки.

Внаслідок російського ракетного обстрілу промислової зони Південноукраїнської АЕС у вересні 2022 року було пошкоджено будівлю АЕС та 3 високовольтні лінії електропередачі, відключився один з гідроагрегатів Олександрівської ГЕС, яка входить до складу Південноукраїнського енергокомплексу. У травні 2024 року на Південноукраїнській АЕС розпочато підготовчі роботи з будівництва двох нових енергоблоків № 4 та № 5 за американською технологією AP1000 Westinghouse.

На даний час на Південноукраїнській АЕС функціонує 3 енергоблоки з реакторами типу ВВЕР-1000, сумарною потужністю 3000 МВт. В основу

проекту станції покладено принцип модульного компонування, при якому в кожному енергоблоці окрім систем нормальної експлуатації передбачено ряд систем, які забезпечують радіаційну та ядерну безпеку блоку, а також аварійну зупинку, розхолодження, відведення залишкового тепла незалежно від режиму роботи інших енергоблоків.

Кожний з трьох енергоблоків ПАЕС включає водо-водяний енергетичний реактор ВВЕР-1000, турбіну типу К-1000-60/1500 та електрогенератор типу ТВВ-1000-4. ВВЕР-1000 призначений для вироблення теплової енергії (потужність 1000 МВт) у складі реакторної установки і належить до типу реакторів на теплових нейтронах, які працюють за принципом керованої ланцюгової реакції поділу ядер урану. Характерною особливістю даного виду реактора є використання води в якості теплоносія та сповільнювача нейтронів одночасно. Реакторна установка має у своєму складі декілька елементів, які працюють як єдина система для виробництва теплової енергії та перетворення її в електроенергію. До складу реакторної установки входять [14, 32]:

- корпус реактора, який виглядає як вертикальна сталева посудина циліндричної форми, що здатна витримувати високі температури та тиск. Ядерна реакція проходить в активній зоні всередині реактора. Корпус забезпечує безпеку навколишнього середовища, запобігаючи виходу радіоактивних речовин з реактора;
- тепловидільні збірки (ТВЗ) - елементи активної зони, що містять ядерне паливо у вигляді паливних таблеток (діоксид урану). Ядерне паливо розміщується в герметичних цирконієвих трубках – твелах;
- система керування і захисту регулює потужність реактора та необхідність його аварійного зупинення. Вона складається з стрижнів, що містять речовини, які поглинають нейтрони (бор, кадмій). В разі необхідності зменшення інтенсивності проходження реакції стрижні вводяться в активну зону;
- парогенератори - теплообмінники, що утворюють пару та здійснюють передачу тепла від першого до другого контуру;

- циркуляційні насоси забезпечують циркуляцію теплоносія першого контуру;
- компенсатори тиску, які підтримують стабільний тиск для забезпечення безпечної роботи реактора.

Енергоблок з реактором ВВЕР-1000 працює за двоконтурною схемою: перший контур (радіоактивний) – водяний, який відбирає тепло від реактора; другий контур (нерадіоактивний) – паровий, який отримає тепло від першого контуру та використовує його в турбогенераторі. Схема реакторної установки ВВЕР-1000 зображено на рис. 2.1.

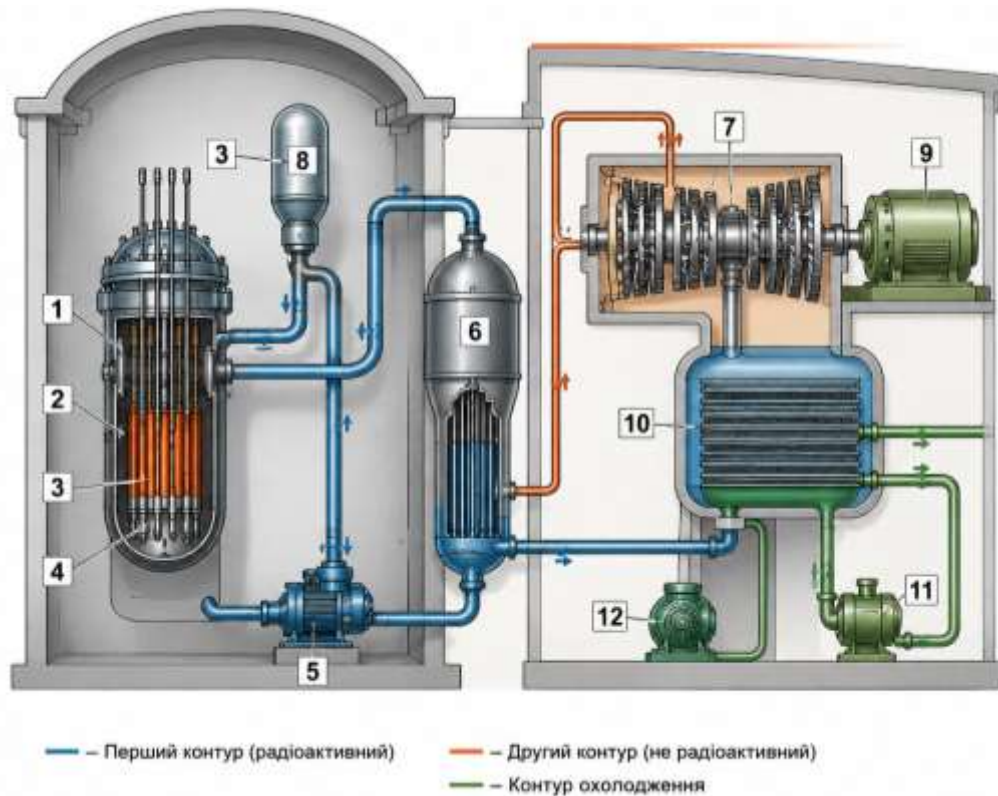


Рисунок 2.1. Схема реакторної установки ВВЕР-1000

1 – корпус реактора; 2 – активна зона; 3 – стержні системи керування і захисту; 4 – опорна решітка опорної зони; 5 – головний циркуляційний насос; 6 – парогенератор; 7 – турбіна; 8 – компенсатор тиску; 9 – генератор; 10 – конденсатор; 11 – конденсаторний насос; 12 – живильний насос.

2.2. Основні джерела радіаційної небезпеки

Під час експлуатації атомних електростанцій утворюються різноманітні джерела радіаційної небезпеки, які можуть становити серйозну загрозу для персоналу, населення та навколишнього природного середовища (рис. 2.2.). Рівень небезпеки на АЕС залежить від активності радіонуклідів та умов їх зберігання, від технічного стану обладнання та ефективності систем радіаційного захисту підприємства. До основних джерел радіаційної небезпеки на АЕС відносять ядерне паливо, активну зону реактора, радіоактивні відходи, теплоносій першого контуру, відпрацьоване ядерне паливо та радіоактивні викиди та скиди [21].

Основним джерелом радіаційної небезпеки на атомній електростанції є **активна зона** ядерного реактора, у якій відбувається керована реакція поділу ядерного палива. Саме під час цього процесу виділяється велика кількість теплової енергії, яка використовується для виробництва електроенергії. Під час утворення теплової енергії у реакторі з'являються радіоактивні продукти поділу та інтенсивне нейтронне та гамма-випромінювання [14], через що ядерний реактор стає об'єктом підвищеної радіаційної небезпеки та потребує постійного контролю та надійної системи захисту.



Рисунок 2.2. Основні джерела радіаційної небезпеки на АЕС

Активна зона складається з тепловидільних збірок, всередині яких знаходиться ядерне паливо (діоксид урану). Під час роботи реактора паливо поступово накопичує радіоактивні речовини, внаслідок чого залишається небезпечним ще довгий час. Після завершення ланцюгової реакції виділення залишкового тепла продовжується і активна зона потребує безперервного охолодження [3]. Для запобігання виходу радіоактивних речовин назовні активна зона розміщується в міцному герметичному корпусі реактора. Додатково реактор захищається так званим біологічним захистом, який являє собою товстий шар бетону та металу. Такий захист є необхідним для зменшення рівня випромінювання до безпечних для персоналу та довкілля значень. Небезпека може виникнути у разі пошкодження паливних елементів, порушення герметичності трубопроводів або при виникненні аварійної ситуації в системі охолодження реактора. В таких випадках радіоактивні речовини можуть потрапити у **теплоносій першого контуру реакторної установки** та навіть у навколишнє середовище.

Теплоносієм першого контуру в реакторах типу ВВЕР-1000 є спеціально підготовлена вода, яка циркулює через активну зону реактора та відводить тепло, яке утворюється під час поділу ядерного палива [31]. В процесі проходження через реактор вода піддається нейтронному та гамма-випромінюванню, тому в ній можуть утворюватися радіоактивні речовини. Також в процесі роботи в теплоносій потрапляють продукти корозії металевих поверхонь, домішки та ізотопи, які стають активними під дією нейтронів. Це призводить до поступового набуття радіоактивності обладнанням першого контуру, після чого проведення його ремонтних або профілактичних робіт потребує дозиметричного контролю та використання засобів індивідуального захисту [11]. У разі порушення герметичності трубопроводів, носіїв або теплообмінного обладнання першого контуру може виникнути витік радіоактивного теплоносія, що створить ризик радіаційного забруднення та додаткового опромінення персоналу.

