

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет аграрних технологій та екології
Кафедра екології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

«Геоекологічний аналіз довкілля навколо Рівненської АЕС в
умовах зростаючих загроз через воєнні дії»

спеціальність 101 Екологія
освітня програма «Екологія»

Виконала: здобувачка вищої освіти
групи ЕОС_з - 41
Катеринич Леся Олексіївна

(підпис)

Керівник:
к.геогр.н., доцент
Мисковець Ірина Ярославівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2026р.
к.геогр.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Федонюк Віталіна Володимирівна

(підпис)

Луцьк - 2026 рік
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аграрних технологій та екології

Кафедра екології

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 10 Природничі науки

Спеціальність: 101 Екологія

Освітня програма: «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Іванців В.В.
«___» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Катеринич Лесі Олексіївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Геоєкологічний аналіз довкілля навколо Рівненської АЕС в умовах зростаючих загроз через воєнні дії».

Керівник роботи: к. геогр. н., доцент Мисковець І.Я. затверджені наказом закладу вищої освіти від « 28 » лютого 2026 р. № 102/0102

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи бакалавра « 13 » червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи: дані спостережень Рівненського обласного центру з гідрометеорології та департаменту екології, текстова інформація (монографії, наукові статті), документи і законодавчі акти, картографічні матеріали, інтернет-джерела, матеріали Рівненської ОДА, статистичні матеріали еколого-хімічної лабораторії служби охорони довкілля, хімічної лабораторії цеху підземних та теплових комунікацій та лабораторії зовнішнього радіаційного контролю цеху радіаційної безпеки.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) Теоретико-методологічні аспекти дослідження атомної енергетики; 2) Вплив рівненської АЕС на довкілля в умовах зростаючих загроз через воєнні дії; 3) Шляхи вдосконалення геоєкологічного моніторингу та підвищення екологічної безпеки; 4). Напрямки і перспективи розвитку атомної енергетики та оптимізація функціонування РАЕС.

5. Перелік графічного матеріалу: 1) Схема енергоблоків з ВВЕР. 2) Основні компоненти геоєкологічного моніторингу в зоні впливу РАЕС; 3) Характеристика обладнання енергоблоків РАЕС; 4) Фото РАЕС; 5) Динаміка об'ємів технічного водопостачання РАЕС 6) Забруднення радіонуклідами ґрунту в районі РАЕС; 7) Кубовий залишок в сховищах РАЕС; 8) Накопичення ВФМ в сховищах РАЕС 9). Накопичення ТРВ 10) Радіаційне забруднення поверхневих вод; 11) Схема поводження з РРВ; 12) Схема поводження з ТРВ 13) Стратегія розвитку РАЕС.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «28» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Обґрунтування теми	лютий 2026	виконано
2.	Огляд літератури із досліджуваної проблеми	лютий 2026 р.	виконано
3.	1 розділ	лютий 2026 р.	виконано
4.	2 розділ	березень 2026 р.	виконано
5.	3,4 розділ	березень 2026 р.	виконано
6.	Висновки та пропозиції	травень 2026 р.	виконано
7.	Формування списку використаних джерел	травень 2026 р.	виконано
8.	Формування додатків	травень 2026 р.	виконано
9.	Оформлення ілюстративного матеріалу	травень 2026 р.	виконано
10.	Нормоконтроль	травень 2026 р.	виконано
11.	Інструментальна перевірка на академічний плагіат	до 01.06.2026 р.	виконано
12.	Представлення кваліфікаційної роботи до захисту	13.06.2026 р.	виконано

Здобувач вищої освіти _____ (Катеринич Л.О..) (підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ (Мисковець І.Я.) (підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Катеринич Л.О.: «Геоекологічний аналіз довкілля навколо Рівненської АЕС в умовах зростаючих загроз через воєнні дії» на даних спостережень Рівненського обласного центру з гідрометеорології та департаменту екології, текстова інформація (монографії, наукові статті), документи і законодавчі акти, картографічні матеріали, інтернет-джерела, матеріали Рівненської ОДА, статистичні матеріали еколого-хімічної лабораторії служби охорони довкілля, хімічної лабораторії цеху підземних та теплових комунікацій та лабораторії зовнішнього радіаційного контролю цеху радіаційної безпеки. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Екологія» спеціальності 101 Екологія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання із 24 найменувань. Робота містить 4 таблиці, 16 рисунків і має обсяг 54 аркушів комп'ютерного тексту.

В роботі проаналізовано екологічну ситуацію в зоні впливу РАЕС, вивчено потенційні і реальні загрози у період збройного конфлікту та вироблено науково обґрунтовані пропозиції для підвищення рівня екологічної безпеки.

У першому розділі роботи розглянуто теоретико-методологічні аспекти дослідження атомної енергетики, а саме: атомну енергетику на сучасному етапі, теоретичні засади геоекологічного моніторингу в умовах техногенного та воєнного навантаження (на прикладі РАЕС).

У другому розділі «Вплив Рівненської АЕС на довкілля в умовах зростаючих загроз через воєнні дії» розглянуто забруднення атмосферного повітря, поверхневих вод, ґрунтів, утворення радіоактивних відходів та нові загрози в умовах війни.

У третьому розділі розглянуто шляхи вдосконалення геоекологічного моніторингу та підвищення екологічної безпеки.

У четвертому розділі розглянуто напрямки і перспективи розвитку атомної енергетики та оптимізацію функціонування РАЕС.

Ключові слова: атомна енергетика, радіоактивні відходи, радіаційне забруднення, воєнні дії.

ANNOTATION

Katerynych L.O.: “Geoecological analysis of the environment around the Rivne NPP in conditions of growing threats due to military actions” based on observation data of the Rivne Regional Center for Hydrometeorology and the Department of Ecology, text information (monographs, scientific articles), documents and legislative acts, cartographic materials, Internet sources, materials of the Rivne Regional State Administration, statistical materials of the ecological and chemical laboratory of the environmental protection service, the chemical laboratory of the underground and thermal communications department and the laboratory of external radiation control of the radiation safety department. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Ecology" specialty 101 Ecology. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of used sources of 24 names. The work contains 4 tables, 16 figures and has a volume of 54 sheets of computer text.

The work analyzes the ecological situation in the zone of influence of the Rivne NPP, studies potential and real threats during the armed conflict and develops scientifically substantiated proposals for increasing the level of environmental safety.

The first section of the work considers theoretical and methodological aspects of the study of nuclear energy, namely: nuclear energy at the present stage, theoretical principles of geoecological monitoring under conditions of technogenic and military load (using the example of the Rivne NPP).

The second section "Impact of the Rivne NPP on the environment under conditions of growing threats due to military actions" considers pollution of atmospheric air, surface water, soil, formation of radioactive waste and new threats in conditions of war.

The third section considers ways to improve geoecological monitoring and increase environmental safety.

The fourth section considers the directions and prospects for the development of nuclear energy and the optimization of the functioning of the RNPP.

Key words: *nuclear energy, radioactive waste, radiation pollution, military operations.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	10
1.1. Атомна енергетика на сучасному етапі.....	10
1.2. Теоретичні засади геоєкологічного моніторингу в мовах техногенного та воєнного навантаження (на прикладі Рівненської АЕС).....	13
1.3. Методи дослідження радіаційного забруднення.....	15
1.4. Технологічні особливості функціонування РАЕС.....	15
Висновки до розділу 1.....	20
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС НА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ЗРОСТАЮЧИХ ЗАГРОЗ ЧЕРЕЗ ВОЄННІ ДІЇ.....	21
2.1. Забруднення атмосферного повітря.....	23
2.2. Забруднення поверхневих вод та ґрунтів.....	25
2.3. Утворення радіоактивних відходів.....	30
2.4. Радіаційне забруднення середовища.....	34
2.5. Нові загрози в умовах війни.....	37
Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	39
3.1. Очищення газових викидів, стічних вод.....	39
3.2. Утилізація радіоактивних відходів.....	40
3.3. Заходи щодо захисту від фізичного впливу.....	44
Висновки до розділу 3.....	45
РОЗДІЛ 4 . НАПРЯМКИ І ПЕРСПЕКТИВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАЕС.....	46
Висновки до розділу 4.....	50
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	52

ВСТУП

Сучасні глобальні виклики, спричинені зміною клімату, техногенними навантаженнями та воєнними конфліктами, істотно впливають на стан довкілля та рівень екологічної безпеки. Сучасні екологічні ризики атомної енергетики (зокрема, аварія на ЧАЕС), зумовлюють актуальність геоекологічного аналізу територій, прилеглих до АЕС. В «Україні, яка посідає п'яте місце в Європі за кількістю ядерних реакторів, важливо визначати шляхи розвитку галузі з урахуванням екологічних аспектів. В умовах повномасштабної війни в Україні загроза екологічним катастрофам унаслідок руйнування або пошкодження критичної інфраструктури набула особливої актуальності» [19]. На прикладі Рівненської АЕС проведено дослідження стану довкілля 30-кілометрової зони спостереження.

РАЕС (Рівненська атомна електростанція), як один із ключових енергогенеруючих об'єктів країни, розташована в екологічно чутливому регіоні. Вплив воєнних дій на території, прилеглій до РАЕС, підвищує ризики для довкілля та потребує посиленого геоекологічного моніторингу. Такий моніторинг є необхідною умовою оперативного реагування на зміни екологічного стану, попередження негативних наслідків та захисту населення.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю оцінки екологічного стану території, прилеглій до РАЕС, вивчення потенційних і реальних загроз у період збройного конфлікту та вироблення науково обґрунтованих пропозицій для підвищення рівня екологічної безпеки.

Отримані дані є основою для розробки заходів зі зниження ризику забруднення, ефективного використання природних ресурсів, виробництва екологічно чистої продукції в умовах воєнних загроз.

Метою роботи є аналіз геоекологічного стану довкілля навколо Рівненської АЕС та оцінка ефективності існуючої системи моніторингу в умовах воєнних загроз.

Виходячи з мети дослідження, в роботі поставлені такі *завдання*:

1. Узагальнити теоретико-методологічні аспекти дослідження атомної енергетики;
2. Виявити технологічні особливості функціонування Рівненської АЕС;
3. Проаналізувати природно-географічні особливості території навколо РАЕС;
4. Оцінити сучасний стан довкілля в зоні впливу електростанції;
5. Визначити основні ризики, що виникають у результаті воєнних дій;
6. Запропонувати шляхи вдосконалення системи геоекологічного моніторингу для екологічної безпеки регіону.

Об'єктом дослідження є геоекологічний стан довкілля в зоні впливу Рівненської АЕС. *Предметом дослідження* є система геоекологічного моніторингу та її ефективність в умовах зростаючих воєнних загроз.

Методи дослідження: аналіз наукової літератури та звітної документації, методи геоекологічного моніторингу, просторово-часовий аналіз, картографічні методи, порівняльний аналіз екологічних показників.

Використані матеріали. Для написання роботи використано статистичні матеріали еколого-хімічної лабораторії служби охорони довкілля, хімічної лабораторії цеху підземних та теплових комунікацій та лабораторії радіаційного контролю, а також Рівненського обласного центру з гідрометеорології та департаменту екології.

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було також використано інструменти штучного інтелекту (ШІ) для редагування і форматування тексту теоретичних розділів виключно як допоміжний засіб для уточнення формулювань, опрацювання літературних джерел та графічного представлення результатів дослідження. Усі твердження, результати та висновки належать автору і ґрунтуються на власному аналізі досліджених матеріалів.

Наукова новизна. В ході написання дипломної роботи визначено роль РАЕС у розвитку Рівненщини. Проаналізовано позитивні та негативні особливості роботи РАЕС. Детально досліджено стан повітря, вод, ґрунтів на

території, що прилягає до РАЕС. Охарактеризовано специфіку радіоактивних відходів, що утворюються в результаті діяльності даного об'єкту. Оцінено радіаційну ситуацію досліджуваної території. Розроблено та запропоновано для використання напрямки оптимізації стану довкілля у межах РАЕС.

Кваліфікаційна робота викладена на 52 сторінках. Включає вступ, 3 розділи, висновки, перелік джерел посилання, який містить 25 найменувань. Робота містить рисунки (20) та 1 таблицю.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 . Атомна енергетика на сучасному етапі

За сто років атомна енергетика пройшла шлях від лабораторних дослідів (1890–1940) до будівництва великих АЕС (з 1954 р. і донині). Сучасні станції переважно використовують чотири типи реакторів I–III поколінь:

- легководні (PWR, BWR, LGR);
- важководні (CANDU);
- газоохолоджувані (MAGNOX, AGR);
- швидкі на нейтронах (БН).

«Найбільшу частку електроенергії у світі виробляють АЕС з легководними реакторами (понад 1300 ГВт). З 1960 по 2008 рр. збудовано понад 540 ядерних реакторів (близько 100 закрито). Цикл використання ядерного палива забезпечують 250 заводів. Для науки створено 651 дослідницький реактор, з яких працює 284, у тому числі 2 — в Україні» [8]. У 1945–1960 рр. атомна енергетика розвивалась під впливом військово-промислових програм, із високою аварійністю та низькими стандартами безпеки. «Подальше вдосконалення технологій і зростання дефіциту органічного палива зробили АЕС перспективною альтернативою, адже 1 кг урану замінює близько 20 т вугілля» [8].

