

**ЗРАЗОК РОБОТИ.**

**Дисципліна: "Охоронна навколишнього середовища"**

**Тип: курсова робота (скорочена)**

**Автор: Піпаш Анастасія**

**Обсяг: 7623 слів**

**Оцінка: 97/100**

**ВІДОКРЕМЛЕННИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «МУКАЧІВСЬКИЙ  
ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ»**

Агрономічне відділення

Циклова комісія агроекологічних та землевпорядних дисциплін

**КУРСОВА РОБОТА** з навчальної дисципліни: «Охорона навколишнього середовища» на тему: «Екологічна безпека використання атомної енергії»

Здобувача освіти: 4 курсу

групи ЕКО- 41

спеціальності 101 Екологія

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник:** \_\_\_\_\_

Національна шкала: \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_

**Члени комісії:**

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Відокремлений структурний підрозділ «Мукачівський фаховий коледж  
Національного університету біоресурсів і природокористування України»**

Циклова комісія агроекологічних  
та землевпорядних дисциплін  
Затверджую  
Завідувач агрономічним відділенням

---

\_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ**

на курсову роботу з навчальної дисципліни  
**«Охорона навколишнього середовища»** Студентки  
IV курсу ЕКО-41

---

**Тема роботи: «Екологічна безпека використання атомної енергії»**

**ВСТУП**

**РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У СФЕРІ АТОМНОЇ  
ЕНЕРГЕТИКИ РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА  
НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  
АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ВИСНОВКИ СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ  
ДЖЕРЕЛ ДОДАТКИ**

Термін здачі роботи \_\_\_\_\_ 2025р.

Завдання видане \_\_\_\_\_ 2025р.

Керівник курсової роботи:  
\_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У СФЕРІ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ</b> .....	3
<b>ЕНЕРГЕТИКИ</b> .....	7
1.1. Поняття та принципи екологічної безпеки в атомній енергетиці.....	7
1.2. Види екологічних ризиків при використанні атомної енергії.....	11
1.3. Міжнародні стандарти екологічної безпеки АЕС.....	15
<b>РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ</b> .....	20
2.1. Радіоактивні викиди та їхній вплив на екосистеми <b>Помилка! Закладку не визначено.</b>	
2.2. Проблема зберігання та утилізації ядерних відходів .....	20
2.3. Аварії на АЕС та їх екологічні наслідки.....	23
<b>РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ</b> .....	25
3.1. Методи дослідження атомної енергетики .....	25
3.2. Запровадження сучасних технологій для зниження радіаційного забруднення .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	29
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	31
<b>ДОДАТКИ</b> .....	32

## ВСТУП

**Атомна енергетика відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичних потреб сучасного світу.** Завдяки високій ефективності та низькому рівню викидів парникових газів атомні електростанції (АЕС) розглядаються як один із перспективних напрямів розвитку енергетики. Водночас використання атомної енергії несе значні екологічні ризики, пов'язані з радіоактивним забрудненням, безпечним зберіганням відпрацьованого ядерного палива та можливістю аварійних ситуацій.

**Забезпечення екологічної безпеки** атомної енергетики є надзвичайно важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Це включає розробку та впровадження сучасних технологій контролю за радіоактивними відходами, підвищення надійності ядерних реакторів, вдосконалення міжнародних стандартів безпеки та посилення контролю за експлуатацією АЕС. Особливу увагу необхідно приділяти впливу атомної енергетики на навколишнє середовище та здоров'я населення, оскільки радіаційні аварії можуть мати катастрофічні наслідки.

**Актуальність дослідження** обумовлена необхідністю розробки ефективних заходів для мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних із використанням атомної енергії. Аналіз сучасного стану атомної енергетики та екологічних аспектів її функціонування дозволить оцінити потенційні загрози та розглянути можливості для їх зниження.

**Метою роботи** є дослідження екологічних аспектів використання атомної енергії, визначення основних загроз та розгляд шляхів забезпечення екологічної безпеки атомної енергетики.

**Об'єктом дослідження** є екологічні аспекти функціонування атомної енергетики.

**Предметом дослідження** виступають заходи щодо зниження екологічних ризиків, пов'язаних із використанням атомної енергії.