Одним із найбільш небезпечних джерел радіації на атомній електростанції є **відпрацьоване ядерне паливо**. Після завершення роботи у реакторі паливні збірки містять значну кількість радіоактивних продуктів поділу та трансуранових елементів, які утворилися під час ядерної реакції [14]. До таких речовин належать ізотопи цезію, стронцію, плутонію та інших елементів, що мають високий рівень радіоактивності та тривалий період напіврозпаду. Відпрацьоване паливо продовжує інтенсивно виділяти тепло та іонізуюче випромінювання навіть після вилучення з реактора, оскільки в ньому продовжують відбуватися процеси радіоактивного розпаду накопичених ізотопів. Безпосередній контакт людини з відпрацьованим паливом є надзвичайно небезпечним через високий рівень радіації, тому всі операції з ним виконуються дистанційно із застосуванням спеціального захисного обладнання. Після вилучення з реактора спочатку паливо поміщають у басейни витримки, де воно зберігається під шаром води. Вода виконує одночасно дві функції — охолодження паливних збірок та захист від радіаційного випромінювання. Через певний час паливо переміщують у спеціальні сухі сховища, які обладнані герметичними контейнерами, системами вентиляції та біологічного захисту [27]. У разі пошкодження контейнерів з відпрацьованим ядерним паливом або недотримання умов його зберігання виникає небезпека потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище, що може призвести до забруднення повітря, ґрунтів та водних об'єктів.

У процесі експлуатації атомної станції утворюються тверді, рідкі та газоподібні **радіоактивні відходи**, кількість і склад яких залежить від типу реактора, режиму роботи станції та обсягів ремонтних робіт. До таких відходів належать використані фільтри, спецодяг персоналу, інструменти, технологічні рідини, шлами, смоли, забруднені деталі обладнання та інші матеріали, які містять радіоактивні речовини [21]. Радіоактивні речовини можуть накопичуватися у системах очищення теплоносія, вентиляційних установках та технологічному обладнанні, навіть допоміжні матеріали та елементи

обладнання поступово стають джерелами іонізуючого випромінювання. Особливо небезпечними є відходи з високим рівнем активності, які можуть зберігати свої радіаційні властивості протягом десятків або навіть сотень років. Вони потребують спеціальних умов зберігання, порушення котрих може призвести до розповсюдження радіонуклідів та забруднення територій [31].

В процесі роботи реакторної установки, систем вентиляції, очищення технологічних вод, дренажних систем при нормальній роботі АЕС можуть утворюватися контрольовані **радіоактивні викиди** в атмосферне повітря та **скиди** у водні об'єкти. У невеликих кількостях у довкілля можуть потрапити радіоактивні гази, у складі яких є ізотопи йоду, ксенону, криптону, цезію та тритію [11]. Вони можуть поширюватися на значні відстані, накопичуватися в організмі людини та природних екосистемах та включатися у природний кругообіг води. Радіоактивні речовини, які потрапляють у водоймі в результаті скидів при роботі АЕС, накопичуються у донних відкладах, у водних організмах та поширюються харчовими ланцюгами

Окремо джерелом радіаційної безпеки треба виділити **аварійні ситуації**, пов'язані з несправністю обладнання, порушенням герметичності трубопроводів, пошкодженням паливних елементів або помилками персоналу. У разі виникнення аварії можливе потрапляння радіоактивних речовин у виробничі приміщення, теплоносій або навколишнє середовище, що створить небезпеку опромінення персоналу та населення [27]. Найбільш небезпечними вважаються аварії, пов'язані з втратою теплоносія або порушенням систем охолодження реактора. У таких ситуаціях може виникнути перегрів активної зони реактора та пошкодження ядерного палива, що призведе до масштабного радіаційного забруднення великих територій та значних негативних екологічних наслідків.

На безпечну роботу енергоблоків та систем життєзабезпечення впливають також і **зовнішні ризики**. В період 2022-2026рр. особливого значення набули ризики, пов'язані з воєнними діями, обстрілами енергетичної інфраструктури та атаками безпілотників. Такі події можуть призвести до

пошкодження систем електропостачання, зв'язку, охолодження реактора або інших важливих елементів інфраструктури АЕС. У разі серйозних пошкоджень виникає ризик порушення нормальної роботи систем безпеки та ризик вивільнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Крім воєнних загроз, до зовнішніх ризиків належать природні явища та техногенні фактори, які можуть ускладнювати роботу систем охолодження реактора, резервного енергозабезпечення та аварійного реагування. До них належать: пожежі, повені, землетруси, екстремальні погодні умови, тривале знеструмлення або пошкодження транспортної та енергетичної інфраструктури.

2.3. Потенційний вплив діяльності АЕС на довкілля

Основними видами потенційного впливу на навколишнє середовище при роботі АЕС, виходячи з технологічного процесу, є радіаційний, хімічний і фізичний вплив. В умовах нормальної експлуатації енергоблоків вагомими є тепловий, хімічний та радіаційний впливи (в порядку значимості). В малоймовірних випадках аварій на виробництві радіаційний вплив може стати домінуючим.

Атомні станції є джерелами значних скидів тепла в навколишнє середовище. Приблизно дві третини теплової енергії, що виробляється в реакторах, не використовується для вироблення електроенергії в парових турбінах, а скидається через системи охолодження у навколишнє середовище, спричиняючи **тепловий вплив**.

У системах охолодження Південноукраїнської АЕС відведення надлишкового тепла здійснюється шляхом передачі теплової енергії від конденсаторів турбін та іншого технологічного обладнання охолоджувальній воді, що циркулює через теплообмінники. Для охолодження енергоблоків на ПАЕС використовується Ташлицьке водосховище-охолоджувач, з якого тепло відводиться в атмосферу шляхом природного теплообміну та випаровування. Ташлицьке водосховище є частиною Південноукраїнського енергетичного

комплексу і використовується як водойма-охолоджувач з початку експлуатації ПАЕС. Його площа становить приблизно 8,5–8,6 км², а максимальна глибина сягає 46–54 м. Водойма має штучний характер та пов'язана з річкою Південний Буг через систему водообміну та підживлення. Охолодження споживачів «групи А», що забезпечують безпечну роботу реакторної установки, здійснюється за допомогою бризкальних басейнів, у яких вода охолоджується внаслідок інтенсивного контакту з атмосферним повітрям. Така система забезпечує ефективне відведення теплових надлишків і підтримання безпечних температурних режимів роботи обладнання АЕС. Передача тепла в навколишнє середовище відбувається, головним чином, за рахунок охолодження води в процесі випаровування і частково за рахунок конвекційної теплопередачі тепла до атмосфери.

Випаровування води в циркуляційних системах охолодження призводить до накопичення в них солей, які надходять з водою підживлення. Технологічні обмеження вмісту солей в охолоджуючій воді вимагають продувки систем охолодження для підтримки в них сольового режиму на допустимому рівні. Постійна продувка водойми-охолоджувача ПАЕС проєктом не передбачена. Періодична продувка проводилась з наступним скиданням продувних вод з Ташлицького водосховища-охолоджувача в річку Південний Буг, а з 2017 року – в Олександрівське водосховище.

Система технічного водопостачання споживачів «групи А» є оборотною та замкненою. Проєктні тепловиділення реакторного відділення енергоблоку, що надходять на охолоджувачі, складають у номінальному режимі роботи:

- мінімальні – $2,9 \times 10^6$ Вт;
- максимальні – $23,4 \times 10^6$ Вт;
- середні робочі – $17,4 \times 10^6$ Вт.

Тепловий режим Ташлицького водосховища-охолоджувача, крім природних факторів, визначається кількістю й потужністю працюючих енергоблоків. При роботі одного енергоблоку тепловий потік складає $1,7...2,6 \times 10^9$ Вт, від трьох енергоблоків – $3,4...5,3 \times 10^9$ Вт.

Підвищена температура води водойми-охолоджувача призводить до інтенсивного випаровування з поверхні води, що часто призводить до утворення туманів. Охолоджувальна спроможність Ташлицького водосховища складає в холодний період року – три працюючих енергоблоки, у теплий період – два енергоблоки. При цьому в літні місяці потужність АЕС не перевищує 1800МВт, а в екстремальних умовах (гаряча декада 10% забезпеченості) не більше 1500МВт. За даними екологічного моніторингу у зоні розташування ПАЕС, температура води у Ташлицькому водосховищі в літній період 2025 року становила близько 28,9–29,1 °С, тоді як температура води у річці Південний Буг була на рівні 22,9–24,8 °С. Температура води у відвідних каналах сягала 35,5 °С [7]. Це свідчить про суттєвий локальний тепловий вплив енергоблоків на систему охолодження.

Підвищення температури води змінює природний температурний режим водойми, що може впливати на фізико-хімічні властивості води та стан водних екосистем [1]. Основними наслідками теплового впливу є зниження вмісту розчиненого кисню у воді, посилення процесів «цвітіння» води, зміна видового складу гідробіонтів, прискорення біохімічних процесів; погіршення умов існування окремих видів риб та водних організмів [30].

Теплове забруднення р. Південний Буг при водовипусках з Ташлицького водосховища припадає в основному на 500-метрову зону й суттєво не впливає на зміну екологічної обстановки річки [15]

Джерелами **хімічного впливу** на навколишнє середовище є періодичні нерадіоактивні викиди і скиди, що виникають в об'єктах і спорудах на проммайданчику ПАЕС і містять в своєму складі хімічні елементи і речовини, граничний вміст яких регламентується діючими санітарними нормами і правилами.