У 1970–1980 рр. тривало активне будівництво реакторів I покоління зі щорічним приростом потужності ~25%. У 1980–1990 рр. темпи знизилися до 6%, з'явилися реактори II покоління, посилилися протести, особливо після аварії на ЧАЕС. У 1990–2000 рр. через Чорнобиль більшість країн оголосили мораторій на нові АЕС, але на початок XXI ст. підвищення стандартів безпеки частково відновило довіру до атомної енергетики [13].

Технічні системи енергетичних об'єктів не бувають стовідсотково надійними, тому кожна має певний ризик. Оцінка ризику повинна

враховувати й користь від діяльності, порівнюючи безпеку з іншими видами діяльності. АЕС та об'єкти циклу використання ядерного палива є джерелами техногенного впливу на довкілля та людей.

Переваги АЕС над тепловими станціями:

Атомна енергетика — один з найчистіших джерел електроенергії. При виробництві електроенергії АЕС не викидають CO₂ у таких обсягах, як ТЕС. В ЄС її розглядають як інструмент досягнення кліматичної нейтральності. Це нове покоління реакторів потужністю 50–300 МВт. Їх можна швидко будувати, вони дешевші та безпечніші, підходять навіть для віддалених регіонів. Працюють ефективніше, виробляють менше відходів і можуть «перепалювати» відпрацьоване паливо. Окремі розробки використовують як теплоносії не воду, а рідкі метали чи газ [17].

Після Паризької кліматичної угоди атом отримав друге дихання як альтернатива викопному паливу. Країни, які раніше планували відмовитися від АЕС (наприклад, Франція, Японія), знову розглядають розширення атомного сектору. Деякі країни вже тестують проєкти, де атомні станції працюють разом із сонячними чи вітровими електростанціями, забезпечуючи стабільне живлення мережі.

«Цикл використання ядерного палива є ключовим фактором атомної енергетики, забезпечуючи її безпеку, ефективність та соціальну доцільність. Він поєднує безпеку АЕС із мінімізацією ризиків на всіх етапах — від видобутку урану до захоронення відходів. Збільшення видобутку урану потребує підвищення ефективності палива та зменшення відходів через замкнений цикл. Економічна ефективність АЕС залежить від удосконалення паливного циклу та підвищення експлуатаційних характеристик тепловиділяючих збірок» [3, с. 4].

У ХХІ столітті атомна енергетика, спираючись на сучасні технології, залишається провідним чинником зростання світового виробництва електроенергії та не має значних конкурентів у довгостроковій перспективі. Для масштабного розвитку потрібні висока ефективність, ресурсна

забезпеченість, енергонадмірність, безпека та екологічна прийнятність. Це «досягається двокомпонентною структурою — тепловими та швидкими реакторами, що підвищує використання урану та знижує екологічні ризики. Безпека і зниження витрат для обох типів реакторів відомі, але потребують часу та інвестицій» [2, с.16].

Екологічний вплив залежить від кількості радіонуклідів у паливному циклі та сховищах. Ризики від короткоживучих ізотопів можна контролювати, тоді як довгострокова безпека захоронення довгоживучих радіонуклідів залишається складним завданням. Необхідно не лише шукати надійні методи захоронення відходів радіоактивних, а й розвивати замкнений паливний цикл із використанням актиноїдів (Np, Am, Cm). Це ускладнить технології та конструкції реакторів, тому розглядають трикомпонентну структуру атомної енергетики — теплові, швидкі та спеціалізовані реактори для спалювання актиноїдів.

Головні виклики — переробка та виділення відходів для повторного використання. У XXI столітті потрібен науково-технічний прорив, включно з електроядерною та термоядерною енергетикою, що вимагатиме міжнародної співпраці.

В Україні ядерна енергетика виступає складовою паливного та енергетичного комплексу, яка забезпечує виробництво як електричної енергії, так і теплової шляхом використання ядерної енергії. Україна входить у топ-10 країн світу за виробництвом електроенергії з атома (понад 50% усього виробництва). Працює 4 діючі АЕС: Запорізька, Рівненська, Південноукраїнська, Хмельницька. Атомні електростанції забезпечують близько 24,5 % встановленої генерувальної потужності країни, а в пікові зимові періоди їхня частка у виробництві електроенергії перевищує 40 %. У різні роки внесок АЕС змінювався: 1990 р. — 24,5 %, 1994 р. — 34,2 %, 2015 р. — 47,4 %, 2020 р. — 56,5 %, 2024 р. — 54,9 % [19].

За кількістю ядерних реакторів Україна посідає 7-ме місце у світі та 5-те в Європі, маючи 15 енергоблоків типу ВВЕР на чотирьох діючих АЕС

(Чорнобильська зупинена у 2000 р.). Найпотужніша з них — Запорізька АЕС (6 блоків, 6000 МВт), що є найбільшою в Європі. Загальна потужність АЕС становить 13 835 МВт. Регулятором галузі виступає Державна інспекція ядерного регулювання України. У 1996 р. створено НАЕК «Енергоатом» для роботи АЕС та забезпечення енергопостачання. До її складу увійшли п'ять АЕС, згодом Чорнобильську виключили (2001 р.). Станом на листопад 2022 р. «Енергоатом» забезпечував понад 50 % виробництва електроенергії країни та відповідав за безпечну експлуатацію всіх українських АЕС [8].

Відповідно до Енергетичної стратегії України до 2030 року передбачено підвищення виробництва електроенергії на атомних електростанціях до 219 млрд кВт·год, утримуючи частку близько 50% у загальному виробництві. Потужність АЕС передбачається майже подвоїти — до 29,5 млн кВт при коефіцієнті використання потужності 85%. Це досягатиметься за рахунок введення нових блоків потужністю 1–1,5 млн кВт та продовження експлуатації існуючих. Для порівняння, у 2006 році потужність АЕС в Україні становила 13,8 млн кВт із виробленням 90,2 млрд кВт·год, що становило близько 48,7% загального обсягу електроенергії [5, с. 116].

Енергетична стратегія України передбачає розвиток національного ЯПЦ, збільшення видобутку урану, розвиток виробництва цирконію і комплектуючих, розвиток міжнародної співпраці у галузі виробництва ядерного палива.

1.2. Теоретичні засади геоecологічного моніторингу в умовах техногенного та воєнного навантаження (на прикладі Рівненської АЕС)

Геоecологічний моніторинг є складовою системи ecологічної безпеки, що забезпечує своєчасне виявлення негативних змін у стані природного середовища, особливо в районах з підвищеним рівнем техногенного навантаження, таких як території поблизу атомних електростанцій.

РАЕС (Рівненська атомна електростанція) розташована на півночі Рівненської області поблизу м. Вараш. РАЕС є значним техногенним чинником потенційної небезпеки для довкілля у зв'язку з наявністю радіоактивних матеріалів, сховищ ядерного палива, технічних водосховищ та інших об'єктів. Геоєкологічний моніторинг тут є критично важливим для гарантування стабільного функціонування природних систем.

У мирний час екологічний моніторинг РАЕС здійснювався за наступними основними напрямками: [16]

- контроль викидів і скидів забруднювачів;
- вимірювання рівнів іонізуючого випромінювання;
- аналіз стану ґрунтів, води, повітря;
- біоіндикація стану екосистем.

Однак із повномасштабним вторгненням росії в Україну у 2022 році ситуація різко ускладнилася. Території, наближені до стратегічних об'єктів, стали потенційною мішенню. У зв'язку з цим зросла потреба в:

- посиленому контролю за безпекою об'єктів (ядерних);
- оперативному зборі та передачі даних про стан довкілля;
- моделюванні сценаріїв можливих аварій у разі воєнного ураження.

Таблиця 1.1. Основні компоненти геоєкологічного моніторингу в зоні впливу РАЕС (складено за [15])

Компонент середовища	Методи моніторингу	Ризики в умовах війни
Атмосферне повітря	Автоматизовані пости спостереження, пробовідбір	Викиди при пошкодженні інфраструктури, пожежі
Поверхневі води	Хімічний аналіз, гідробіологічний контроль	Забруднення стоками, аварійні скиди з водосховищ
Ґрунти	Відбір проб, радіометричний контроль	Радіоактивне та хімічне забруднення при вибухах, техноаваріях
Радіаційна	Дозиметрія, гамма-	Витік радіонуклідів, порушення

Компонент середовища	Методи моніторингу	Ризики в умовах війни
ситуація	спектрометрія, моніторинг аерозолів	захисту ядерного палива
Біота	Біоіндикація, стан флори та фауни	Деградація екосистем, загибель біоти через вплив токсичних агентів

1.3. Методи дослідження радіаційного забруднення

У радіології застосовують фізичні, хімічні, фотохімічні, біологічні та математичні методи визначення радіоактивності, переважно фізичні, що базуються на іонізації, сцинтиляції, зміні властивостей речовин і тепловій дії. Основні методи вимірювання іонізуючого випромінювання: іонізаційний, сцинтиляційний, хімічний, фотографічний, термолюмінесцентний, біологічний, тепловий, математичний, нейтронно-активаційний [11].

Прилади для реєстрації випромінювання — лічильники та радіометри (пошукові, лабораторні, клінічні), що використовують іонізаційні та сцинтиляційні детектори. Для альфа- і бета-забруднень існують портативні та стаціонарні радіометри різних типів.

1.4. Технологічні особливості функціонування РАЕС

На енергоблоках Рівненської АЕС встановлені ВВЕР (водо-водяні енергетичні реактори) (рис.1.1.). Енергоблоки з ВВЕР-440 та ВВЕР-1000 мають двоконтурну схему [22].

Перший контур — радіоактивний, включає реактор ВВЕР і циркуляційні петлі охолодження з головними циркуляційними насосами, парогенераторами і запірними засувками. Для підтримки тиску в контурі є компенсатор. ВВЕР-440 має 6 петель, ВВЕР-1000 — 4.

Другий контур — нерадіоактивний, включає парогенератори, турбіни, сепаратори, живильні насоси, деаератори і підігрівачі. Тепло від першого

контур у через парогенератор передається другому, де утворюється пара для турбіни та генератора. Охолодження конденсаторів турбін забезпечують градирні та водосховище.

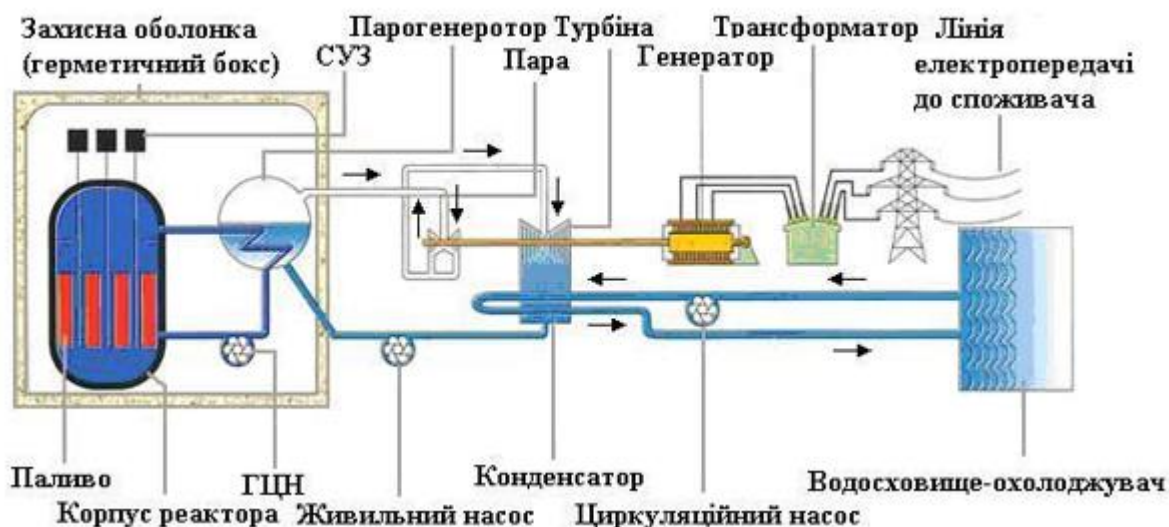


Рисунок 1.1 Схема енергоблоків з ВВЕР (подано за : <http://olav-smt.narod.ru/firm/reactor.htm>)

ВВЕР — корпусний реактор з водою під тиском, яка є теплоносієм і сповільнювачем. Корпус — вертикальна циліндрична ємність з кришкою і патрубками, всередині розміщена шахта для підтримки активної зони і внутрішніх пристроїв.

Активна зона реактора складається з шестигранних тепловиділяючих збірок (ТВС) із стрижневими тепловиділяючими елементами (ТВЕЛ) з діоксиду урану в оболонках із цирконієвого сплаву. ТВЕЛи розміщені у трикутній решітці, ТВС — також у трикутній решітці з кроком 147 мм (ВВЕР-440) або 241 мм (ВВЕР-1000). Верхня частина активної зони має блок захисних труб і регулюючі органи з рідким поглиначем для реакції.

Теплоносій проходить по першому контуру: входить через патрубки, рухається між корпусом і шахтою, нагрівається в ТВС і виходить у міжтрубний простір для передачі тепла в другий контур.

Паливо — спечений діоксид урану з збагаченням U-235 від 2,4 до 4,4%. Реактор має властивість саморегулювання: підвищення температури знижує інтенсивність ланцюгової реакції [22].