**Практичне значення** дослідження полягає у можливості застосування отриманих результатів для розробки ефективних заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу атомної енергетики на навколишнє середовище та підвищення рівня її екологічної безпеки.

**Структура роботи** передбачає три розділи. У першому розглядаються загальні характеристики атомної енергетики та її місце в сучасній енергетичній системі. У другому аналізуються основні екологічні ризики, пов'язані з використанням ядерної енергії, зокрема проблеми утилізації відходів та наслідки радіаційних аварій. Третій розділ присвячений сучасним технологіям, спрямованим на зменшення радіаційного забруднення, а також заходам щодо підвищення екологічної безпеки атомної енергетики.

## **РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ У СФЕРІ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Екологічна безпека у сфері атомної енергетики є важливою складовою загальної стратегії сталого розвитку. Вона включає систему заходів, спрямованих на запобігання негативному впливу атомних електростанцій та ядерних об'єктів на довкілля і здоров'я людини. Основні аспекти екологічної безпеки охоплюють контроль за радіаційним випромінюванням, управління ядерними відходами, дотримання міжнародних стандартів безпеки та мінімізацію ризиків аварійних ситуацій. У цьому розділі буде розглянуто основні принципи екологічної безпеки, нормативно-правове регулювання у сфері атомної енергетики та технологічні рішення, що сприяють зменшенню екологічних ризиків.

### **1.1. Поняття та принципи екологічної безпеки в атомній енергетиці**

Екологічна безпека в атомній енергетиці - це сукупність заходів, принципів та технологій, спрямованих на мінімізацію негативного впливу ядерних об'єктів на навколишнє середовище та здоров'я людини. Вона охоплює правове регулювання, контроль за рівнем радіації, безпечне управління ядерними відходами та впровадження інноваційних технологій, що зменшують ризики аварій.

Успішним прикладом організації міжнародного співробітництва у сфері розвитку ядерної енергетики є діяльність Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ), що було засновано ООН у 1957 р., працює на **безпечне і мирне** використання ядерних розробок науки і техніки, спираючись на цілі ООН щодо сталого розвитку. (МАГАТЕ) створило міжурядовий форум для науковотехнічного співробітництва у ядерній сфері. Форум дає можливість визначити пріоритети, узагальнити інформацію та практичні напрацювання про розвиток інноваційних технологій, які потенційно мають відношення до

забезпечення безпечної, надійної та стабільної роботи атомних електростанцій у світі. Держави-члени (МАГАТЕ) можуть скористатися інноваційними рішеннями у розвитку АЕС, а також найкращими напрацюваннями країн світу у сфері забезпечення розвитку ядерної енергетики. [10, с 14]

Основні принципи екологічної безпеки в атомній енергетиці включають:

1. **Принцип превентивності** - передбачає вжиття заходів для попередження негативних екологічних наслідків ще на етапі планування та будівництва атомних електростанцій.

2. **Принцип мінімізації впливу** - спрямований на зменшення рівня радіоактивного забруднення довкілля шляхом застосування сучасних технологій очищення та утилізації відходів.

3. **Принцип безперервного моніторингу** - контроль за рівнем радіації, станом ядерних реакторів та інших компонентів енергетичних об'єктів.

4. **Принцип відповідальності** - визначення відповідальності операторів АЕС, державних установ та інших зацікавлених сторін за екологічні наслідки функціонування атомних станцій.

5. **Принцип міжнародного співробітництва** - обмін інформацією та досвідом у сфері безпечного використання ядерної енергії на міжнародному рівні.

Дотримання принципів екологічної безпеки є критично важливим для збереження навколишнього середовища. Наприклад, принцип превентивності передбачає ретельну оцінку екологічних ризиків ще на етапі проектування атомних об'єктів. Перед будівництвом АЕС проводяться екологічні дослідження, які оцінюють вплив станції на природні екосистеми, рівень потенційного забруднення води, ґрунтів та повітря. Принцип мінімізації впливу реалізується через використання сучасних технологій зниження викидів радіоактивних речовин, таких як багаторівневі системи фільтрації та утилізації відходів. Наприклад, на сучасних АЕС застосовують реактори третього та четвертого

покоління, що мають удосконалені системи безпеки та зменшують ризик радіаційних викидів.