В повітряне середовище надходять газо-аерозольні нерадіоактивні викиди від допоміжних споруд і виробничих приміщень. Джерела і основні шкідливі компоненти у складі цих викидів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Джерела хімічного впливу на атмосферне повітря

Джерело	Режим роботи	Шкідливі компоненти
Будівельно-монтажний цех	Періодично	CO, NO _x , Mn, пил деревинний, аерозоль зварювання, пари нафтопродуктів.
Цех по переробці РВ	Періодично	SO ₂ , NO _x , HCl
Ремонтно-будівельний	Періодично	Пил неорганічний з вмістом SiO ₂ , пил деревинний, NO _x , SO ₂ , CO, сажа
Транспортний цех	Періодично	NO _x , SO ₂ , CO, сажа, пари нафтопродуктів, кислота сірчана, толуол, етанол, ацетон, бензин та ін.
Цех централізованого ремонту	Періодично	Аерозоль зварювання, попіл абразивно-металевий, сполуки Mn, CO
Дизель-генераторні станції	Періодично	NO _x , SO ₂ , CO, сажа
Масиломазутогосподарство	Періодично	Пари керосину, вуглеводи
Пуско-резервна котельня	Аварійний	NO _x , SO ₂ , CO, V ₂ O ₅ , сажа

На даний час хімічні викиди в атмосферу на 85-90% складаються з викидів пуско-резервної котельні. Кількість річних валових викидів в атмосферу від інших виробничих установок відносно невеликі через малу потужність джерел і наявність приладів для очищення викидів.

Перелік забруднюючих речовин від Південноукраїнської АЕС, що потрапили в атмосферне повітря протягом 2024р. наводиться в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Перелік забруднюючих речовин, викинутих в атмосферне повітря протягом 2024р.

Забруднюючі речовини	Викинуто за рік, т
Метали	0,209
Речовини у вигляді суспендованих твердих часток (мікрочастинки й волокна)	7,287
Сполуки азоту	2,229
Сполуки сірки	4,039
Сполуки вуглецю	1,883
НМЛОС	3,614
Сполуки хлору	0,267
Сполуки фтору	0,066
Всього по підприємству (без урахування діоксиду вуглецю)	19,594

Динаміка зміни обсягів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел наведена у табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Динаміка зміни обсягів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел

Найменування ЗР	Викиди забруднюючих речовин, т/рік					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Метали	0,441	0,32	0,383	0,287	0,304	0,209
Метан	-	-	0,002	0,006	0,004	-
Сполуки фтору	0,128	0,089	0,094	0,077	0,079	0,066
Сполуки азоту	15,664	7,231	7,456	2,348	3,142	2,229
Сполуки сірки	66,033	62,733	67,234	7,058	5,391	4,039
Оксиди вуглецю	16,561	3,757	3,677	1,999	1,964	1,883
Сполуки хлору	0,369	0,32	0,274	0,265	0,266	0,267
Діоксид вуглецю	-	-	208,431	158,656	97,527	-

У технологічних процесах ПАЕС використовуються різноманітні хімічні речовини: борна кислота, аміак, кислоти та луги для регенерації фільтрів і систем спецводоочищення [13]. Частина цих речовин після використання потрапляє до систем очищення стічних вод. У разі недостатньо ефективного очищення існує ризик потрапляння хімічних сполук у поверхневі водойми або ґрунти.

За даними екологічного моніторингу в зоні розташування ПАЕС, у воді періодично фіксується підвищення концентрацій сульфатів, хлоридів, сполук азоту та показників мінералізації [7]. Основною причиною цього є використання реагентів у системах водопідготовки та випаровування води у водоймі-охолоджувачі. Під час роботи реакторних установок у теплоносії та технологічних системах накопичуються сполуки заліза, міді, нікелю та інших металів [13]. Частина цих речовин затримується системами очищення, однак певна кількість може потрапляти у рідкі промислові відходи.

За результатами спостережень у зоні розташування ПАЕС, концентрації основних хімічних забруднювачів у повітрі, воді та ґрунтах переважно не перевищують встановлених гранично допустимих концентрацій [7].

В процесі експлуатації АЕС неминучим є утворення твердих, рідких та газоподібних продуктів, що містять в своєму складі **радіоактивні елементи**. При нормальних умовах експлуатації будь-який вихід елементів з-під оболонки твел або часткове руйнування цієї оболонки призводить до надходження певної кількості продуктів поділу до теплоносія першого контуру. Невеликі кількості радіоактивних продуктів можуть потрапити до теплоносія першого контуру в результаті нейтронної активації конструкційних металів. Процеси ерозії та корозії продуктів активації сприяють переходу цих матеріалів до теплоносія першого контуру.

Тритій ^3H – радіоактивний ізотоп водню, що знаходиться в теплоносії першого контуру, має період розпаду 12,34 роки і є особливо важливим елементом продуктів активації.

Викиди в атмосферу можуть містити тритієву водяну пару, інертні гази, аерозолі та інші частинки. Перевантаження радіоактивного палива може призвести до підвищення виходу радіоактивних відходів і викидам в атмосферу. Ремонт та технічне обслуговування реакторів стає джерелом різноманітних радіоактивних відходів, які виникають у результаті розкриття та ремонту обладнання.

Надходження радіоактивних відходів в навколишнє середовище при нормальній експлуатації ПАЕС, проєктних аваріях практично виключається за умови дотримання «Санітарних правил проєктування і експлуатації АЕС».

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА АЕС

3.1. Організація системи радіаційного контролю

Система радіаційного контролю на атомних електростанціях є одним із ключових елементів забезпечення ядерної та екологічної безпеки під час експлуатації енергоблоків. Її основним завданням є своєчасне виявлення, контроль та попередження перевищення допустимих рівнів іонізуючого випромінювання, а також недопущення радіоактивного забруднення виробничого середовища та навколишніх територій [21].

Організація системи радіаційного контролю на ПАЕС здійснюється відповідно до вимог НРБУ-97, ДСП 6.177-2005-09-02, нормативних документів Міжнародне агентство з атомної енергії та внутрішніх регламентів підприємства [5, 21]. Система радіаційного контролю на ПАЕС має багаторівневу структуру та охоплює всі основні об'єкти станції. Контроль здійснюється у виробничих приміщеннях реакторного та турбінного відділень, на обладнанні реакторних установок, у системах поводження з радіоактивними відходами, на території промислового майданчика, а також у санітарно-захисній зоні та зоні спостереження навколо станції. Це дозволяє своєчасно виявляти будь-які зміни радіаційної обстановки та оперативно реагувати на можливі відхилення від нормативних показників.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє автоматизована система контролю радіаційної обстановки (АСКРО), яка функціонує на території ПАЕС [8]. Система забезпечує безперервний моніторинг потужності дози гамма-випромінювання, контроль стану атмосферного повітря та оцінку радіаційного стану навколишнього середовища. До складу АСКРО входять стаціонарні пости спостереження, обладнані сучасними дозиметричними приладами, газоаерозольними аналізаторами та метеорологічними датчиками. Пости спостереження розміщені як безпосередньо на території АЕС, так і у населених пунктах зони спостереження. Вони здійснюють автоматичне вимірювання потужності дози гамма-випромінювання, напрямку та швидкості

вітру, температури повітря, вологості та інших параметрів, які можуть впливати на поширення радіоактивних речовин у навколишньому середовищі. Отримані дані в режимі реального часу передаються до центрального пункту контролю, де проводиться їх аналіз та оцінка радіаційної ситуації.

Основними напрямками радіаційного контролю на ПАЕС є:

- контроль потужності гамма-випромінювання;
- контроль радіоактивного забруднення;
- контроль радіоактивності теплоносія першого контуру;
- контроль рідких радіоактивних скидів;
- контроль радіаційного стану навколишнього середовища.

Контроль потужності дози гамма-випромінювання здійснюється у всіх основних виробничих приміщеннях станції. Особлива увага приділяється приміщенням реакторного відділення, басейнам витримки відпрацьованого ядерного палива, системам спецводоочищення та місцям зберігання радіоактивних відходів. У цих зонах встановлюються стаціонарні дозиметричні прилади, які дозволяють безперервно контролювати рівні випромінювання.

Для контролю за радіоактивним забрудненням повітря вимірюється вміст радіоактивних аерозолів та газів у виробничих приміщеннях і вентиляційних викидах. Особлива увага при цьому приділяється контролю ізотопів йоду, ксенону, криптону та тритію, які можуть утворюватися при роботі реактора. Також при роботі реактора інтенсивному нейтронному опромінюванню піддається теплоносій, який може містити активовані продукти корозії і радіоактивні ізотопи. Для контролю стану теплоносія проводяться вимірювання активності теплоносія, хімічного складу води та рівня забруднення обладнання.

На Південноукраїнській АЕС також здійснюється постійний контроль газоаерозольних викидів та рідких радіоактивних скидів. Перед потраплянням у навколишнє середовище всі викиди проходять очищення та дозиметричний контроль. Для цього на станції функціонують спеціальні системи фільтрації,

очищення та відбору проб. Результати контролю порівнюються з установленими нормативами радіаційної безпеки. У зоні розташування АЕС здійснюється постійний моніторинг довкілля, регулярно, відповідно до затверджених програм екологічного моніторингу, проводиться відбір проб та лабораторні дослідження атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, ґрунтів.

Важливе значення у системі радіаційного контролю має професійна підготовка персоналу. Працівники проходять спеціальне навчання, перевірку знань з питань радіаційної безпеки та регулярні протиаварійні тренування. Це дозволяє забезпечити готовність персоналу до дій у разі виникнення нештатних або аварійних ситуацій. У виробничих приміщеннях АЕС здійснюється постійний дозиметричний контроль персоналу.