Перший контур включає реактор, парогенератор, головний циркуляційний насос, систему компенсації тиску, підживлення, очищення, аварійного охолодження, газові здування та систему дренажу

Технічний контроль параметрів обладнання та захист від пошкоджень першого контуру і інших систем здійснює система контролю, управління і захисту.

Ядерне паливо реактора потужністю 3000 МВт віддає теплоносієві з температурою 322°C. Витрата води — 15 800 кг/с, робочий тиск — 16 МПа. Теплоносій у парогенераторі передає тепло робочому тілу і повертається в реактор за допомогою ГЦН. Система компенсації тиску вирівнює коливання тиску в контурі через теплове розширення і включає паровий компенсатор, барбатер, імпульсно-запобіжні пристрої, трубопроводи та арматуру. Тиск у компенсаторі підтримується паровою "подушкою", що утворюється кипінням теплоносія, нагрітого електронагрівачами. При коливаннях тиску теплоносій переходить між контуром і компенсатором. Регулювання тиску відбувається стисканням або розширенням парової подушки. При надлишковому тиску відкривається клапан, який подає "холодну" воду для зниження тиску. Якщо це не ефективно, спрацьовують імпульсно-запобіжні пристрої, відводячи пару в барботер для конденсації [25].

Система очищення теплоносія забезпечує підтримання водного режиму, дегазацію і видалення домішок та продуктів корозії, щоб запобігти накопиченню радіоактивності і погіршенню теплопередачі. Корозію регулюють водно-хімічним режимом, оскільки борне регулювання її посилює. Джерела домішок — первинна і підживлювальна вода, а також забруднення при монтажі і ремонті.

Регулювання потужності і аварійний захист реакторів «здійснюються касетами-поглиначами з бористої сталі (ВВЕР-440) або карбиду бору (ВВЕР-1000). ВВЕР-440 має поглиначі знизу, ВВЕР-1000 — кластерні пучки стрижнів, що вводяться в тепловиділяючі збірки. Управління енергоблоками централізоване з дистанційним і місцевим контролем, автоматичне за

автономними регуляторами. Параметри контурів контролюють із блочних щитів: температура, тиск, витрати, нейтронний потік, електричні параметри» [23].

У ВВЕР-1000 функції СУЗ виконуються комплексно з використанням спеціального програмного забезпечення. Робочими органами СУЗ є поглинаючі стрижні, які об'єднані в кластери, по 18 стрижнів. Один привід переміщує весь кластер, який по каналам може рухатися всередині тепловиділяючої збірки [23]. Всі ТВС оснащені каналами для входу органів регулювання, але кластерів всього 61 (ТВС-163).

Активна зона (на прикладі енергоблоку №1)

Активна зона енергоблоку №1 РАЕС складається з 276 паливних касет, 37 касет СУЗ і 36 касет екрану. Ці касети екрану не містять паливо і служать для зниження потоку нейтронів. Нижня частина касет СУЗ містить паливо (так звана паливна частина касет СУЗ) і разом з верхньою частиною так званою поглинаючою надставкою з борованої сталі становлять одне ціле [20].

Паливом є таблетки діаметром 7,5 мм з двоокису урану (2,4-3,6% ^{235}U). Таблетки розміщені в трубці діаметром 9,2 мм і товщиною 0,65 мм, виготовленої зі сплаву цирконію і 1% ніобію. Таблетки (паливні) мають отвір діаметром 1,5 мм для зменшення температури і зниження ймовірності плавлення в центральній частині під час експлуатації. Зазор між таблеткою і оболонкою становить 0,16 мм (при кімнатній температурі). У верхній частині ТВЕЛа є спеціальний обсяг, висота якого 56 мм, він дозволяє паливу «розпухати» під час експлуатації. Зазор і цей обсяг заповнені інертним газом під тиском, трубка ТВЕЛа запаяна з обох кінців. Корисна довжина ТВЕЛа паливної та касети становить 2420 мм і 2320 мм відповідно [22].

Нижня частина паливної збірки має циліндричний хвостовик. Цей хвостовик входить в отвір плити кошика. Верхня частина паливної збірки забезпечена спеціальним захватом, який дозволяє виконувати перевантаження і транспортування.

Захоплення і хвостовик касети СУЗ має трохи іншу конструкцію. Захоплення касети СУЗ розрахований для приєднання поглинаючої надставки. Хвостовик касети має демпфер, який представляє собою циліндричну трубу з радіальними отворами і заглушену з торця.

Поглинаюча надставка кріпиться до верхньої частини паливної збірки з допомогою хвостовика і промштанги. Для проходу води у верхній і в нижній частині є отвори. Вкладиші з борованої сталі забезпечують управління реактивністю. Поглинаюча надставка також має шестигранний кожух, ідентичний тому, який використовується в паливній збірці. Шестигранний кожух з нержавіючої сталі є гарним поглиначем теплових нейтронів; вкладиші з борованої сталі поглинають теплові і надтеплові нейтрони [35].

Характеристика обладнання енергоблоків РАЕС наведена в табл. 1.2. [23].

Таблиця 1.2. Характеристика обладнання енергоблоків РАЕС (складено за: www.rnpp.rv.ua)

Параметри	Енергоблоки			
	№1	№2	№3	№4
Потужність (електрична), МВт	420	415	1000	1000
Потужність (теплова), МВт	1375	1375	3000	3000
Кількість турбогенераторів	2	2	1	1
<i>Розміри корпусу реактора:</i>				
Зовнішній діаметр (макс.), м	4,27	4,27	4,535	4,535
Висота, м	11,8	11,8	10,9	10,9
Кількість касет в активній зоні	313	349	163	163
ТВЕЛ у касеті (їх кількість)	126	126	312	312
Діаметр ТВЕЛа, мм	9,1	9,1	9,1	9,1
Збагачення палива, % (макс.)	4,4	4,4	4,4	4,4
Середня глибина вигорання палива, МВт*доба/кг	42,2	45,2	35	40
Об'єм води в першому контурі, м ³	225	225	320	320
Тиск води в першому контурі,	12,25	12,25	15,7	15,7

МПа				
Витрата води, м ³ /год	43000	43000	84000	84000
Температура (середня) води на вході в реактор, °С	268	268	288	289
Середній підігрів води в активній зоні, °С	29	29	30	30
Кількість петель (циркуляційних) першого контуру	6	6	4	4
Продуктивність насоса (циркуляційного), м ³ /год	7100	7100	21050	21050
Продуктивність парогенератора, т/год	450	450	1600	1600
Тиск перед турбіною, МПа	4,3	4,3	5,9	5,9
Частота обертання мотора турбіни, об/хв	3000	3000	3000	3000
ККД блоків, %	29,3	30,2	33	33

Висновки до розділу 1: таким чином, теоретичні засади геоекологічного моніторингу в умовах техногенного та воєнного навантаження базуються на систематичному спостереженні, оцінці та прогнозуванні змін стану навколишнього природного середовища. Для територій розміщення атомних електростанцій, зокрема Рівненська АЕС, геоекологічний моніторинг є важливим інструментом забезпечення екологічної безпеки та своєчасного виявлення потенційних ризиків. В умовах воєнних загроз зростає значення комплексного контролю за станом атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів та радіаційного фону. Ефективна система моніторингу забезпечує отримання достовірної інформації для прийняття управлінських рішень, мінімізації негативних наслідків техногенного впливу та збереження екологічної рівноваги території.

РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС НА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ ЗРОСТАЮЧИХ ЗАГРОЗ ЧЕРЕЗ ВОЄННІ ДІЇ

Проблема збереження довкілля є актуальною через зростання виробництва і антропогенного навантаження на природу. Це вимагає розробки економічної стратегії для вдосконалення природокористування. Важливими є всебічне вивчення і аналіз факторів забруднення для отримання інформації про стан довкілля [9].

РАЕС (Рівненська АЕС) знаходиться в північно-західному секторі Рівненської області, за 120 км від міста Рівне, поруч із річкою Стир (рис.2.1.). Є філією - відокремленим підрозділом АТ "НАЕК "Енергоатом» Міністерства енергетики України. Вибір цього місця обумовлений низькою родючістю земель та віддаленістю від густонаселених районів. Свою історію станція розпочала в 1971 році з початку проектування Західно-Української АЕС, пізніше перейменованої на Рівненську.

Фізико-географічно 30-кілометрова зона навколо АЕС знаходиться у зоні змішаних лісів Волинського Полісся (західна частина). Рельєф низовини



Рисунок 2.1. Рівненська АЕС (подано за: www.mpp.rv.ua)

представлений пагорбами та валами льодовикового і водно-льодовикового походження [20]. Розміщення РАЕС та прилеглі до неї території показано в рис. 2.2.

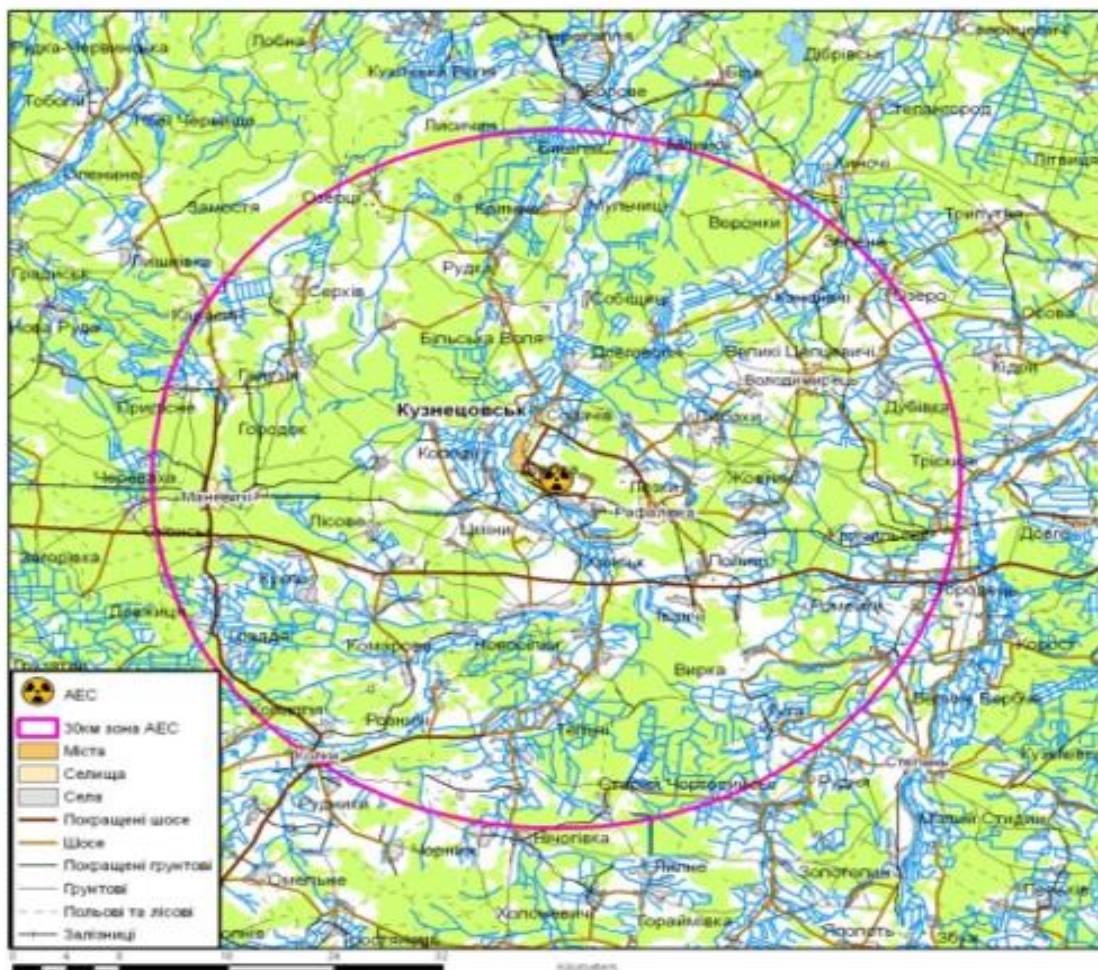


Рисунок 2.2 РАЕС та прилеглі до неї території (подано за:

www.rnpp.rv.ua)

Під час російсько-української війни, 15 листопада 2022 року, під час масованого ракетного обстрілу України, РАЕС втратила зв'язок із однією з ліній електропередач 750 кВ, що призвело до зниження частоти електроенергії до критично низького рівня. Через це довелося знизити потужність станції, і один із чотирьох енергоблоків був автоматично відключений. З січня 2023 року на РАЕС працює постійна моніторингова місія МАГАТЕ з питань ядерної безпеки та захищеності, розташування якої на всіх українських АЕС здійснено на офіційний запит України. На майданчиках регулярно проводиться ротація групи іноземних експертів, які контролюють ситуацію відповідно до семи фундаментальних принципів ядерної безпеки.

2.1. Забруднення повітря

Основним виробником електроенергії в області є ВП «Рівненська АЕС ДП НАЕК «Енергоатом»», яка виробляє електроенергію на потреби споживачів та народного господарства України. До складу підприємства входять цехи та виробничі дільниці, через діяльність яких відбуваються викиди шкідливих речовин в атмосферу: гідротехнічний цех, енергоремонтний підрозділ, турбінний цех, хімічний цех, цех вентиляції та кондиціонування, ремонтно-будівельний цех [12]. Цехи та дільниці організовані для забезпечення нормальної і безперебійної роботи енергоблоків.