Моніторинг радіаційного фону є важливим елементом забезпечення екологічної безпеки. Вимірювання рівня випромінювання здійснюється як на території АЕС, так і в довколишніх населених пунктах. Спеціальні служби контролюють якість води, ґрунту та повітря, що дозволяє вчасно виявляти можливі відхилення від норми та запобігати забрудненню. Дотримання принципу відповідальності передбачає, що оператори АЕС несуть юридичну та фінансову відповідальність за можливі екологічні наслідки. У випадку аварійних ситуацій компанії-оператори зобов'язані виконувати заходи з ліквідації наслідків та відшкодовувати збитки.

Міжнародне співробітництво у сфері екологічної безпеки атомної енергетики сприяє підвищенню рівня захищеності від можливих загроз. Країни обмінюються досвідом та новітніми розробками у сфері безпечного використання ядерної енергії, що дозволяє вдосконалювати технології та знижувати екологічні ризики.

Таким чином, екологічна безпека атомної енергетики базується на поєднанні нормативно-правового регулювання, сучасних технологій безпеки та міжнародного співробітництва. Її дотримання є ключовим фактором у забезпеченні сталого розвитку енергетичного сектора та збереженні природного середовища для майбутніх поколінь.

Забезпечення екологічної безпеки в атомній енергетиці також передбачає ретельний аналіз потенційних ризиків на всіх етапах життєвого циклу ядерних об'єктів - від проектування до виведення з експлуатації. Ключовими етапами контролю є:

1. **Проектування та будівництво** - розробка технологічних рішень, що відповідають найвищим стандартам безпеки, включаючи використання пасивних систем охолодження, які зменшують ризик розплавлення активної зони реактора;

2. **Експлуатація** - постійний моніторинг радіаційного фону, суворе дотримання регламентів роботи реакторів, а також регулярні стрес-тести для оцінки стійкості АЕС до зовнішніх загроз (землетрусів, повеней, терактів тощо);

3. **Управління ядерними відходами** - створення ефективних систем переробки, зберігання та ізоляції відпрацьованого ядерного палива, зокрема застосування геологічних сховищ, що гарантують ізоляцію радіоактивних матеріалів від довкілля;

4. **Виведення з експлуатації** - розробка технологій безпечного демонтажу реакторів та рекультивації територій, що використовувалися для ядерних об'єктів.

Одним із ключових завдань сучасної атомної енергетики є розробка нових типів реакторів, які мінімізують негативний вплив на довкілля. Серед перспективних технологій можна виокремити:

- **реактори на швидких нейтронах**, які дозволяють повторно використовувати відпрацьоване ядерне паливо, значно зменшуючи кількість радіоактивних відходів;
- **модульні малі реактори (SMR)**, що мають підвищену безпеку завдяки інтегрованим пасивним системам охолодження та можливості локалізації аварійних ситуацій;
- **технології термоядерного синтезу**, які покликані забезпечити екологічно чисту альтернативу традиційним ядерним реакторам.

Окрім технічних рішень, важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки відіграє міжнародне співробітництво. Атомна енергетика регулюється численними міжнародними угодами, які зобов'язують країни дотримуватися єдиних стандартів безпеки. Наприклад, **Конвенція про ядерну безпеку**, прийнята під егідою МАГАТЕ, вимагає від країн-учасниць здійснювати постійний контроль за ядерними об'єктами та обмінюватися інформацією про рівень безпеки.

Підвищення безпеки експлуатації енергоблоків АЕС України відбувається систематично шляхом реалізації відповідних програм із підвищення безпеки, що розробляються на визначений період. З метою забезпечення безпеки розвитку ядерної енергетики, для підвищення ядерної безпеки, забезпечення ефективної та надійної роботи енергетичної галузі, доведення безпеки атомних енергоблоків України до рівня, що відповідає міжнародно визнаним вимогам з ядерної безпеки та охорони довкілля, Україна реалізує Комплексну (зведену) програму підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій України (КзПБ).

Дуже важливими елементами програми є заходи, що були запроваджені у світі після аварії на АЕС «Фукусіма» (2011 р.). коли найбільша увага приділяється аварійному енергозабезпеченню та безпеці для довкілля. [10, с 14]

Таким чином, екологічна безпека в атомній енергетиці є комплексним поняттям, що охоплює технологічні, правові та соціальні аспекти. Вона базується на впровадженні новітніх технологій, суворому дотриманні міжнародних стандартів та активній взаємодії між державними органами, науковими установами і громадськістю.