3.2. Захист персоналу та дозиметричний контроль

Захист персоналу від впливу іонізуючого випромінювання є окремим напрямком забезпечення радіаційної безпеки на Південноукраїнській АЕС. Працівники атомної електростанції під час виконання виробничих операцій можуть перебувати у зонах із підвищеним рівнем радіації, тому на підприємстві впроваджено комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів захисту [5]. Ці заходи направлені на недопущення перевищення встановлених дозових лімітів та створення безпечних умов праці для персоналу.

На Південноукраїнській АЕС усі виробничі приміщення поділяються на зони вільного та контрольованого доступу залежно від рівня радіаційної небезпеки. У контрольованих зонах встановлюється спеціальний режим роботи, обмежується час перебування працівників та здійснюється постійний дозиметричний контроль. Вхід до таких приміщень дозволяється лише після проходження відповідного інструктажу та отримання допуску на виконання робіт.

Основою радіаційного захисту персоналу є принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable), відповідно до якого дози опромінення повинні підтримуватися на настільки низькому рівні, наскільки це практично можливо з урахуванням технічних та економічних факторів [39].

Для реалізації принципу ALARA на ПАЕС застосовуються:

- скорочення часу перебування у зоні опромінення;
- збільшення відстані до джерела випромінювання;
- використання біологічного захисту;
- застосування засобів індивідуального захисту;
- дистанційне виконання окремих технологічних операцій [21].

На станції працює система індивідуального дозиметричного контролю персоналу. Кожний працівник, який виконує роботи у зонах можливого радіаційного впливу, забезпечується індивідуальним дозиметром для обліку отриманої дози опромінення. Використовуються як оперативні електронні дозиметри, що дозволяють контролювати дозу в режимі реального часу, так і накопичувальні дозиметри для офіційного обліку дозового навантаження. Результати дозиметричного контролю постійно фіксуються та аналізуються службою радіаційної безпеки. Для кожного працівника ведеться індивідуальна дозова карта, у якій накопичуються дані про отримані дози опромінення за весь період роботи. У разі наближення дозового навантаження до встановлених лімітів працівника можуть тимчасово відсторонити від робіт у контрольованій зоні. Особлива увага приділяється контролю доз опромінення ремонтного персоналу, оскільки під час ремонтних робіт можливий контакт із обладнанням першого контуру, що має підвищений рівень радіоактивності. Перед проведенням ремонтних кампаній здійснюється оцінка радіаційної обстановки, прогнозування можливих доз опромінення та визначення необхідних захисних заходів. Для окремих робіт можуть встановлюватися індивідуальні дозові ліміти та спеціальні маршрути пересування персоналу.

На АЕС застосовуються наступні види дозиметричного контролю [11]:

1. оперативний дозиметричний контроль здійснюється безпосередньо під час виконання робіт у контрольованих зонах;
2. поточний контроль проводиться регулярно для оцінки умов праці та рівнів радіаційного навантаження;
3. індивідуальний;
4. аварійний контроль використовується у разі порушень нормальної експлуатації або виникнення аварійних ситуацій.

3.3. Поводження з радіоактивними відходами та моніторинг довкілля

Під час експлуатації Південноукраїнська АЕС утворюються різні види радіоактивних відходів, які потребують спеціальних умов збору, переробки, транспортування та зберігання. Поводження з радіоактивними відходами на Південноукраїнській АЕС здійснюється відповідно до вимог законодавства України, НРБУ-97, ДСП 6.177-2005-09-02, норм і правил ядерної та радіаційної безпеки, а також рекомендацій Міжнародне агентство з атомної енергії. На підприємстві функціонує комплекс спеціальних систем та технологічних процесів, спрямованих на безпечне поведження з усіма видами радіоактивних матеріалів.

На ПАЕС функціонує система класифікації радіоактивних відходів за рівнем активності, агрегатним станом та періодом напіврозпаду, що дозволяє обирати відповідні методи поведження та умови зберігання для кожного виду відходів. Відходи підприємства поділяються на низькоактивні, середньоактивні та високоактивні.

Система поведження з радіоактивними відходами на Південноукраїнській АЕС включає в себе:

1. Системи збору та переробки рідких радіоактивних відходів (концентратів, промивних вод, шламів та відпрацьованих іонообмінних смол). Для очищення застосовуються механічні фільтри – для вилучення завислих частинок та продуктів корозії, іонообмінні установки – для затримання радіонуклідів за допомогою спеціальних смол, випарні установки – для

утворення концентрату з радіоактивних домішок, системи хімічного очищення води. Після очищення вода може повторно використовуватися в технологічних процесах станції. Концентровані залишки та шлами направляються на тимчасове зберігання у спеціальних ємностях з герметичним захистом, які обладнані системами контролю герметичності та аварійного захисту з метою запобігання витокам.

2. Системи поводження з твердими радіоактивними відходами (використані фільтри, спецодяг, рукавички, інструменти, металеві конструкції, елементи трубопроводів та інші матеріали, забруднені радіонуклідами). На станції застосовується технологія сортування відходів за рівнем активності та типом матеріалу. Після сортування тверді відходи підлягають пресуванню, подрібненню, упаковуванню та герметизації у спеціальних контейнерах. Для зменшення об'єму відходів застосовуються гідравлічні преси та установки механічного ущільнення. Упаковуються відходи у металеві або бетонні контейнери, які забезпечують біологічний захист та герметичність під час зберігання. Для зберігання відходів використовуються спеціальні сховища, обладнані системою вентиляції, пожежною сигналізацією, системами контролю вологості та температури. Також у таких приміщеннях повинен здійснюватися дозиметричний контроль.

3. Системи очищення газоаерозольних викидів (газоподібні радіоактивні речовини та аерозолі). Очищення проходить завдяки спеціальним системам вентиляції та газоочисному обладнанню. Для затримання дрібнодисперсних радіоактивних частинок використовуються аерозольні фільтри, тоді як для уловлювання радіоактивних частинок йолу використовують йодні фільтри. Перед викидом в атмосферу газу проходять дозиметричний контроль. Якщо показники перевищують допустимі значення, система автоматично блокує викид та подає сигнал оператору.

4. Системи контролю та зберігання відпрацьованого ядерного палива. Після вивантаження з реактора відпрацьоване ядерне паливо переміщується до басейнів витримки, де забезпечується його охолодження, зниження рівня

тепловиділення та біологічний захист персоналу від дії іонізуючого випромінювання. Басейни витримки обладнані системами циркуляції та очищення води, теплообмінниками, системами контролю рівня води, дозиметричними приладами та аварійним електроживленням, що забезпечує безпечне зберігання паливних збірок навіть у разі порушення нормального режиму роботи. Вода у басейнах одночасно виконує функцію охолодження відпрацьованого палива та слугує ефективним біологічним захистом від гамма- і нейтронного випромінювання, знижуючи рівень радіаційного впливу на персонал і навколишнє середовище.

5. Системи радіаційного контролю та моніторингу.

Моніторинг довкілля на Південноукраїнська АЕС здійснюється службою радіаційної безпеки, лабораторією зовнішнього радіаційного контролю, хімічною лабораторією, екологічною службою підприємства, а також автоматизованою системою контролю радіаційної обстановки (АСКРО). Одним із головних елементів системи моніторингу є АСКРО, яка забезпечує безперервний автоматичний контроль радіаційної обстановки у санітарно-захисній зоні та зоні спостереження навколо станції [22]. До складу системи входять стаціонарні пости радіаційного контролю, дозиметричні датчики, метеорологічні станції та центральний пункт збору й обробки інформації. Система в режимі реального часу контролює потужність дози гамма-випромінювання, напрямок і швидкість вітру, температуру повітря, вологість та атмосферний тиск. Отримані дані автоматично передаються до центрального пункту контролю, де аналізуються оперативним персоналом. У разі перевищення встановлених контрольних рівнів система автоматично подає сигнал тривоги та забезпечує швидке інформування відповідних служб для оперативного реагування на можливу радіаційну небезпеку.

Прилади та обладнання, що застосовуються для моніторингу довкілля і радіаційного контролю на Південноукраїнській АЕС наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні прилади моніторингу довкілля та радіаційного контролю на ПАЕС

Напрямок контролю	Прилади та обладнання	Основне призначення
Контроль атмосферного повітря	Аспіраційні установки, газоаналізатори, аерозольні фільтри, спектрометри	Відбір проб повітря та визначення вмісту радіоактивних газів і аерозолів
Моніторинг водного середовища	Спектрометри, радіометри, хімічні аналізатори, дозиметри	Контроль радіаційного та хімічного стану поверхневих і підземних вод
Контроль донних відкладень і біоресурсів	Радіометри, спектрофотометри	Визначення накопичення радіонуклідів у донних відкладах, рибі та рослинності
Контроль ґрунтів і продукції	Установки відбору проб, радіометри, спектрометри	Аналіз вмісту радіонуклідів у ґрунтах та сільськогосподарській продукції
Індивідуальний дозиметричний контроль	Індивідуальні дозиметри	Контроль дозового навантаження персоналу
Контроль радіаційної обстановки	Гамма-дозиметри, радіометри, переносні прилади радіаційної розвідки	Вимірювання потужності дози та рівня забруднення
Автоматизований моніторинг	Система АСКРО	Безперервний контроль радіаційної обстановки та метеорологічних параметрів

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ

4.1. Оцінка відповідності системи нормативним вимогам

При оцінюванні відповідності системи радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС необхідно визначити рівень відповідності організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів чинним вимогам законодавства України, міжнародним рекомендаціям та галузевим нормативним документам. Під час проведення оцінки враховуються вимоги Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», Норм радіаційної безпеки України НРБУ-97, Основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки України ОСПУ-2005, документів Державної інспекції ядерного регулювання України, рекомендацій міжнародного агентства з ядерної енергії, а також внутрішніх нормативних документів ДП «НАЕК «Енергоатом»» [19,21, 24, 27].