В процесі виробничої діяльності ВП «Рівненська АЕС» здійснює викиди найбільш поширених шкідливих речовин (серед них: оксид вуглецю, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, діоксид та інші сполуки сірки), сполуки азоту, метали та їх сполуки, неметанові леткі органічні сполуки, фтор та його сполуки, хлор та його сполуки, фреони, емульсол. Викиди шкідливих речовин в атмосферу від ВП «Рівненська АЕС» складають 86,2 т в рік. У 2025 році викиди шкідливих речовин в атмосферу становили 35,7 т [15]. Викиди стаціонарними джерелами паливного та енергетичного комплексів у 2025 році наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Викиди стаціонарними джерелами паливного та енергетичного комплексів у 2025 році (подано за: www.rnpp.rv.ua)

	Кіль- кість під-в	Обсяги викидів, т	Обсяги викидів на одиницю реалізованої продукції, кг/грн.	Темп зміни, % порівняно з 2024 р	
				Обсяги викидів, т	Обсяги викидів на одиницю реалізованої продукції, кг/грн.
ВП «Рівненська АЕС»	1	35,7	-	94,4	-

Викиди стаціонарними джерелами в атмосферу на Рівненській АЕС є пуско-резервна котельня (ПРК), призначена для спалювання сірчистого

мазуту та обладнана чотирма котлоагрегатами типу ГМ-50/14-250 з паропродуктивністю до 50 т/год кожен, а також допоміжні виробничі підрозділи станції. Як паливо використовується топковий мазут марки М-100, проте з 1994 року котельня не експлуатується. Серед джерел атмосферного забруднення у ЦРТМО (цех ремонту тепломеханічного обладнання) виділяють зварювальні пости та ковальський горн; у РСЦ (ремонтно-будівельний цех) – деревообробну дільницю; у ТрЦ (транспортний цех) – фарбувальні камери, піскоструминну дільницю, акумуляторну, кузню, зварювальну дільницю, пости технічного обслуговування та ремонту, автозаправну станцію; у ЦГО (цех господарського обслуговування) – деревообробну дільницю [14].

Під час санітарного контролю за повітрям та території з метою запобігання забрудненню промисловими відходами Рівненської АЕС встановлено, що фактичні обсяги викидів радіонуклідів значно нижчі за допустимі норми і становлять: для інертних газів – до 0,7% від ГДН; для довгоживучих радіонуклідів – до 1,05% від ГДН; для ізотопу йоду-131 – до 1,08% від ГДН.

За весь період експлуатації станції фактичний рівень викидів не перевищував 1% від дозволених значень. Відсутність у місті Вараш великих промислових підприємств, що викидають значні обсяги шкідливих речовин, а також постійний моніторинг за дотриманням ГДК (гранично допустимих концентрацій), токсичності та задимленості дають підстави вважати місто екологічно чистим.

Вплив роботи градирень-охолоджувачів на довкілля проявляється у:

- формуванні пароконденсатних факелів, які в холодний період можуть поширюватися на 2–3 км і більше при стійких атмосферних умовах, а влітку – на 0,5–0,7 км;

- частковому «затемненні» земної поверхні та зменшенні надходження прямої сонячної радіації в прилеглій до факелів зоні на 30–50%;

-зниженні метеорологічної видимості в окремих випадках до 2–4 км, а під час застійних атмосферних явищ у холодну пору – менш ніж до 0,5 км.

Найбільший внесок у забруднення повітря вносить транспортний підрозділ РАЕС, до складу якого входить 342 одиниці техніки: 118 дизельних і 224 бензинових автомобілі, а також 7 дизельних локомотивів та залізничних кранів. Поблизу станції діє система автоматичного моніторингу повітря. Довгострокові спостереження за станом повітряного середовища в зоні впливу РАЕС показують, що: концентрації радіонуклідів у повітрі у багато разів нижчі за встановлені норми; рівні радіонуклідів співмірні з тими, що спостерігалися до початку роботи станції; діяльність РАЕС не чинить відчутного впливу на якість повітря за радіаційними показниками. Викиди інертних газів, аерозолів і технологічного пилу — в межах санітарних норм.

2.2. Забруднення водних та ґрунтових ресурсів

РАЕС є провідним користувачем водних ресурсів області. У «водопостачанні РАЕС, як зазначалось вище, задіяно два об'єкти. Для технічного водопостачання РАЕС використовуються води р. Стир. Технічне водопостачання складає 95,5% загального водопостачання Рівненської АЕС та є важливим фактором функціонування даного об'єкта» [15].

Вода на РАЕС є важливим елементом технологічного процесу роботи реакторів, так як на даній електростанції використовуються водно-водяні реактори, що відрізняє їх від інших використанням води як теплоносія та охолодження реактора [22]. Вода використовується для створення борного розчину, для охолодження конденсаторів турбін, для охолодження теплообмінників. Кожен кубічний метр води застосовується в мережі охолодження до ста разів, що дозволяє максимально зменшити обсяги забору та зберегти водні ресурси річки.

На території Рівненської АЕС, де мають прояв карстові процеси, «внаслідок залягання крейдових відкладів туронського ярусу, у системі

оборотного водопостачання використовуються баштові градирні, а не водосховище-охолоджувач, як на інших АЕС України» [22].

Проектне рішення щодо охолодження технічної води в градирнях замість водосховища-охолоджувача мінімізувало вплив на довкілля, зокрема допомогло зберегти заплаву р. Стир. Планується будівництво гідроспоруди, що повинна контролювати рівень води в р. Стир і не допустити зменшення їх нижче проектного рівня безпосередньо біля водозабору РАЕС в період маловодності. Ця споруда не буде впливати на рівень води в річці при нормальному водозабезпеченні [1].

На сьогодні проблем з водопостачанням нема, але будівництво цієї гідроспоруди є обов'язковим, оскільки в проектній перспективі передбачено зведення ще одного енергоблоку.

Насосна станція продуктивністю $2,32 \text{ м}^3/\text{с}$ забезпечує роботу чотирьох енергоблоків. Охолодження здійснюють 4–6 градирень, із скиданням частини води назад у річку для підтримки сольового балансу. Безповоротні втрати води складають $1,78\text{--}2,26 \text{ м}^3/\text{с}$ (3 блоки) та $2,08\text{--}2,6 \text{ м}^3/\text{с}$ (4 блоки). Відбір води погоджено на рівні $2,32 \text{ м}^3/\text{с}$, при цьому санітарний стік у маловодні роки не повинен бути меншим за $8,8\text{--}9,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

На РАЕС безповоротні втрати води можуть перевищувати ліміт ($2,32 \text{ м}^3/\text{с}$) при роботі 4-х блоків і температурі понад 18°C , але влітку зазвичай один блок перебуває в ремонті, що знижує вплив на р. Стир. Втрати коливаються: взимку – $1,64\text{--}1,69 \text{ м}^3/\text{с}$, навесні – $1,79\text{--}2,01$, влітку – $1,59\text{--}1,98$, восени – $1,73\text{--}1,92$. У маловодні роки середньомісячний стік річки змінюється від весняних $58\text{--}51$ до літніх мінімумів $10,2\text{--}9,6 \text{ м}^3/\text{с}$, восени – $13,1\text{--}22,5$, а взимку – $14,4\text{--}22,8 \text{ м}^3/\text{с}$ [15].

Влітку при роботі 4-х блоків РАЕС безповоротні втрати води можуть становити $15,9\text{--}18,3\%$ стоку р. Стир, а в періоди мінімальних витрат — до $29\text{--}34\%$, що вже менше за санітарну норму ($9,0 \text{ м}^3/\text{с}$). Вплив скидових вод основної системи охолодження РАЕС та очищених стоків м. Вараш на хімічний склад і якість води р. Стир оцінювали за результатами досліджень,

проведених Київським університетом, Управлінням екобезпеки Рівненської області та відділом охорони довкілля РАЕС. Зазначимо, що аналіз проєктних даних і матеріалів 15-річних спостережень гідролого-гідрохімічного моніторингу свідчить: скидові води РАЕС і м. Вараш мають мінімальний вплив на якість водних ресурсів басейну р. Стир, а введення 4-го енергоблоку суттєво ситуацію не погіршить [38].

Ліміт забору води з р. Стир становить 73,164 млн. м³/рік або 267, 840 тис. м³/добу [9, с. 7]. Використання води з річки відносно лімітів у період 2014-2024 рр. подані у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Об'єм використання води з р. Стир (складено за [9, с. 7])

	% від ліміту					
	2024	2022	2020	2018	2016	2014
Об'єм використання річкової води	67,9	80,05	68,84	76,8	75,01	66,74

Складена за даними звіту про оцінку впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» ДП на оточуюче природне середовище за 2024 рік.

За 2024 рік з річки Стир забрано 49845105 м³ води. Використано у виробництві – 49737681 м³. Динаміка об'ємів технічного водопостачання РАЕС представлена на рис.2.3. Судячи з графіка можна виявити, що об'єм технічного водопостачання РАЕС нижче лімітів забору.

Водокористування здійснюється відповідно до дозволу на спецводокористування та нормативів ГДН встановлених відповідно для РАЕС. Для раціонального використання водних ресурсів на електростанції впроваджено технології повторного використання води після очищення від нафтопродуктів, стічних вод і дощових стоків. Частина води з системи охолодження безперервно повертається назад в річку [18].

Вплив РАЕС на якість води р. Стир контролюється хімічною лабораторією. За роки функціонування чотирьохблочної електростанції змін гідрологічних параметрів річки не виявлено, тому можна зробити висновок,

що підприємство достатньо забезпечене водними ресурсами для нормального функціонування всіх систем.



Рисунок 2.3 Динаміка об'ємів технічного водопостачання РАЕС (складено за: [1, с. 6])

За останні десять років ключові гідрологічні характеристики річки Стир залишилися майже незмінними, тому потреби в коригуванні проєкту АЕС немає. Річний розподіл стоку став більш рівномірним, що пов'язано з кліматичними змінами — теплішими зимами та прохолоднішими літами [1].

Проте проявляється вплив РАЕС на водні ресурси, а саме: вода з р. Стир використовується для охолодження реакторів, а потім повертається в річку. Це призводить до локального підвищення температури води, що може негативно впливати на водну екосистему. Є ризики зниження рівня кисню у воді й порушення біорізноманіття.

Ґрунт є особливим компонентом біосфери, який не лише накопичує токсичні речовини, а й виконує роль природного буфера. Він здатен перетворювати сполуки металів у менш доступні форми, зменшуючи їхнє надходження до рослин, а також має здатність до самоочищення. Саме це визначає бар'єрну функцію ґрунтів у ландшафті.

Проте буферні можливості ґрунтів мають межу: при надмірному накопиченні хімічних речовин вони можуть стати джерелом вторинного

забруднення води, повітря, водойм, кормів і продуктів харчування. На відміну від інших природних середовищ, ґрунт очищається дуже повільно, тому токсиканти можуть зберігатися в ньому десятиліттями, беручи участь у біоекологічних ланцюгах та спричиняючи довготривалу дію, що підвищує ризик хронічних отруєнь.

Забруднення ґрунтів навколо Рівненської АЕС викликане важкими металами та кам'янистими уламками. Крім того, через Чорнобильську катастрофу значні площі в зоні 30 км навколо міста Вараш забруднені радіоактивними елементами, що погіршує екологічну ситуацію і здоров'я людей. Деградація земель знижує родючість ґрунтів, тому землекористування має сприяти їх охороні та відновленню. Стан забруднення ґрунтів на досліджуваній території оцінюється як задовільний, з щорічним контролем поверхневих проб. В зоні 30 км зафіксовано забруднення цезієм Чорнобильського походження [24]. Забруднення ґрунтів в зоні впливу Рівненської АЕС ілюструє діаграма, наведена на рис. 2.4.

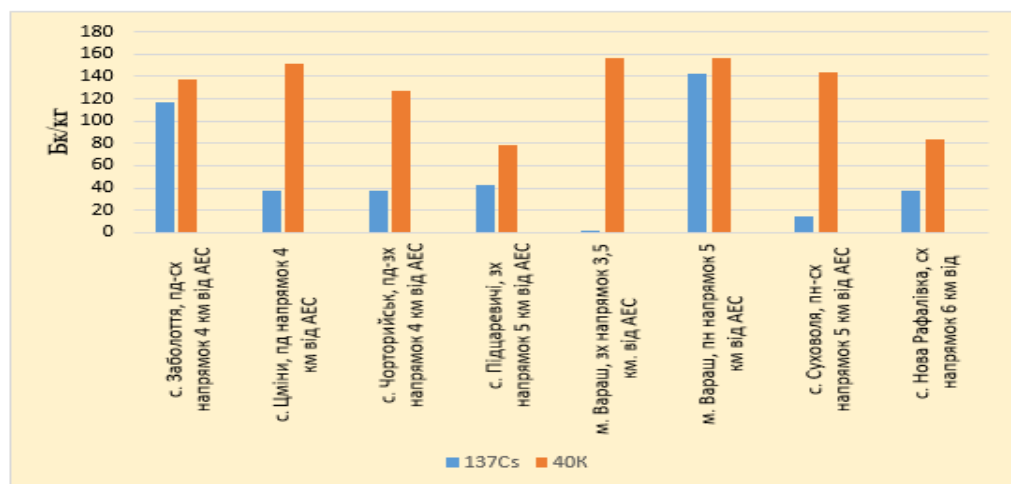


Рисунок 2.4 Забруднення ґрунту радіонуклідами в районі Рівненської АЕС у 2 півріччі 2025 р (складено за: <http://pandia.ru/text/79/486/34434.php>).