До основних елементів системи радіаційної безпеки, які підлягають аналізу відносяться система радіаційного контролю, дозиметричний контроль персоналу, системи поводження з радіоактивними відходами, система моніторингу довкілля, аварійна готовність станції та відповідність дозових навантажень нормативам.

Вагомим показником ефективності системи радіаційної безпеки є дотримання встановлених лімітів доз опромінення персоналу. Відповідно до НРБУ-97 середня річна ефективна доза для персоналу категорії А не повинна перевищувати 20 мЗв за рік у середньому за будь-який п'ятирічний період [21]. За результатами аналізу відкритих звітів НАЕК «Енергоатом» та матеріалів з радіаційного контролю встановлено, що на Південноукраїнській АЕС значення індивідуальних доз персоналу перебувають у межах допустимих нормативів.

Функціонування на ПАЕС автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО) забезпечує цілодобовий контроль потужності дози гамма-випромінювання у санітарно-захисній зоні та зоні

спостереження. Дані з постів спостереження передаються до центрального пункту контролю та аналізуються оперативним персоналом. Згідно до екологічних звітів ПАЕС, показники потужності дози гама-випромінювання перебувають у межах природного радіаційного фону та не перевищують встановлених нормативів. На станції впроваджено принцип ALARA, відповідно до якого дози опромінення персоналу підтримуються на мінімально можливому рівні з урахуванням технічних та економічних факторів [5, 22].

Система поводження з радіоактивними відходами функціонує відповідно до чинних вимог. На станції застосовуються системи очищення рідких радіоактивних відходів, пресування та контейнеризації твердих РАВ, а також системи очищення газоаерозольних викидів. Усі радіоактивні відходи проходять облік, контроль активності та тимчасове зберігання у спеціалізованих сховищах.

Окремої уваги потребує готовність персоналу до дії у разі аварійних ситуацій. На станції регулярно проводяться протиаварійні тренування та навчання персоналу, відпрацьовуються дії у разі порушення герметичності систем, втрати електроживлення, пожеж та радіаційних аварій.

Результати оцінки відповідності системи радіаційної безпеки ПАЕС нормативним вимогам наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Оцінка відповідності системи радіаційної безпеки Південноукраїнської
АЕС нормативним вимогам

Напрямок оцінки	Нормативні вимоги	Стан на ПАЕС	Оцінка відповідності
Радіаційний контроль	Безперервний контроль радіаційної обстановки	Функціонує система АСКРО та лабораторний контроль	Відповідає
Дозиметричний контроль персоналу	Контроль індивідуальних доз персоналу	Використовуються індивідуальні дозиметри	Відповідає
Дозові ліміти	Не більше 20 мЗв/рік для персоналу	Перевищень не зафіксовано	Відповідає

Контроль викидів та скидів	Дотримання допустимих рівнів	Показники у межах нормативів	Відповідає
Поводження з РАВ	Безпечне зберігання та контроль РАВ	Діють системи очищення та сховища	Відповідає
Моніторинг довкілля	Постійний екологічний контроль	Проводиться регулярний моніторинг	Відповідає
Аварійна готовність	Наявність систем аварійного реагування	Системи функціонують	Частково потребує модернізації
Фізичний захист	Захист від зовнішніх загроз	Посилений з 2022р.	Потребує подальшого вдосконалення

4.2. Аналіз проблем та потенційних ризиків

Експлуатація Південноукраїнської атомної електростанції пов'язана з підвищеним рівнем техногенної небезпеки, оскільки робота енергоблоків супроводжується використанням ядерного палива, високих температур, значного тиску та джерел іонізуючого випромінювання. Однією з найбільш актуальних проблем функціонування станції є фізичне та моральне старіння обладнання. Значна частина технологічних систем експлуатується протягом тривалого періоду, що поступово знижує надійність окремих елементів та збільшує ймовірність виникнення технічних несправностей. Найбільш уразливими елементами залишаються трубопроводи першого контуру, теплообмінне обладнання, кабельні мережі та системи автоматизованого контролю й управління технологічними процесами.

Серйозною проблемою є необхідність постійного контролю технічного стану металу обладнання реакторних установок. У процесі тривалої експлуатації під впливом високих температур, внутрішнього тиску та нейтронного опромінення відбувається поступова деградація металевих конструкцій, що може супроводжуватися утворенням мікротріщин, зниженням міцності матеріалів і порушенням герметичності обладнання. Подібні дефекти становлять потенційну небезпеку для безпечної експлуатації

реакторних установок та потребують регулярного неруйнівного контролю і своєчасного проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Важливе значення для забезпечення безпеки має стабільна робота систем охолодження реакторної установки. Порушення функціонування насосного обладнання, відмова систем циркуляції теплоносія або пошкодження елементів охолоджувального контуру можуть призвести до перегріву активної зони реактора та створення аварійної ситуації. Особливо небезпечними вважаються аварії, пов'язані з втратою теплоносія, оскільки вони можуть супроводжуватися пошкодженням паливних елементів і викидом радіоактивних речовин.

Окремою проблемою залишається поводження з радіоактивними відходами, які утворюються під час експлуатації енергоблоків, проведення ремонтних робіт та очищення технологічних систем. Рідкі й тверді радіоактивні відходи потребують спеціальних умов зберігання, транспортування, переробки та ізоляції від навколишнього середовища. Недостатня ефективність систем поводження з РАВ або порушення технологічних вимог можуть спричинити підвищення ризику радіаційного забруднення території, водних ресурсів і атмосферного повітря.

Суттєвим фактором ризику під час експлуатації атомної електростанції є людський фактор. Помилки оперативного персоналу, недотримання технологічних регламентів, недостатній рівень професійної підготовки, психологічне перевантаження або несвоєчасне реагування на зміни параметрів роботи обладнання можуть стати причиною порушень у роботі систем безпеки та виникнення аварійних ситуацій. Саме тому на АЕС особлива увага приділяється професійній підготовці персоналу, регулярним тренуванням і вдосконаленню культури безпеки.

Додаткову небезпеку для стабільної роботи енергоблоків створюють зовнішні фактори, серед яких перебої зовнішнього електропостачання, екстремальні погодні умови, пожежі, підтоплення території, військові загрози та можливі терористичні ризики. Вплив зазначених факторів може

порушувати нормальний режим експлуатації обладнання, ускладнювати роботу систем безпеки та негативно впливати на загальний рівень ядерної та радіаційної безпеки атомної електростанції.

Для оцінки **потенційних ризиків** Південноукраїнської АЕС використовується ризик-орієнтований підхід, який передбачає визначення ймовірності виникнення аварійної ситуації та тяжкості її наслідків.

Рівень ризику визначається за формулою:

$$R=P \times S$$

де:

R – рівень ризику;

P – ймовірність виникнення події;

S – тяжкість наслідків.

Для проведення оцінки приймемо п'ятибальну шкалу оцінювання.

Таблиця 4.2

Шкала оцінювання ймовірності виникнення події

Бал	Характеристика	Ймовірність
1	Дуже низька	Малоймовірно
2	Низька	Можлива за окремих умов
3	Середня	Періодично виникає
4	Висока	Часто виникає
5	Дуже висока	Практично неминуча

Таблиця 4.3

Шкала оцінювання тяжкості наслідків

Бал	Характеристика наслідків
1	Незначні наслідки
2	Локальні порушення
3	Серйозні порушення роботи
4	Значні технічні пошкодження
5	Катастрофічні наслідки

На основі аналізу експлуатаційних факторів проведемо оцінку основних ризиків.

Оцінка потенційних ризиків на ПАЕС

Потенційний ризик	Ймовірність Р	Наслідки S	Рівень ризиків R=P×S	Категорія ризиків
Відмова системи охолодження	3	5	15	Високий
Пошкодження трубопроводів першого контуру	2	5	10	Середній
Втрата зовнішнього електроживлення	4	4	16	Високий
Помилки персоналу	3	4	12	Високий
Пожежа в кабельних приміщеннях	2	4	8	Середній
Радіаційне забруднення приміщень	2	4	8	Середній
Порушення герметичності систем	2	5	10	Середній
Відмова систем автоматичного контролю	3	3	9	Середній

За результатами оцінки встановлено, що найбільш небезпечними ризиками є:

- втрата зовнішнього електроживлення;
- відмова систем охолодження;
- помилки оперативного персоналу.

Ці ризики можуть призвести до серйозних порушень роботи реакторної установки та створення аварійної ситуації.

Для оцінки **ефективності роботи систем безпеки** визначається коефіцієнт надійності.

Коефіцієнт надійності визначається за формулою:

$$K_n = N_z / (N_z + N_v)$$

де:

K_n – коефіцієнт надійності;

N_3 – кількість безвідмовних спрацювань системи;

N_B – кількість відмов.