Основними радіонуклідами, що зумовлювали радіоактивне забруднення ґрунту у другому півріччі 2025 року, були ¹³⁷Cs та ⁴⁰K, концентрації яких залишалися в межах нормативних значень. Вплив інших радіонуклідів на забруднення був мінімальним. Проби ґрунту з аномальним вмістом радіонуклідів не виявлено [24].

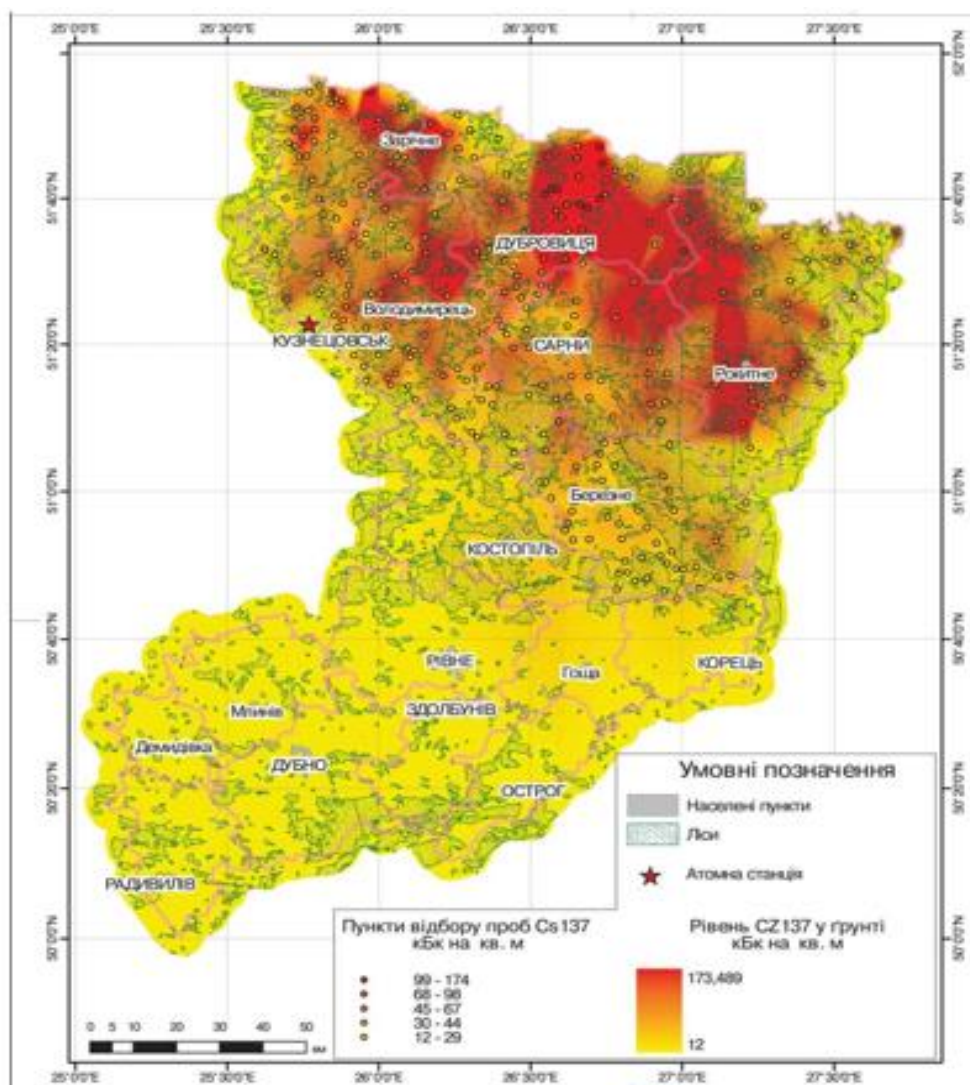


Рисунок 2.5 Карта забруднення території Рівненської області цезієм 137

(подано за: www.rnpp.rv.ua)

На сьогодні радіаційне забруднення досліджуваної території формують ^{137}Cs і ^{90}Sr , а також радіоізотопи плутонію, який визначається в дуже малих кількостях. Найпоширенішим є цезій-137 (рис. 2.5). Радіоактивне забруднення ґрунтів відсутнє в мирний час, але є потенційна загроза у випадку обстрілів, аварій чи зберігання відходів. Порушення ґрунтового покриву можливе через інфраструктурні роботи.

2.3. Виробництво радіоактивних відходів

Радіоактивні відходи (РАВ) — це матеріали та речовини, активність радіонуклідів яких перевищує встановлені норми, і які не передбачено використовувати (ЗУ «Про поводження з радіоактивними відходами»). Під

час експлуатації АЕС утворюються радіоактивно забруднені стоки (трапні води), які після обробки перетворюються на кубовий залишок — сольовий плав, який вважається рідким радіоактивним відходом. Цей концентрат додатково випарюють, отримуючи більш концентрований продукт, що застигає у тверду фазу. За класифікацією ОСПРБУ-2005 сольовий плав вважається рідким радіоактивним відходом і не підлягає захороненню, а остаточне рішення щодо його утилізації ще не прийняте [15].

Після переробки вод (трапних) утворюються рідкі радіоактивні відходи (РРВ), до яких входять:

- кубовий залишок — концентровані сольові розчини з невеликим вмістом шламів;
- ВФМ фільтрів (іонообмінні смоли зі сорбентами і осадом);
- зневоднені шлами.

На РАЕС діє транспортна естакада між спецкорпусами. ВФМ транспортуються гідротранспортом у ємності СРВ для зберігання під шаром води [15].

Головними джерелами виникнення ТРВ (твердих радіоактивних відходів) є технічне обслуговування та ремонт енергоблоків, що включає: експлуатацію обладнання, будівель і споруд АЕС; реконструкцію та модернізацію обладнання; дезактивацію обладнання, приміщень і споруд; монтаж, демонтаж і заміну теплоізоляції; будівельні та реконструктивні роботи; заміну зношених деталей і витратних матеріалів; оновлення спецодягу та засобів індивідуального захисту персоналу; а також проведення санітарно-гігієнічних заходів [21].

До ТРВ (твердих радіоактивних відходів) належать:

- металеві відходи, що виникають під час реконструкції та ремонту;
- гумотехнічні вироби, пластики та кабельна продукція, непридатні до використання;
- відпрацьовані фільтри вентиляції реакторного відділення та системи контролю;

-теплоізоляційні матеріали, що не підлягають повторному використанню;

-матеріали для протирання, непридатний одяг, папір;

-будівельні відходи (бетон, штукатурка тощо) після ремонтних і реконструктивних робіт;

-несправне обладнання першого контуру та пов'язане з ним технологічне устаткування;

-всі предмети та деталі, вилучені з зони реактора;

-солебітумний компаунд (ВП РАЕС).

Об'єми РРВ на РАЕС наведені на рис. 2.6.-2.7.

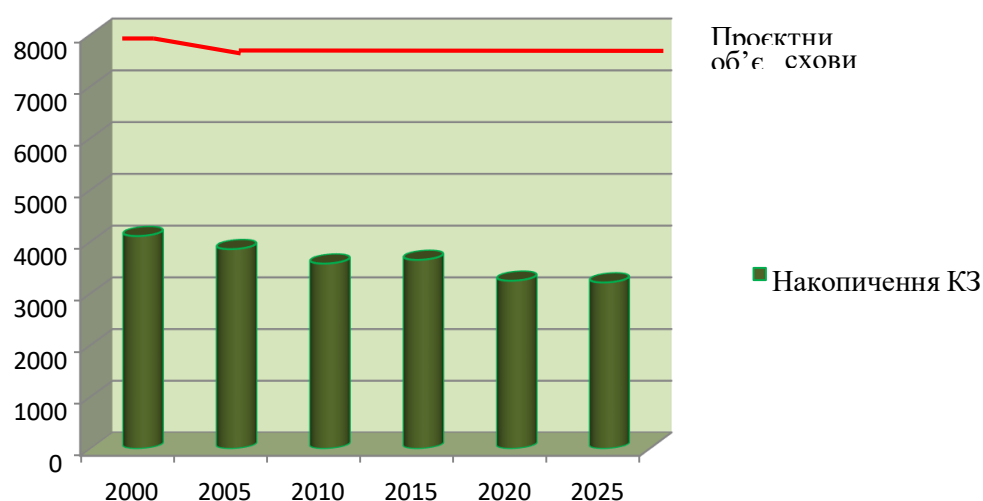


Рисунок 2.6. Накопичений кубовий залишок в сховищах РРВ ВП РАЕС (подано за: <https://www.rnpp.rv.ua/handling-rao.html>)

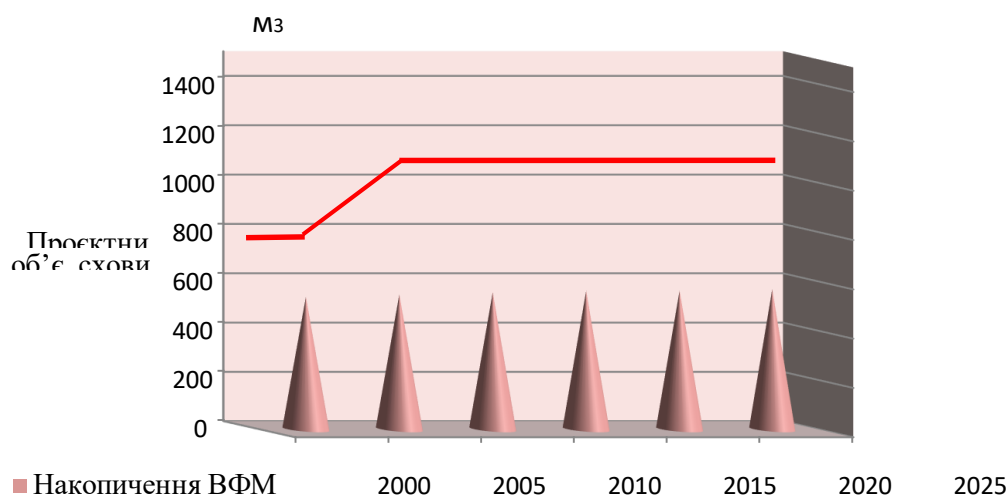


Рисунок 2.7. ВФМ в сховищах РРВ ВП РАЕС (подано за: <https://www.rnpp.rv.ua/handling-rao.html>)

Динаміка накопичення ТРВ у сховищах ВП РАЕС наведена на рис. 2.8-2.10.

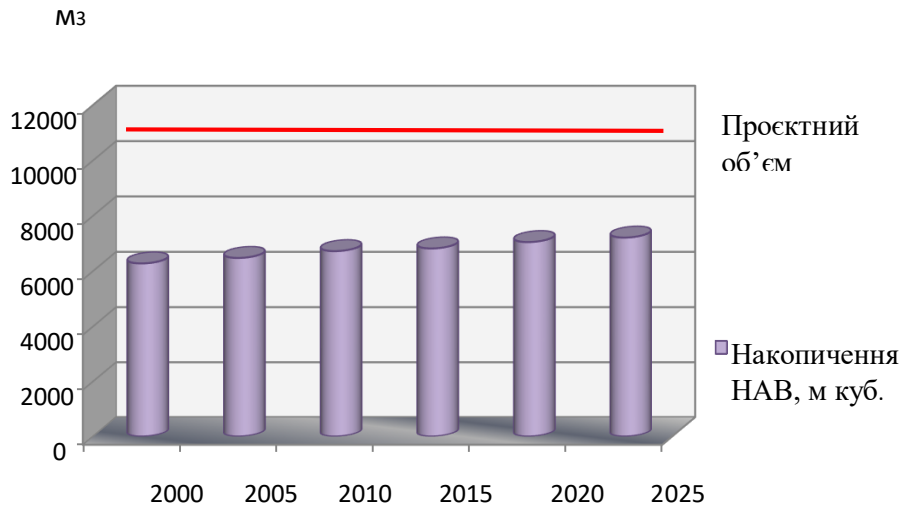


Рисунок 2.8. Низькоактивні ТРВ у сховищах ВП РАЕС (подано за: <https://www.mpp.rv.ua/handling-rao.html>)

У 2025 році РАЕС утворило 211,5 м³ низькоактивних ТРВ — на 36 м³ менше, ніж у 2024 році (247,5 м³). Об'єм середньоактивних відходів (САВ) склав 14,13 м³, що на 0,63 м³ більше за 2024 рік (13,54 м³). Високоактивних відходів (ВАВ) утворилось 6,32 м³ — на 3,38 м³ більше, ніж у 2024 році (2,94 м³), через розміщення на зберігання відпрацьованого обладнання енергоблоків №1 і 2.

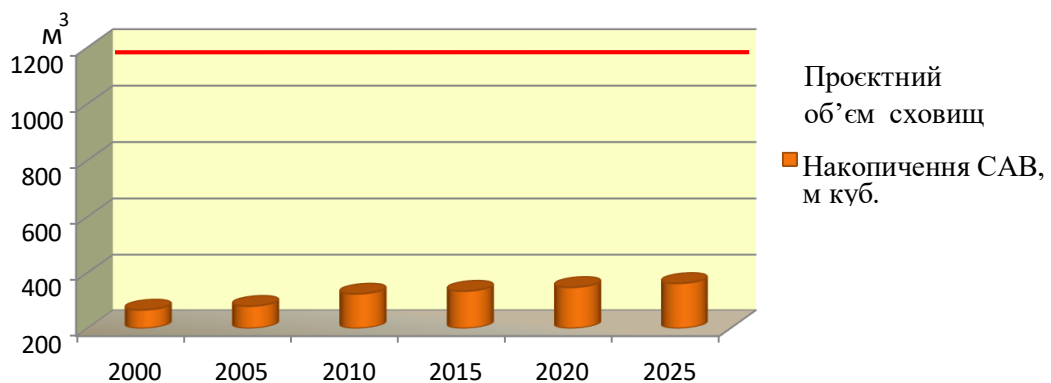


Рисунок 2.9. САВ (середньоактивні відходи) у сховищах ВП РАЕС (подано за: <https://www.rnpp.rv.ua/handling-rao.html>)

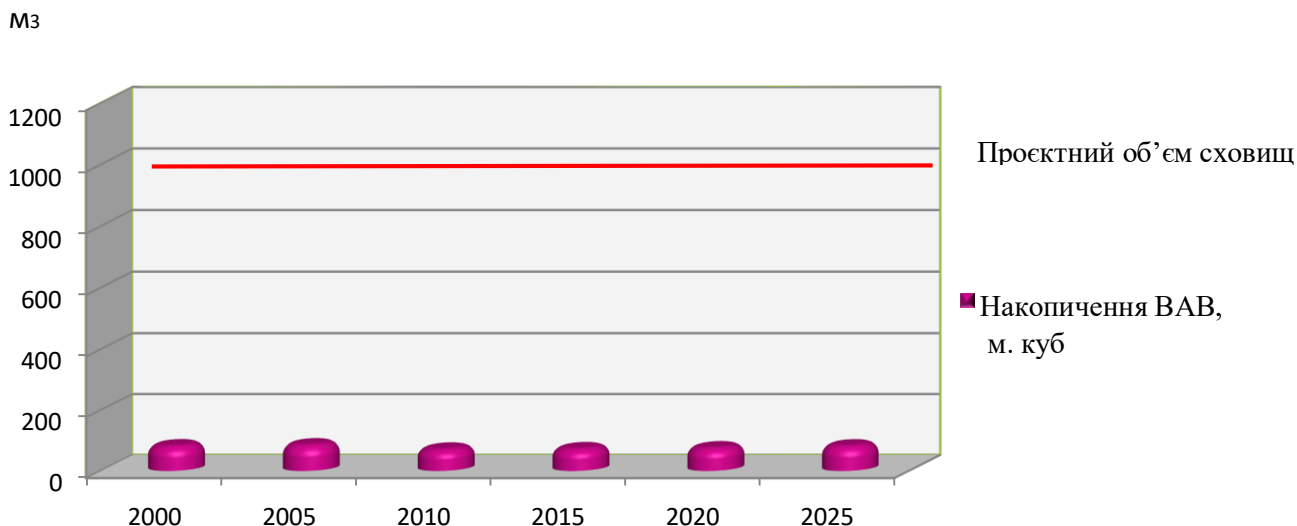


Рисунок 2.10. ВАН (високоактивні відходи) у сховищах ВП РАЕС (подано за: <https://www.rnpp.rv.ua/handling-rao.html>)

2.4. Радіаційне забруднення довкілля

Спостереження радіаційного стану повітря в Рівненській області ведуться на 4 постах Рівненського обласного центру гідрометеорології: у Рівному (радіологічна лабораторія та авіаметеорологічна станція аеропорту), Сарнах і Дубно.

На Рівненській АЕС додатково контролюють радіоактивні речовини у приземному повітрі, опадах, ґрунті, рослинності, хвої та сільськогосподарській продукції.

До запуску АЕС бета-активність повітря становила $1,85-9,25 \times 10^{-4}$ Бк/м³, з переважанням природних радіонуклідів (99,6%). В районі блоків №1–4 виявлено незначне техногенне забруднення повітря радіонуклідами, тоді як у інших точках вплив викидів РАЕС на фон радіації визначити складно. Бета-активність атмосферних випадінь до пуску становила 7,4–329 Бк/м² на місяць. Основну частку атмосферних випадінь складають ізотопи космогенного (⁷Be) та природного походження. У зоні розміщення спостерігається незначне забруднення техногенними ізотопами (⁶⁰Co, ¹³⁷Cs). Середньорічне випадіння ¹³⁷Cs у 1657 разів менше за середній рівень забруднення ґрунту цим ізотопом у зоні РАЕС [15]. У грудні 2025 року радіоактивний контроль поверхневих вод у зонах впливу РАЕС та

ХАЕС проводився у 8 пунктах Рівненської гідрогеолого-меліоративної експедиції на вміст ^{137}Cs та ^{90}Sr [24].

Пункти спостережень: в зоні Рівненської АЕС:

1. р. Стир (вище РАЕС)
2. р. Стир, с. Сопачів, нижче РАЕС
3. Промислові стічні води РАЕС
4. Зливові стічні води РАЕС

В зоні Хмельницької АЕС:

1. р. Горинь, м. Нетішин (вище ХАЕС)
2. р. Горинь, с. Вельбівно (нижче ХАЕС)
3. Став-охолоджувач ХАЕС (канал)
4. р. Вілія, м. Острог (зона впливу ХАЕС)

Радіоактивне забруднення водних ресурсів в зоні впливу Рівненської АЕС ілюструє діаграма, наведена на рис.2.11.

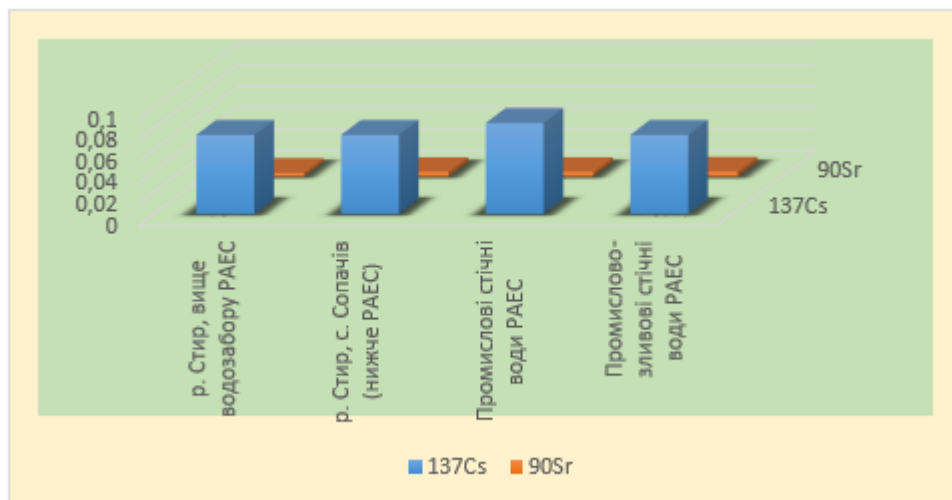


Рисунок 2.11. Радіоактивне забруднення водних ресурсів у зоні впливу Рівненської АЕС у грудні 2025 року (подано за: www.rnpp.rv.ua)

У грудні в пунктах спостереження вище і нижче Рівненської АЕС, а також у промислових стічних і зливових водах, питома активність ^{137}Cs становила 0,0741-0,0852 Бк/л, а ^{90}Sr — 0,0033-0,0044 Бк/л. Значення не перевищували допустимі норми (ДР-2006 — 2 Бк/л) у жодній з проб.[41] Забруднення ґрунту в зоні спостереження пов'язане з випадіннями після

Чорнобильської аварії. Співвідношення максимальної та мінімальної активності ^{137}Cs свідчить про нерівномірність забруднення в зоні РАЕС.

Основний внесок у радіоактивність рослинності дають природні радіонукліди ^{40}K (634 Бк/кг) і ^7Be (89,3 Бк/кг). Активність техногенного ^{137}Cs — 20,1 Бк/кг, що в 31 раз менше ^{40}K .

У 2023 році Рівненський обласний центр гідрометеорології проводив радіометричний контроль атмосферних випадіннь у 19 пунктах, зокрема в Рівненській області (м. Сарни, АМСЦ Рівне). Щоденні вимірювання гамма-випромінювання не показали підвищення дози або появи нових радіоактивних продуктів. Радіологічні дослідження 2023 року охопили агрохімічну паспортизацію 119,8 тис. га сільгоспземель у Поліській зоні, із 21,64 тис. агрохімічних, 0,096 тис. токсикологічних та 2 тис. радіологічних проб. Виконано понад 96 тис. аналізів, зокрема за важкими металами, пестицидами та радіонуклідами. За результатами складено агрохімічні картографи та паспорти для понад 3500 господарств регіону [7]

Попри складнощі воєнного часу, колектив РАЕС успішно виконав річний план виробництва електроенергії, забезпечивши стабільну та безпечну роботу станції. Було реалізовано основні заходи Комплексної (зведеної) програми підвищення безпеки енергоблоків АЕС (КзПБ) та проведено планові ремонти енергоблоків. Також успішно завершено будівництво нового комплексу навчально-тренувального центру, до складу якого увійшли ремонтні майстерні, архів та протирадіаційне укриття.

Серед пріоритетів на найближчий період – подальша реконструкція систем енергоблоків, впровадження заходів КзПБ та ефективне проведення ремонтних кампаній. Важливими залишаються співпраця з Паризьким центром ВАО АЕС, проектування та будівництво житла для працівників енергоблоку №5, а також покращення умов на соціальних об'єктах станції, зокрема в санаторії-профілакторії, спорткомплексі та РОК «Біле озеро». Особлива увага буде приділена оптимізації транспортного забезпечення для зручного перевезення персоналу.

2.5. Нові загрози в умовах війни

У нормальному режимі РАЕС не створює перевищення фонові радіації в зоні спостереження (30 км). Викиди радіонуклідів у повітря та воду суворо контролюються та залишаються в межах допустимих норм. Проте в умовах воєнних дій екологічні ризики зростають у рази, що вимагає посиленого геоекологічного моніторингу та сценарного прогнозування аварійних ситуацій.

Військові дії на території України створили безпрецедентний комплекс ризиків для атомних електростанцій, зокрема Рівненської АЕС (РАЕС). Раніше оцінка ризиків зосереджувалась переважно на техногенних та природних факторах, проте війна зумовила появу нових, потенційно критичних загроз. Серед них: *Ракетні та дронів атаки*. РАЕС розташована на північному заході України, що не виключає можливість її ураження далекобійною ракетною зброєю чи безпілотниками. Ризик пошкодження енергоблоків та допоміжної інфраструктури (трансформаторів, ліній електропередач) може призвести до масштабної аварії з радіаційними наслідками.

Порушення зовнішнього енергопостачання (РАЕС для безпечного охолодження реакторів потребує стабільного електроживлення. Умови війни створюють загрозу знищення високовольтних ЛЕП, що вже неодноразово траплялося з іншими АЕС, що може призвести до роботи в режимі аварійного живлення від дизель-генераторів, які мають обмежений ресурс).

Війна супроводжується зростанням інтенсивності кібератак на критичну інфраструктуру. Потенційне втручання в системи управління технологічними процесами, системи оповіщення або внутрішні комунікації РАЕС може мати катастрофічні наслідки.

Існує ризик навмисного вчинення диверсій, спрямованих на пошкодження сховищ ядерного палива (відпрацьованого) або інших об'єктів з радіоактивними матеріалами. Такі дії можуть бути використані як інструмент психологічного тиску, навіть без фактичного витоку радіації.

Війна ускладнює ротацію персоналу, постачання запчастин, палива та реагентів для роботи станції. Психологічний тиск на працівників і необхідність працювати в умовах постійної загрози впливають на ефективність та безпомилковість прийняття рішень.

Військові дії поблизу водних джерел, що забезпечують охолодження реакторів (р. Стир), можуть призвести до зміни режиму (гідрологічного) чи забруднення води. Це може створити додаткові труднощі для підтримання технологічних процесів охолодження.

АЕС навіть у мирний час є джерелом екологічних ризиків, що потребують постійного контролю та вдосконалення систем безпеки. У воєнних умовах ці ризики зростають багаторазово через можливість фізичного пошкодження об'єктів, порушення роботи систем охолодження та втрату контролю над відходами. Захист атомних електростанцій має розглядатися як пріоритет не лише енергетичної, а й екологічної безпеки, адже наслідки ядерної аварії у зоні бойових дій виходять далеко за межі національних кордонів.

Висновок до розділу 2: таким чином, діяльність Рівненської АЕС здійснюється в межах установлених екологічних нормативів і супроводжується постійним контролем стану довкілля. Водночас в умовах воєнних дій зростають потенційні ризики для екологічної безпеки, пов'язані з можливими пошкодженнями інфраструктури та порушенням стабільної роботи об'єкта. Тому особливого значення набувають безперервний геоекологічний моніторинг, підвищення рівня захисту критичної інфраструктури та своєчасне реагування на можливі надзвичайні ситуації з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище і населення.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

3.1. Очищення газових викидів та стоків

Радіоактивні гази і аерозолі утворюються при розпаді радіоактивного палива і можуть потрапляти в навколишнє середовище через пошкодження герметичності ТВЕЛ. Герметичність забезпечується цирконієвою оболонкою з металевими наконечниками, які зварюються аргоном. Всередині ТВЕЛа підтримується надлишковий тиск інертного газу, а між оболонкою і сердечником є зазор для компенсації теплового розширення. Газоподібні продукти накопичуються у вільних обсягах всередині ТВЕЛ [23].