За результатами аналізу роботи систем аварійного захисту:

– кількість успішних спрацювань $N_3 = 148$;

– кількість відмов $N_B = 2$.

Підставимо значення:

$$K_n = 148 / (148 + 2) = 0,987$$

Таблиця 4.5

Оцінка рівня надійності систем безпеки

Значення коефіцієнта	Рівень надійності
Менше 0,80	Низький
0,80–0,90	Задовільний
0,90–0,97	Високий
Понад 0,97	Дуже високий

Отримане значення коефіцієнту надійності систем безпеки (0,987) відповідає дуже високому рівню надійності.

Важливим показником ефективності системи радіаційної безпеки є **оцінка індивідуального радіаційного ризику** для персоналу та населення. Радіаційний ризик характеризує ймовірність виникнення стохастичних ефектів, зокрема онкологічних захворювань, унаслідок впливу іонізуючого випромінювання.

Для оцінки ризику використовується коефіцієнт радіаційного ризику, рекомендований Міжнародна комісія з радіологічного захисту та Міжнародне агентство з атомної енергії. Для професійного опромінення приймається коефіцієнт:

$$k = 5 \times 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$$

Це означає, що при отриманні дози 1 Зв ймовірність виникнення стохастичних наслідків становить приблизно 5 %.

Розрахунок індивідуального ризику виконується за формулою:

$$R = E \cdot k$$

де:

R — індивідуальний радіаційний ризик;

E — ефективна доза опромінення, Зв;

k — коефіцієнт радіаційного ризику, Зв⁻¹

Розрахуємо **ризик для персоналу АЕС**. Припустимо, що річна ефективна доза працівника контрольованої зони становить:

$$E = 3 \text{ мЗв} = 0,003 \text{ Зв}$$

Тоді індивідуальний ризик становитиме:

$$R = 0.003 \times 0.05 = 1.5 \times 10^{-4}$$

Отримане значення: $R=1,5 \times 10^{-4}$ означає, що ймовірність виникнення стохастичних ефектів становить приблизно: 0,015 % на рік або близько 1,5 випадки на 10 000 працівників.

Отриманий показник відповідає допустимим рівням професійного опромінення та свідчить про достатню ефективність системи радіаційного захисту на АЕС.

Для оцінки зміни ризику залежно від величини дози було проведено розрахунок для декількох значень ефективної дози, результати наведено у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Таблиця залежності радіаційного ризику від дози опромінення

Ефективна доза, мЗв/рік	Доза, Зв	Індивідуальний ризик R
1	0,001	5×10^{-5}
3	0,003	$1,5 \times 10^{-4}$
5	0,005	$2,5 \times 10^{-4}$
10	0,010	5×10^{-4}
20	0,020	1×10^{-3}

Аналіз отриманих результатів показує, що зі збільшенням дози опромінення радіаційний ризик зростає пропорційно. Навіть при дотриманні

нормативних меж опромінення ризик не дорівнює нулю, тому важливе значення має мінімізація дозового навантаження.

Для оцінки рівня потенційної небезпеки було виконано **порівняння радіаційного ризику** для трьох умовних сценаріїв: населення; персоналу АЕС; аварійної ситуації.

1. Населення

Відповідно до НРБУ-97 допустима річна доза для населення становить:

$$E = 1 \text{ мЗв} = 0,001 \text{ Зв}$$

Тоді:

$$R = 0.001 \times 0.05 = 5 \times 10^{-5}$$

Отримане значення ризику: $R = 5 \times 10^{-5}$

2. Персонал АЕС

Для персоналу приймаємо:

$$E = 3 \text{ мЗв} = 0,003 \text{ Зв}$$

Тоді: $R = 1,5 \times 10^{-4}$

3. Умовний аварійний сценарій

Для аварійної ситуації припустимо отримання дози:

$$E = 50 \text{ мЗв} = 0,05 \text{ Зв}$$

Тоді: $R = 0.05 \times 0.05 = 2.5 \times 10^{-3}$

Отриманий ризик: $R = 2,5 \times 10^{-3}$

Порівняльна таблиця ризиків (результати)

Сценарій	Доза, мЗв/рік	Радіаційний ризик
Населення	1	5×10^{-5}
Персонал АЕС	3	$1,5 \times 10^{-4}$
Аварійний сценарій	50	$2,5 \times 10^{-3}$

Результати свідчать, що найбільший рівень ризику спостерігається під час аварійних ситуацій, коли доза опромінення значно перевищує рівні нормальної експлуатації. Для персоналу ризик є вищим, ніж для населення, що

пов'язано з професійним контактом із джерелами іонізуючого випромінювання.

Розрахуємо вплив принципу ALARA на зменшення ризику. Для оцінки ефективності принципу ALARA припустимо, що внаслідок удосконалення системи захисту річна доза персоналу була знижена з 3 мЗв до 1,5 мЗв.

Тоді: $E = 1,5 \text{ мЗв} = 0,0015 \text{ Зв}$

Розрахунок ризику: $R = 0.0015 \times 0.05 = 7.5 \times 10^{-5}$

Ризик зменшується: $1,5 \times 10^{-4} \rightarrow 7,5 \times 10^{-5}$, тобто практично у 2 рази.

Це підтверджує, що реалізація принципу ALARA є ефективним засобом зниження радіаційного ризику для персоналу та підвищення рівня безпеки експлуатації атомних електростанцій.

4.3. Заходи щодо підвищення рівня радіаційної безпеки

Основними напрямками вдосконалення системи безпеки є модернізація технологічного обладнання, розвиток систем контролю та моніторингу, підвищення рівня професійної підготовки персоналу, удосконалення аварійної готовності та впровадження сучасних міжнародних стандартів у сфері ядерної та радіаційної безпеки. Одним із найбільш важливих заходів є модернізація обладнання та систем безпеки атомних електростанцій. На українських АЕС здійснюється поетапна заміна застарілих елементів систем охолодження, електропостачання, автоматичного захисту та контролю реакторних установок. Впровадження сучасних цифрових систем управління та автоматизованих комплексів контролю дозволяє підвищити точність вимірювання технологічних параметрів, забезпечити оперативне реагування на відхилення в роботі обладнання та знизити ймовірність виникнення помилок під час експлуатації енергоблоків.

Важливе значення для забезпечення безпечної експлуатації атомних електростанцій має розвиток автоматизованих систем радіаційного контролю та екологічного моніторингу. Розширення мережі постів автоматичного

контролю, застосування сучасних дозиметричних приладів, удосконалення систем збору та передачі інформації забезпечують оперативне виявлення змін радіаційної обстановки як на території АЕС, так і в межах санітарно-захисної зони та зони спостереження. Для зниження дозового навантаження на персонал необхідно приділити увагу вдосконаленню організації робіт у контрольованих зонах. Використання принципу ALARA є основним заходом у цьому напрямі та включає скорочення часу перебування працівників у зонах підвищеного опромінення, використання дистанційних технологій та роботизованих систем, автоматизація ремонтних робіт, удосконалення біологічного захисту обладнання та застосування сучасних засобів індивідуального захисту.

Одним із ключових напрямів підвищення рівня безпеки є вдосконалення професійної підготовки персоналу атомних електростанцій. Працівники повинні регулярно проходити спеціалізоване навчання, перевірку знань та практичні тренування з питань ядерної і радіаційної безпеки. Особливу роль відіграють протиаварійні тренування, під час яких персонал відпрацьовує алгоритми дій у разі виникнення аварійних ситуацій, порушення роботи систем охолодження або втрати електропостачання. Високий рівень підготовки персоналу дозволяє знизити вплив людського фактору та підвищити ефективність реагування у надзвичайних ситуаціях.

Важливим напрямом удосконалення системи безпеки є розвиток технологій поводження з радіоактивними відходами та відпрацьованим ядерним паливом. Необхідним є впровадження сучасних методів кондиціонування, переробки, транспортування та довготривалого зберігання радіоактивних матеріалів, що дозволяє мінімізувати ризик потрапляння радіонуклідів у навколишнє середовище та знизити рівень потенційного радіаційного впливу. Окремого значення набуває забезпечення фізичного захисту ядерних об'єктів і підвищення стійкості систем безпеки до зовнішніх загроз. З урахуванням сучасних воєнних ризиків значна увага приділяється забезпеченню надійності систем аварійного електропостачання, резервного

охолодження реакторів та захисту критично важливих елементів інфраструктури.

Суттєву роль у підвищенні рівня ядерної та радіаційної безпеки відіграє міжнародне співробітництво. Україна здійснює взаємодію з Міжнародне агентство з атомної енергії, європейськими регуляторними органами та міжнародними експертними організаціями у сфері модернізації атомних електростанцій, оцінки ризиків та впровадження сучасних стандартів безпеки. Використання міжнародного досвіду дозволяє вдосконалювати національну систему ядерної безпеки, підвищувати ефективність контролю та забезпечувати відповідність українських АЕС сучасним міжнародним вимогам.

Таблиця 4.7

Основні заходи щодо зниження ризиків на Південноукраїнській АЕС

Потенційний ризик	Заходи зниження ризику
Втрата електроживлення	Резервні дизель-генератори, дублювання систем живлення
Відмова охолодження	Резервні насоси та аварійне охолодження
Помилки персоналу	Навчання, тренування, автоматизація процесів
Радіаційне забруднення	Системи локалізації та вентиляції
Пожежі	Автоматичне пожежогасіння та пожежна сигналізація
Відмова автоматики	Резервування каналів управління

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Небезпечні фактори під час експлуатації АЕС

Особливість роботи АЕС полягає у використанні ядерного палива, високотемпературних теплоносіїв, складних енергетичних систем та технологічних процесів, що потребують суворого дотримання вимог охорони праці та радіаційної безпеки.