На Рівненській АЕС працюють 4 енергоблоки (ВВЕР-440 і ВВЕР-1000). Основні джерела радіоактивних викидів — вентиляційні труби, які контролюються за групами радіонуклідів (ІРГ, довгоживучі, йод). Викиди звітуються двічі на рік з урахуванням роботи технологічного обладнання і очищення газів, а дані використовуються для екологічного моніторингу [22].

Існують два основні потоки забруднених газів: технологічні (під час роботи і перевантаження палива) та вентиляційні. Викиди регламентовані спеціальним дозволом і походять від 189 джерел (31 з них — неорганізовані). Очищення технологічних газів проводиться способами: утримання у газгольдерах до природного розпаду ізотопів або сорбція радіонуклідів на активованому вугіллі з подальшим повторним використанням сорбенту. Вентиляційне повітря очищують через фільтри з тканинних матеріалів, де використовують ультратонкі волокна перхлорвініла.

Очищення стічних вод. Очищення води на водопідготовчих установках проходить у кілька етапів: видалення грубодисперсних і колоїдних домішок, зниження лужності, очищення від розчинених речовин [18]. Результатом є різні типи обробленої води — від вапнувато-коагульованої до глибоко безсоленої.

Попередня очистка полягає у видаленні зважених, колоїдних домішок, органіки, вуглекислоти, жорсткості, заліза тощо. Основні процеси — пом'якшення, коагуляція, флокуляція та фільтрація, що відбуваються в освітлювачі та механічних фільтрах.

Фільтрація забезпечує видалення твердих частинок через зернистий фільтруючий матеріал (пісок, антрацит, сульфовугілля). Частки затримуються механічно або завдяки прилипанню. З ростом забруднення фільтр промивають для відновлення роботи [15].

Іонний обмін — очищення води за допомогою іонітів (катіонітів і аніонітів), які замінюють іони в воді. Іоніти регенерують після насичення. Матеріали іонітів — сульфовугілля і синтетичні смоли, що мають специфічну молекулярну структуру та властивості набухання. Під час роботи фільтрів процес іонного обміну проходить по висоті шару іоніту, який з часом виснажується і потребує регенерації.

3.2. Утилізація радіоактивних відходів

Радіоактивні відходи АЕС зберігаються на промислових майданчиках станції: рідкі — у спеціальних сховищах, тверді — у сховищах АЕС. Проблема захоронення залежить від періоду напіврозпаду ізотопів — від секунд до тисяч років. Захоронення включає дві фази: короткочасну ізоляцію короткоживучих ізотопів (роки) та довготривалу ізоляцію довгоживучих (десятки тисяч років) [4, с. 3]. Переробка відходів проходить через кілька стадій:

1. Попередня обробка — збір, сортування, регулювання складу.
2. Обробка — зменшення обсягу (спалювання, компактування), очищення, дезактивація.
3. Кондиціонування — перевод у стійку тверду форму (цементування, бітумування, заскловування) з упаковкою у контейнери.
4. Транспортування.
5. Тимчасове зберігання.

6. Остаточне захоронення.

Обробка включає різні технології (компактування, випарювання, фільтрація тощо) для підвищення безпеки. Кондиціювання забезпечує стабільність і безпеку під час зберігання і транспортування [4]. Під час переробки трапних вод утворюються радіоактивні рідкі відходи (РРВ), які включають:

- кубовий залишок — концентровані сольові розчини з невеликим вмістом осадів;
- ВФМ фільтрів СВО — іонообмінні смоли зі сорбентами та дисперсними осадами;
- зневоднені шлами.

Переробка трапних вод спрямована на зменшення обсягів РРВ для зберігання на АЕС та повторне використання очищеної води. Схема поводження з РРВ у ВП РАЕС наведена на рис. 3.1.

Установка центрифугування. Центрифуга використовується для очищення трапних вод у системі СВО-3, очищення баків від шламів та зневоднення шламів для подальшого зберігання і транспортування. У 2025 році установка працювала 2854 години, переробила 8636 м³ трапної води та виробила 12 контейнерів (2,4 м³) зі зневодненим шламом [15].

Установка бітумування. Бітум, продукт перегонки нафти або вугілля, широко використовується як сполучний компонент для радіоактивних відходів завдяки своїй термопластичності та вологостійкості. Він ефективно включає концентрати відходів у гомогенний матеріал, нечутливий до рідких відходів. Установка для бітумування призначена для переробки залишку з продуктивністю 150 дм³/год, випарювала залишок до 5% вологості з включенням солей у бітум. Вона була законсервована у 2002 році і більше не експлуатується.

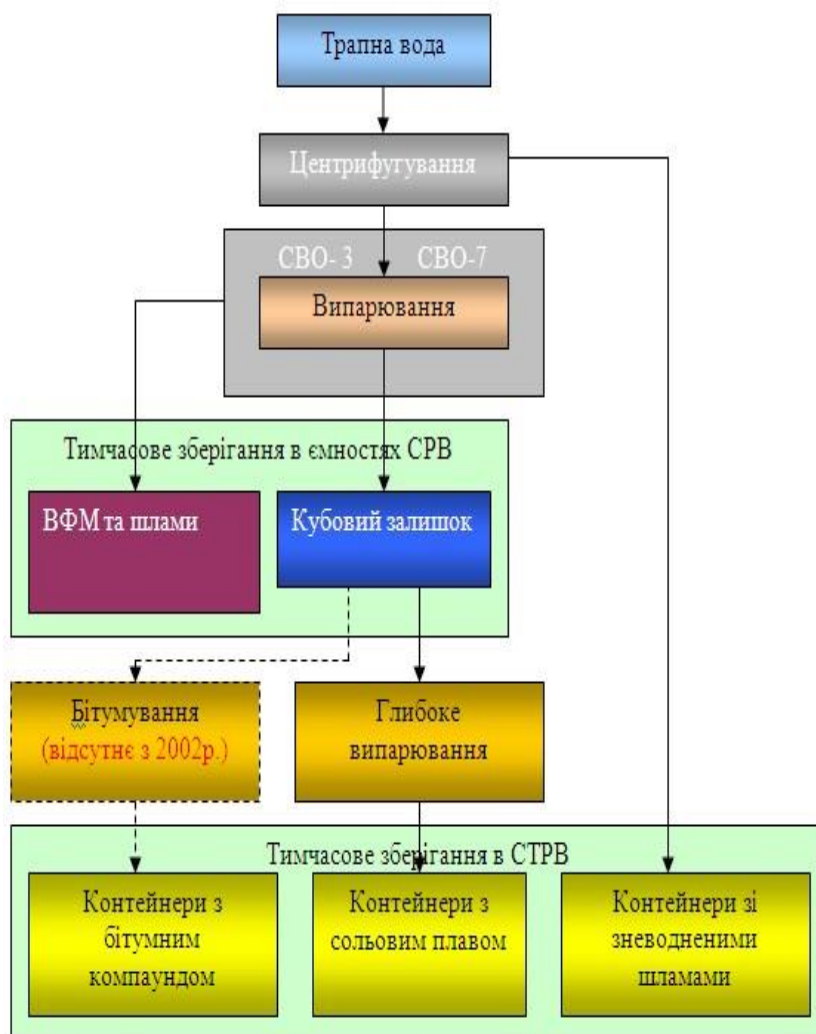


Рисунок 3.1. Схема управління з РРВ на ВП РАЕС (подано за:

www.rnpp.rv.ua)

За ОСПРБУ-2005, бітумний компаунд не вважається радіоактивними рідкими відходами. З 2013 року контейнери з компаундом передають на ДСП «ЦППРВ» для захоронення.

Заходи з поводження із соле-бітумним компаундом (СБК) Рівненської АЕС:

- Аналіз схем транспортування і іммобілізації бочок з СБК на об'єктах ДСП ЧАЕС та КП РАВ ВП РАЕС для коригування технічного рішення щодо приймання СБК у сховище ЛОТ-3;

- Проведення характеристики СБК: вивчення умов одержання, визначення радіаційних та хімічних характеристик, лабораторні дослідження та підготовка відповідної програми;
- Підготовка СБК до передачі на захоронення у ЛОТ-3 ДСП «ЦППРВ»: рішення щодо іммобілізації, підготовка технічної специфікації на упаковку, узгодження та реалізація технічного рішення приймання.

Всі зазначені роботи планується завершити у 2028 році.

За неналежного дотримання техніки безпеки, наприклад, зберігання бітумних блоків у відкритому ґрунті, можлива біокорозія через ґрунтові бактерії. Це руйнує блоки і спричиняє проникнення радіонуклідів у ґрунт. Як альтернативу бітуму використовують відходи нафтопереробки та промислові продукти — асфальт, деасфальтизацію гудрону, діметилтерефталат, які за властивостями не поступаються бітуму і є дешевшими [34].

Установка глибокого упарювання (УГУ). Процес утворення твердого сольового концентрату (КЗ) відбувається через зв'язування 5–25% залишкової вологи у кристалогідрати, утворюючи сольовий плав. У 2025 році дві лінії УГУ-1-500М працювали 2508 годин, переробили 1084 м³ кубового залишку та отримали 480 контейнерів (96 м³) сольового плаву. Загальний об'єм КЗ у сховищах СРВ становив 3217 м³ [15]

У 2024 році виконано розмив сольових відкладень у ємностях для зберігання КЗ, що призвело до звільнення та відновлення ємностей, але зменшення загального обсягу для КЗ і збільшення для фільтрів ВФМ.

У 2025 році утворення КЗ зменшилось до 379 м³, що нижче рівня 2024 року (414 м³) і не перевищує контрольні показники. Це сталося завдяки припиненню подвійного обліку повторно перероблених середовищ і зниженню надходження трапних вод через посилений контроль [15].

Обсяг трапних вод у 2025 році на блоках №1, 2 склав 12 200,5 м³ (2024 — 10 408,5 м³), на блоках №3, 4 — 11 210 м³ (2024 — 11 535 м³), що відповідає нормам. Коливання обумовлені змінами у кількості розпушуючих,

промивних і технічних вод. Соляовий плав, бітумний компаунд і шлам зберігаються у контейнерах-бочках у спеціальних комірках. [15].

Управління ТРВ (твердими радіоактивними відходами) на ВП РАЕС

На ВП «Рівненська АЕС» наразі відсутні установки для переробки твердих радіоактивних відходів (ТРВ). Схема управління ТРВ на ВП РАЕС наведена на рис. 3.2.



Рисунок 3.2. Схема управління ТРВ на ВП РАЕС (подано за: www.rnpp.rv.ua)

Рисунок 3.3. Спецавтомобіль ОТ-20

Управління ТРВ включає: збір відходів у поліетиленові мішки; сортування та за потреби фрагментацію; транспортування відходів із тимчасових місць збору; сортування ТРВ за рівнем активності на низько-, середньо- та високоактивні відходи; доставку ТРВ спеціальним автомобілем ОТ-20 (для блоків № 3, 4) до сховища № 2 (рис.3.3.); приймання ТРВ персоналом ЦДІРАВ для тимчасового зберігання; завантаження ТРВ (для блоків № 1, 2) та № 2 (для блоків № 3, 4) [16].

Згідно зі СП АС-88, усі тверді радіоактивні відходи, які відсортовані за типом і класифіковані за рівнем активності, тимчасово зберігаються у спеціалізованих сховищах у спецкорпусі на території РАЕС.

3.3. Заходи захисту від фізичного впливу АЕС

Фізичний вплив включає *тепловий вплив* (третина тепла не перетворюється в електрику), підвищення вологості через випаровування з охолоджувачів, *електромагнітне поле та акустичний вплив* (всередині АЕС). *Тепловий вплив*: вода, що скидається у річку Стир, тепліша на 10°C, що підвищує температуру річки в середньому на 2°C, значно нижче граничних 8°C. Вплив градієнтів обмежений територією АЕС. *Електромагнітний вплив*: оцінка і моніторинг не проводилися, що є зауваженням. *Акустичний вплив*: оцінка і моніторинг відсутні, але обладнання відповідає нормативам шуму на робочих місцях.

Висновок до розділу 3: таким чином, удосконалення геоекологічного моніторингу на Рівненській АЕС є важливою умовою забезпечення високого рівня екологічної безпеки в сучасних умовах. Основними напрямками підвищення ефективності моніторингу є впровадження сучасних автоматизованих систем спостережень, розширення мережі контролю компонентів довкілля, удосконалення методів обробки та аналізу даних, а також посилення готовності до реагування на надзвичайні ситуації. Реалізація цих заходів сприятиме своєчасному виявленню екологічних ризиків, підвищенню достовірності оцінки стану навколишнього середовища та забезпеченню сталого функціонування атомної електростанції з мінімальним впливом на довкілля і населення.

РОЗДІЛ 4. НАПРЯМКИ І ПЕРСПЕКТИВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАЕС

Після Чорнобиля європейські країни почали переосмислювати відмову від атомної енергетики через зростання цін на газ і нафту, необхідність диверсифікації джерел та зміцнення безпеки. Країни Балтії, Франція, Японія, Китай, Індія та Корея активно розвивають АЕС.