Основним небезпечним фактором під час експлуатації АЕС є іонізуюче випромінювання. У процесі роботи ядерного реактора утворюються радіоактивні ізотопи та продукти поділу ядерного палива, які є джерелами альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання. Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини може призвести до променевих уражень, порушення роботи внутрішніх органів, онкологічних захворювань та генетичних змін. Особливо небезпечним є тривале опромінення навіть малими дозами, оскільки радіація має властивість накопичувального впливу [21].

На атомних електростанціях існує небезпека зовнішнього та внутрішнього опромінення персоналу. Зовнішнє опромінення виникає під час перебування працівників у зоні дії джерел випромінювання. Внутрішнє опромінення можливе при потраплянні радіоактивних речовин до організму через органи дихання, шлунково-кишковий тракт або через пошкодження шкіри. Основними джерелами радіоактивного забруднення є теплоносії першого контуру, радіоактивні відходи, вентиляційні викиди та обладнання реакторного відділення [23].

Крім радіаційного фактору, значну небезпеку становлять високі температури та підвищений тиск у технологічних системах. Температура теплоносія в реакторних установках може перевищувати 300 °С, а тиск у першому контурі реактора досягає 16 МПа. Пошкодження трубопроводів, арматури або теплообмінного обладнання може призвести до викиду пари та гарячого теплоносія, що створює загрозу термічних опіків, травмування персоналу та аварійних ситуацій [19].

Небезпечним фактором є також використання електрообладнання високої напруги. На території АЕС експлуатуються генератори, трансформатори, розподільчі пристрої та кабельні мережі, що працюють під напругою від 0,4 до 750 кВ. Порушення правил електробезпеки може призвести до ураження електричним струмом, виникнення коротких замикань, пожеж та аварійного відключення обладнання [26].

Під час роботи турбінного та насосного обладнання виникають підвищені рівні шуму та вібрації. Тривалий вплив шуму негативно впливає на нервову систему людини, знижує працездатність та концентрацію уваги, що підвищує ризик помилкових дій персоналу. Вібрація може викликати професійні захворювання опорно-рухового апарату та порушення кровообігу [9].

До шкідливих факторів належать також хімічні речовини, що використовуються в технологічних процесах АЕС. Для очищення теплоносія та водопідготовки застосовуються кислоти, луги, реагенти та інші агресивні речовини. Контакт персоналу з такими речовинами може призвести до хімічних опіків, отруєнь та подразнення органів дихання [10].

Важливим небезпечним фактором є пожежна небезпека. На АЕС використовуються мастильні матеріали, кабельна продукція, водень для охолодження генераторів та інші горючі речовини. У разі порушення технологічного режиму можливе виникнення пожеж або вибухів, які можуть пошкодити системи безпеки та спричинити важкі наслідки [34].

Окрему небезпеку становить людський фактор. Помилки персоналу, недостатня кваліфікація, порушення інструкцій або психофізіологічне перевантаження можуть стати причиною аварійних ситуацій. Аналіз найбільших аварій на атомних електростанціях світу свідчить про те, що значна частина порушень у роботі обладнання пов'язана саме з неправильними діями персоналу [12].

5.2. Засоби захисту персоналу

Система захисту персоналу ґрунтується на принципах нормування, обґрунтування та оптимізації дозового навантаження, які встановлені чинними нормами радіаційної безпеки України [21]. Класифікація засобів захисту персоналу на АЕС представлена у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Класифікація засобів захисту персоналу на АЕС

Вид захисту	Основні засоби	Призначення
Колективний захист	Біологічний захист, герметичні бар'єри, вентиляційні системи	Зниження рівня опромінення та запобігання поширенню радіоактивних речовин
Організаційний захист	Інструктажі, навчання, дозиметричний контроль	Забезпечення безпечного виконання робіт
Санітарно-гігієнічний захист	Санпропускники, дезактивація, контроль забруднення	Попередження перенесення радіоактивних речовин
Індивідуальний захист	Спецодяг, респіратори, рукавички, захисні окуляри	Захист органів дихання та шкіри персоналу
Медичний захист	Медичні огляди, йодна профілактика	Контроль стану здоров'я персоналу

Завданням системи захисту є недопущення перевищення допустимих доз опромінення персоналу та мінімізація впливу небезпечних виробничих факторів. Для цього на АЕС застосовуються організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та індивідуальні засоби захисту.

Одним із найважливіших технічних засобів захисту є біологічний захист реакторної установки. Для зниження рівня іонізуючого випромінювання використовуються спеціальні захисні конструкції з бетону, сталі та свинцю. Біологічний захист реактора забезпечує зменшення потужності дози випромінювання до безпечного рівня для персоналу.

На атомних електростанціях діє система герметичних бар'єрів, яка перешкоджає поширенню радіоактивних речовин у навколишнє середовище. До таких бар'єрів належать паливна матриця, оболонки тепловиділяючих елементів, межі першого контуру та герметична оболонка реакторного

відділення. Наявність декількох рівнів захисту забезпечує високий рівень безпеки експлуатації енергоблоків [19].

Для контролю радіаційної обстановки на АЕС функціонує система радіаційного контролю. Вона включає стаціонарні та переносні дозиметри, радіометри, автоматизовані системи контролю потужності дози та рівня радіоактивного забруднення. Персонал, який працює в контрольованих зонах, проходить обов'язковий індивідуальний дозиметричний контроль.

Важливе значення має організація санітарно-пропускового режиму. На вході до контрольованих зон обладнуються санпропускники, де працівники проходять перевірку рівня радіоактивного забруднення, переодягаються у спеціальний одяг та використовують засоби індивідуального захисту. Після завершення роботи персонал проходить дозиметричний контроль та санітарну обробку [9].

До засобів індивідуального захисту належать спеціальний одяг, респіратори, захисні окуляри, гумові рукавички, спецвзуття та ізолюючі костюми. Вибір засобів захисту залежить від характеру робіт, рівня радіаційної небезпеки та можливості контакту з радіоактивними речовинами.

Для зменшення доз опромінення персоналу застосовується принцип «час – відстань – захист». Працівники повинні мінімізувати час перебування біля джерел випромінювання, збільшувати відстань до них та використовувати захисні екрани. Дотримання цього принципу дозволяє суттєво знизити індивідуальні дози опромінення [21].

Важливу роль у забезпеченні безпеки праці відіграє вентиляція виробничих приміщень. На АЕС використовуються спеціальні вентиляційні системи з очищенням повітря через фільтри. Це дозволяє запобігати поширенню радіоактивних аерозолів та підтримувати допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Для забезпечення електробезпеки застосовуються захисне заземлення, автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі, ізоляція струмоведучих частин та попереджувальні знаки безпеки. Працівники

допускаються до роботи з електрообладнанням лише після проходження спеціального навчання та перевірки знань [34].

Важливим елементом системи охорони праці є професійна підготовка персоналу. Працівники АЕС проходять спеціальне навчання, інструктажі, тренування та перевірку знань з питань радіаційної безпеки, охорони праці та дій у надзвичайних ситуаціях. Для підготовки оперативного персоналу використовуються повномасштабні тренажери, які дозволяють відпрацьовувати дії у різних режимах експлуатації та аварійних ситуаціях.

На АЕС також здійснюється медичний контроль персоналу. Працівники проходять попередні та періодичні медичні огляди, а також психофізіологічне обстеження. Особи, які мають медичні протипоказання, не допускаються до роботи у контрольованих зонах та на відповідальних ділянках.

5.3. Дії персоналу у разі радіаційної аварії

Радіаційна аварія на атомній електростанції є небезпечною подією, що може супроводжуватися викидом радіоактивних речовин, опроміненням персоналу та забрудненням навколишнього середовища. Основним завданням персоналу у разі виникнення аварії є швидке виявлення небезпеки, локалізація аварійної ситуації та мінімізація її наслідків.

Порядок дій персоналу визначається планами аварійного реагування, інструкціями та регламентами експлуатації АЕС. У разі виникнення аварії оперативний персонал повинен негайно повідомити керівництво зміни, увімкнути системи аварійного захисту реактора та виконувати дії відповідно до аварійних інструкцій [19]. Послідовність дій персоналу у разі виникнення радіаційної аварії вказана в табл. 5.2.

Послідовність дій персоналу у разі радіаційної аварії

Етап	Основні дії персоналу	Мета виконання
Виявлення аварії	Фіксація перевищення радіаційного фону, повідомлення керівництва	Оперативне реагування
Зупинка реактора	Введення аварійного захисту	Припинення ланцюгової реакції
Радіаційний контроль	Вимірювання потужності дози та меж забруднення	Оцінка радіаційної обстановки
Використання ЗІЗ	Одягання респіраторів та захисного одягу	Захист персоналу
Локалізація аварії	Герметизація приміщень, включення аварійної вентиляції	Обмеження поширення радіоактивних речовин
Евакуація	Виведення персоналу із небезпечної зони	Зменшення доз опромінення
Дезактивація	Очищення приміщень та обладнання	Зниження рівня забруднення

Одним із перших заходів є автоматичне або ручне заглушення реактора. Для цього здійснюється введення органів регулювання та аварійного захисту в активну зону реактора з метою припинення ланцюгової ядерної реакції. Після зупинки реактора необхідно забезпечити відведення залишкового тепловиділення від активної зони. У разі радіаційної аварії проводиться оперативний радіаційний контроль. Визначаються рівні радіації, межі забруднених зон, потужність дози та концентрація радіоактивних речовин у повітрі. На основі отриманих даних приймаються рішення щодо евакуації персоналу, використання засобів захисту та обмеження доступу до небезпечних ділянок [24].