В Україні атомна енергетика залежить від імпорту технологій і палива, але має значні власні ресурси у виробництві матеріалів та обладнання. Через міжнародні обмеження Україна не має повного ядерного циклу і є умовно ядерною державою. Розвиток можливий лише через тісну співпрацю з провідними ядерними країнами.

Атомні електростанції не спричиняють викидів парникових газів, проте залишаються проблеми з безпекою реакторів та утилізацією відходів. У контексті зростання енергетичних потреб атомна енергетика продовжує залишатися важливим напрямом розвитку у багатьох країнах.

В Україні провідні дослідження з термоядерного синтезу ведуться у Харківському фізико-технічному інституті НАН, де працюють над унікальною установкою «Ураган-3». Промислова термоядерна енергетика поки що не реалізована, і її запуск очікують не раніше 2050 року. Найкращим шляхом розвитку є участь України у міжнародних проєктах із плазмових пасток та матеріалів для реакторів. Ядерна енергетика України базується на теплових реакторах ВВЕР, які зарекомендували себе як надійні та застосовуються на багатьох АЕС у Європі. У найближче десятиліття Україні потрібно побудувати або закупити 10-12 нових реакторів через завершення термінів роботи старих блоків [25].

Новим напрямом є РШН (реактори на швидких нейтронах), які ефективніше використовують уран, зменшуючи відпрацьоване паливо і покращуючи раціональність використання обмежених ресурсів урану-235.

Ядерна енергетика України володіє значним потенціалом розвитку, проте нині залишається залежною від імпорту технологій, палива та

обладнання. Основні перспективи пов'язані з модернізацією існуючих енергоблоків та будівництвом нових реакторів, що дозволить забезпечити стабільне енергопостачання та замінити виведені з експлуатації блоки [25].

Розвиток РШН (реакторів на швидких нейтронах) відкриває можливості більш ефективного використання урану і зменшення радіоактивних відходів. Водночас важливим є посилення власних наукових розробок та участь у міжнародних проєктах з термоядерного синтезу, що може забезпечити Україні технологічну незалежність у майбутньому.

Для ефективного розвитку атомної енергетики необхідна тісна співпраця з провідними ядерними державами світу, удосконалення нормативної та правової бази і забезпечення підвищеного рівня безпеки АЕС відповідно до міжнародних стандартів.

Україна має значний науковий та промисловий потенціал у виробництві цирконієвих сплавів, машинобудуванні і підготовці кадрів для АЕС. Для енергетичної незалежності потрібні великі інвестиції (понад 15 млрд дол. США) у розвиток виробництва палива, подовження роботи блоків, будівництво нових реакторів, заводів переробки ВЯП та сховищ, а також ліквідацію наслідків ЧАЕС. Важливо також подолати суспільні бар'єри, що виникли після Чорнобиля, і забезпечити постійний контроль влади над програмою [16].

Загалом, атомна енергетика в Україні є ключовим елементом енергетичної стратегії, який забезпечує низьковуглецевий баланс енергоспоживання та безпеку країни в умовах зростаючих викликів та потреб. Стратегія атомної енергетики в Україні оцінюється за факторами доступності палива, землекористування, екології відходів, можливості повторного циклу, конкурентоспроможності та впливу на клімат. Стратегія розвитку Рівненської АЕС представлена на рис.4.1.



1. Рисунок 4.1. Стратегія розвитку Рівненської АЕС (подано за: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo>, [14])

Заходи Комплексної програми безпеки (КПБ) стали ключовою умовою для продовження експлуатації енергоблоків № 1 і 2 у понадпроектний термін. В рамках КПБ були усунуті існуючі недоліки безпеки та забезпечено відповідність вимогам національних нормативів, а також рекомендаціям міжнародних організацій, таких як МАГАТЕ та ЄБРР, із застосуванням сучасних методів аналізу безпеки АЕС.

Яскравим прикладом є також повне виконання заходів Програми модернізації РАЕС-4, що гарантувало відповідність безпеки енергоблоків українським і міжнародним стандартам.

В умовах енергетичної залежності країни від імпорту палива, зростання цін на нього та зношеності обладнання теплових електростанцій, пріоритетом державної енергетичної політики є атомна енергетика, підвищення її безпеки та надійності.

Наразі реалізується КзПБ (Комплексна (зведена) програма безпеки) атомних станцій, затверджена Кабміном України та розрахована до 2035 року. Ця програма спрямована на виконання зобов'язань Україною за рекомендаціями МАГАТЕ та ЄС щодо безпеки АЕС. Заходи КзПБ, які передбачають модернізацію обладнання та підвищення безпеки, здійснюються переважно під час щорічних планово-попереджувальних ремонтів. Крім того, у рамках КзПБ реалізується комплекс «Національного плану дій» за результатами «стрес-тестів» для запобігання аварійним ситуаціям, викликаним природними явищами. Ці заходи, відомі як «постфукусімські», сприяють підвищенню стійкості АЕС до тривалого знеструмлення та відмови систем охолодження. Виконання усіх заходів КзПБ є умовою для подальшого терміну експлуатації діючих атомних блоків. Подовження експлуатації при забезпеченні світових стандартів безпеки є поширеною практикою, що дозволяє підтримувати стабільний рівень енергогенерації в Україні [15].

Роботи з безпеки всіх енергоблоків РАЕС будуть продовжуватися й надалі, що залишається безумовним пріоритетом.

Однак, у воєнний час програма безпеки має включати не лише стандартні ядерно-технічні заходи, а й спеціальні, спрямовані на протидію воєнним загрозам, а саме: посилення охорони периметра та контроль доступу до стратегічних об'єктів; укріплення захисних споруд (інженерні бар'єри, укриття, додаткові захисні конструкції); системи протидії диверсіям та терористичним атакам (відеонагляд, датчики руху, системи швидкого реагування); співпраця з військовими формуваннями для охорони території.

Для захисту від повітряних та ракетних ударів необхідні системи протиповітряної оборони; захист енергоблоків та сховищ від уламків і вибухових хвиль (укріплення дахів, додаткові бар'єри); створення резервних диспетчерських пунктів поза межами основної території.

Для стійкості енергопостачання та охолодження необхідні: дублювання систем живлення (резервні дизель-генератори, мобільні джерела енергії);

захищені лінії електропередач і можливість їх швидкого відновлення; додаткові резерви охолоджуючої води та мобільні системи подачі.

Для готовності та реагування необхідні: регулярні тренування персоналу на випадок бойових дій та пошкодження інфраструктури; створення кризових центрів і запасних командних пунктів; плани евакуації населення у разі надзвичайної ситуації; постійна комунікація з місцевою владою та ДСНС.

Для інформаційної безпеки та кіберзахисту потрібно: захист систем управління від кібератак; резервний зв'язок (радіо, супутниковий зв'язок); запобігання витоку інформації про уразливості об'єкта.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідна співпраця з міжнародними структурами, а саме: координація з МАГАТЕ та іншими міжнародними організаціями для моніторингу стану АЕС; залучення іноземних експертів до оцінки ризиків і допомоги у розробці планів безпеки; інформування світової спільноти у випадку інцидентів.

Висновок до розділу 4: таким чином, атомна енергетика залишається одним із ключових напрямів забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку України. Перспективи її розвитку пов'язані з підвищенням рівня безпеки, модернізацією обладнання, впровадженням інноваційних технологій і посиленням екологічного контролю. Для Рівненська АЕС важливими напрямками оптимізації функціонування є підвищення ефективності виробничих процесів, удосконалення систем моніторингу та управління, зміцнення захисту критичної інфраструктури й забезпечення екологічної безпеки. Реалізація цих заходів сприятиме надійній роботі електростанції, мінімізації ризиків для довкілля та зміцненню ролі атомної енергетики в енергетичній системі держави.

ВИСНОВКИ

Забезпечення безпеки та надійності атомних електростанцій є пріоритетним завданням для енергетичної системи України, особливо враховуючи значний внесок АЕС у виробництво електроенергії (понад 50%).

Виконання Комплексної програми безпеки (КПБ) та її сучасної версії — Комплексної (зведеної) програми безпеки (КзПБ) є ключовими факторами для продовження експлуатації енергоблоків із дотриманням світових стандартів безпеки.

Завдяки реалізації програми модернізації Рівненської АЕС вдалося усунути основні недоліки безпеки та забезпечити відповідність міжнародним нормам, що підтверджує високий рівень технічного забезпечення та організації роботи.

В Україні сформовано комплексний підхід до управління безпекою АЕС, який включає не лише технічні заходи, а й моніторинг природних ризиків і розробку заходів для запобігання надзвичайним ситуаціям.

Подовження експлуатації енергоблоків є економічно доцільним і безпечним за умови відповідного оновлення та модернізації обладнання.

Врахування уроків Чорнобильської катастрофи, а також сучасних вимог і стандартів дозволить Україні зберегти і посилити роль атомної енергетики в енергетичній незалежності держави.

З метою подальшого розвитку атомної енергетики в умовах воєнних дій, важливо продовжувати реалізацію програм з безпеки та модернізації, підвищувати кваліфікацію персоналу та підтримувати міжнародне співробітництво у сфері ядерної безпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бедункова О.О., Кузнецов П.М. Факторний аналіз динаміки азотних речовин води річки Стир у зоні впливу Рівненської АЕС. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, 2024, № 101, с.3-17.
2. Бондарчук В. В., Шевченко Ю. П. «Актуальні проблеми безпеки атомних електростанцій в Україні», *Журнал «Ядерна енергетика України»*, 2021, № 3, с. 15-27.
3. Борисенко В. І., Носовський А. В. Щодо будівництва нових ядерних енергоблоків в Україні // *Ядерна енергетика та довкілля № 1 (23) 2022*. С. 3-9.
4. Брилева В. А. Атомна енергетика. Радіоактивні відходи АЕС. *Інформаційний бюлетень, Держ. науч. установа «Об'єдн. інститут енерг. і ядерних досліджень. - Сосни»*, 2010. - № 10-11 - С. 1-8.
5. Вінклер І. А., Тевтуль Я. Ю. Екологічна безпека джерел енергії. Від традиційних до сучасних і перспективних: Навчальний, посібник / Львів: «Новий Світ- 2000», 2013. — 277 с.
6. Власенко М.І. Стратегія розвитку атомної енергетики: перспективи для виробників та економіки України. - Київ. - 6 листопада 2019 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.energoatom.com.ua/uploads/presentations/ned2019/Власенко.pdf> (дата звернення 10.02.2026)
7. Державна служба статистики. Офіційний сайт. — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 10.02.2026) .
8. Енергоатом України. Офіційний сайт. — Режим доступу: <http://www.energoatom.kiev.ua> (дата звернення 10.02.2026) .
9. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2024 році / Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. – Рівне, 2025. – 10 с.

- 10.Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2014 р. / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Рівненській області. – Рівне, 2015. – 133 с.
- 11.Заходи з підвищення безпеки. Продовження терміну експлуатації [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Рівненської атомної електростанції. – Режим доступу : <https://www.rnpp.rv.ua/mrpse.html> (дата звернення 10.02.2026)
- 12.Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовської, В. А. Жовтянський; Наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. – 2013.
- 13.Коваленко І. В., Петров О. М. «Перспективи розвитку атомної енергетики в умовах енергетичної незалежності України», *Енергетична політика України*, 2019, № 5, с. 44-53.
- 14.Міністерство палива та енергетики України. НЕК «Укренерго». Офіційний сайт. — Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo>
- 15.Офіційний сайт ВП Рівненська АЕС — розділ про безпеку та екологію: www.mpp.rv.ua (дата звернення 10.03.2026)
- 16.Поводження з РАВ [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Рівненської атомної електростанції. — Режим доступу : <https://www.mpp.rv.ua/handling-rao.html> (дата звернення 10.02.2026)
- 17.Ромась М. І. Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики : монографія / М. І. Ромась – К. : ВПЦ «Київ. ун-т», 2022. – 532 с.
- 18.Ромась М. І., Чунарьов О. В., Шевчук І. О. До питання водозабезпечення атомних електростанцій України при введенні на них нових потужностей // Тези доповідей Третьої Всеукраїнської наукової конференції «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія» – К., 2016. – 260 с.

19. Сайт Державної інспекції ядерного регулювання України (ДІЯРУ) — нормативна база та звіти: www.snrc.gov.ua
20. Система автоматичного регулювання (САР) турбіни атомної електростанції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://studentbank.ru/view.php?id=42927> (дата звернення 10.02.2026)
21. Стан українських енергоблоків щороку перевіряють міжнародні місії [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу : http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=244972125 (дата звернення 10.02.2026).
21. Технологічна схема енергоблоків з реакторами ВВЕР-440 та ВВЕР-1000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://olav-smt.narod.ru/firm/reactor.htm> (дата звернення 10.02.2026)
22. Характеристика обладнання [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Рівненської атомної електростанції. – Режим доступу : <https://www.rnpp.rv.ua/equipment-features.html> (дата звернення 10.02.2026).
23. Худоба І. П. Інформаційно-аналітичний огляд стану довкілля Рівненської області грудень та 4 квартал 2025 року. / І. П. Худоба. – Рівне: Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації, 2026. – 17 с.
24. Ядерна енергетика. Будова АЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pandia.ru/text/79/486/34434.php> (дата звернення 10.02.2026)