Персонал, який бере участь у ліквідації наслідків аварії, повинен використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання та шкіри. Допуск працівників до аварійних робіт здійснюється лише після проведення інструктажу та визначення допустимого часу перебування у зоні підвищеного радіаційного фону [10]. Основні засоби індивідуального захисту персоналу наведено у табл. 5.3.

Основні засоби індивідуального захисту персоналу АЕС

Засіб захисту	Сфера застосування	Захисна функція
Спеціальний одяг	Робота у контрольованій зоні	Захист шкіри від забруднення
Респіратор	Робота у зоні можливого аерозольного забруднення	Захист органів дихання
Захисні окуляри	Робота з хімічними речовинами та пилом	Захист органів зору
Гумові рукавички	Робота з радіоактивними та хімічними речовинами	Захист рук
Спецвзуття	Робота у виробничих приміщеннях	Захист від механічних пошкоджень та забруднення
Ізольуючий костюм	Ліквідація аварійних ситуацій	Комплексний захист організму

Важливим заходом є герметизація приміщень та включення систем аварійної вентиляції. Це дозволяє зменшити поширення радіоактивних речовин та забезпечити очищення повітря через фільтрувальні установки. У разі необхідності проводиться йодна профілактика для захисту щитоподібної залози від накопичення радіоактивного йоду. Під час аварії велике значення має чітка організація управління та зв'язку. Керівництво ліквідацією аварії здійснює штаб аварійного реагування, який координує дії персоналу, аварійних служб та органів цивільного захисту. Усі дії повинні виконуватись відповідно до затверджених планів та команд керівника аварійних робіт [34].

У разі загрози значного радіаційного забруднення може проводитись евакуація персоналу та населення із небезпечної зони. Евакуаційні заходи здійснюються за визначеними маршрутами з урахуванням радіаційної обстановки та метеорологічних умов. Після локалізації аварії проводиться дезактивація обладнання, приміщень, спецодягу та техніки. Дезактивація дозволяє знизити рівень радіоактивного забруднення до допустимих значень та забезпечити безпечне проведення подальших робіт [9, 12].

Одним із найважливіших напрямів забезпечення готовності до аварійних ситуацій є проведення регулярних протиаварійних тренувань. Під час таких

тренувань персонал відпрацьовує порядок дій у разі втрати живлення, пошкодження обладнання, пожежі або радіаційного викиду. Це дозволяє підвищити рівень підготовки працівників та зменшити ймовірність помилкових дій в умовах реальної аварії.

ВИСНОВКИ

1. У роботі досліджено теоретичні основи радіаційної безпеки та встановлено, що забезпечення захисту персоналу, населення і навколишнього середовища від впливу іонізуючого випромінювання базується на принципах виправданості, неперевищення дозових меж та оптимізації дозового навантаження відповідно до принципу ALARA.

2. Проаналізовано нормативно-правову базу України у сфері радіаційної безпеки. Встановлено, що діяльність атомних електростанцій регламентується НРБУ-97, ДСП 6.177-2005-09-02, законами України та міжнародними стандартами МАГАТЕ, які визначають вимоги до експлуатації ядерних установок і захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання.

3. Досліджено особливості функціонування Південноукраїнської АЕС та визначено основні джерела радіаційної небезпеки, до яких належать активна зона реактора, теплоносій першого контуру, відпрацьоване ядерне паливо, радіоактивні відходи, а також радіоактивні викиди і скиди, що контролюються у процесі експлуатації станції.

4. Встановлено, що на Південноукраїнській АЕС функціонує ефективна система радіаційного контролю, яка включає автоматизовану систему контролю радіаційної обстановки, лабораторний контроль, індивідуальний дозиметричний контроль персоналу та постійний моніторинг радіаційної ситуації на промисловому майданчику і прилеглих територіях.

5. Проведений аналіз поводження з радіоактивними відходами та моніторингу довкілля показав, що на станції застосовуються сучасні технології очищення, кондиціювання та тимчасового зберігання радіоактивних відходів, а контроль атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів і біоти забезпечує своєчасне виявлення можливих змін радіаційної обстановки.

6. Оцінка відповідності системи радіаційної безпеки Південноукраїнської АЕС нормативним вимогам показала, що основні показники радіаційного контролю, дозового навантаження персоналу та

впливу на довкілля перебувають у межах установлених нормативів, а система загалом відповідає вимогам національного законодавства та рекомендаціям МАГАТЕ.

7. Визначено, що подальше підвищення рівня радіаційної безпеки доцільно здійснювати шляхом модернізації систем моніторингу, удосконалення засобів аварійного реагування, розвитку цифрових технологій контролю, посилення фізичного захисту об'єкта та подальшого впровадження заходів, спрямованих на зниження індивідуальних доз опромінення персоналу відповідно до принципу ALARA.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
2. Гудков І. М., Назаренко В. І., Кашпаров В. О. Радіобіологія та радіоекологія : навчальний посібник. Херсон : Олді-Плюс, 2019. 296 с.
3. Державна інспекція ядерного регулювання України. Загальні положення безпеки атомних станцій. Київ, 2021. 98 с.
4. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів: ДСП № 173-96. Київ : МОЗ України, 1996. 111 с.
5. Державні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: ДСП 6.177-2005-09-02. Київ : МОЗ України, 2005. 160 с.
6. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 30 с.
7. Екологічна обстановка в зоні розташування філії «ВП ПАЕС» за 2025 рік. Офіційний портал Вознесенської міської ради. URL: <https://vozneseenska-gromada.gov.ua>
8. Екологічний паспорт філії «ВП Південноукраїнська АЕС» за 2024 рік. Офіційний сайт Енергоатом. URL: <https://energoatom.com.ua/>
9. Жебровська Н. К. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. Київ: Каравела, 2019. 328 с.
10. Запорожець О. І. Радіаційна безпека : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 296 с.
11. Кадошников В. М., Ковальчук Т. І. Основи радіаційної безпеки : навчальний посібник. Одеса : Екологія, 2018. 224 с.
12. Ключников А. А. Безпека атомних електростанцій : навчальний посібник. Одеса : Наука і техніка, 2018. 412 с.
13. Ключников А. А., Єгоров Ю. В. Водно-хімічні режими атомних електростанцій. Київ : Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, 2018. 256 с.

14. Ключников А. А., Шараєвський І. Г., Єгоров Ю. В. Ядерні енергетичні реактори : навчальний посібник. Київ : Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2019. 320 с.
15. Комплексна програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України: звіт про екологічну оцінку. Київ : ДП «НАЕК «Енергоатом»», 2019.
16. Міжнародне агентство з атомної енергії. Environmental Impact Assessment for Nuclear Power Programmes. Vienna : IAEA, 2016. 98 p. URL: <https://www.iaea.org>
17. Міжнародне агентство з атомної енергії. Fundamental Safety Principles. Vienna : IAEA, 2016. 30 p. URL: <https://www.iaea.org>
18. Міжнародне агентство з атомної енергії. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards. Vienna : IAEA, 2018. 436 p. URL: <https://www.iaea.org>
19. НАЕК «Енергоатом». Загальні вимоги до систем безпеки атомних станцій. Київ, 2021. 156 с.
20. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2023 році. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2024. 412 с. URL: <https://mepr.gov.ua>
21. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1-6.5.001-98. Київ : МОЗ України, 1998. 135 с.
22. Офіційний сайт Південноукраїнського енергокомплексу. URL: <https://www.energoatom.com.ua>
23. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: ОСПУ-2005. Київ : МОЗ України, 2005. 89 с.
24. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: ДСП 6.177-2005-09-02. Київ : МОЗ України, 2005. 143 с.
25. Постанова Кабінету Міністрів України «Про створення Національної атомної енергогенеруючої компанії "Енергоатом"» від 17 жовтня 1996 року № 1268. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1268-96-%D0%BF>

26. Правила ядерної та радіаційної безпеки при експлуатації атомних станцій. Київ : Держатомрегулювання України, 2011. 98 с.

27. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 08.02.1995 № 39/95-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1995. № 12. Ст. 81. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80>

28. Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання : Закон України від 14.01.1998 № 15/98-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 22. Ст. 115. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80>

29. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 № 2707-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>

30. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>

31. Радіаційна безпека : навчальний посібник / за ред. В. І. Голінька. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. 178 с.

32. Технічний опис і обґрунтування безпеки енергоблока з реактором ВВЕР-1000 / ДП «НАЕК «Енергоатом»». Київ, 2021. 458 с.

33. Томілін Ю. А., Григор'єва Л. І., Ярошенко Н. В., Блохін І. О. Динаміка активності радіоцезію у водній системі Ташлицьке водосховище – р. Південний Буг (1999–2004 рр.). Наукові записки НаУКМА. Серія : Біологія та екологія. 2006. Т. 54. С. 57–63.

34. Цивільний захист та охорона праці в галузі : навчальний посібник / за ред. О. І. Запорожця. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 264 с.

35. World Health Organization. Ionizing radiation, health effects and protective measures. Geneva : WHO, 2023. URL: <https://www.who.int/>