## **1.2. Види екологічних ризиків при використанні атомної енергії**

Галузь ядерної енергетики, як і будь-яка інша галузь, задля розвитку та забезпечення безпеки населення та навколишнього середовища потребує нових розробок, висококваліфікованого персоналу та інновацій. [10, с 14]

На сьогодні у світі працює близько 400 атомних електростанцій (АЕС). Вони забезпечують майже 10% енергії, що виробляється на Землі. В Україні атомні електростанції займають провідне місце, виробляючи близько 45% електроенергії. Проте їхня експлуатація пов'язана з низкою екологічних проблем. До них можна віднести: утилізацію радіоактивних відходів; великі об'єми теплових забруднень; виробництво та розповсюдження ядерної зброї. У процесі роботи на атомних електростанціях використовують як паливо радіоактивні елементи - уран, торій і плутоній. Отримання енергії базується на реакціях

радіоактивного розпаду елементів, що відбувається в реакторах. Проте після використання паливні відходи досить радіаційні і небезпечні для всього живого, тому потребують тисячолітньої ізоляції для остаточного розпаду. На сьогодні немає прийнятої екологічної програми утилізації радіоактивних відходів у будь-якій формі.

Законодавчі акти, що регулюють питання безпеки на підприємствах. Такі нормативні акти, як Закон України «Про атомну енергію» та Закон України «Про ядерну безпеку» регулюють питання вимог до набору, підготовки та кваліфікації персоналу АЕС з урахуванням всіх безпекових аспектів. Питання забезпечення належних умов праці та охорони здоров'я персоналу та встановлення процедур контролю, оцінки та забезпечення безпеки роботи персоналу. Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки» регулює вимоги до організаційного та правового забезпечення безпеки на АЕС. Встановлення процедур державного контролю та регулювання ядерної та радіаційної безпеки, включаючи персонал АЕС. [11, с 49]

Серйозний вплив атомних електростанцій на навколишнє середовище виявляється у регіональних змінах кліматичних умов у зв'язку з концентрацією великих обсягів теплових викидів на порівняно невеликих територіях. Іншим небезпечним явищем, пов'язаним із діяльністю атомних електростанцій, є виробництво і розповсюдження ядерної зброї. Унаслідок продукування атомної енергії неминуче виникає плутоній. Він міститься у відпрацьованому ядерному паливі. З кульки плутонію розміром з тенісний м'ячик можна зробити атомну бомбу, що здатна знищити тисячі людей.

**Вплив на людей і довкілля.** В процесі своєї роботи атомні станції майже не забруднюють довкілля і виглядають цілком екологічними. Але якщо зазирнути глибше, то на поверхню впливає чимало прихованих від стороннього ока проблем. Адже АЕС – це не лише безпосередня робота, а й інші етапи, які входять у повний ядерно паливний цикл:

1. **Видобуток руди** - атомні станції, як і теплові, працюють на викопному паливі. Уранову руду видобувають на шахтах, які мають ті самі проблеми, що й вугільні: зруйновані території, які потребують відновлення, викиди у довкілля, відходи. На них також підвищена концентрація радону – радіоактивного газу, який при вдиханні опромінює працівників шахт зсередини і може спричиняти серйозні захворювання.

2. **Збагачення урану** - уран для ядерних реакторів необхідно не лише видобувати, а й додатково обробляти, щоб він став придатним для використання. Для тони ядерного палива необхідно переробити 2-3 тисячі тон радіоактивної уранової руди. Решта стає відходами, які потребують особливого поводження.

3. **Виведення з експлуатації** - атомний реактор після завершення його терміну експлуатації не можна просто зупинити і перетворити на арт-простір чи опенспейс. Більшість його складників - радіоактивні, тож його необхідно повністю розібрати, ізолювати і так само захоронити. Спосіб ж безпечно зберігати всі ці відходи довше, ніж сто років, людство досі не винайшло.

**Аварії та несправності.** За період існування індустрії сталося 11 серйозних аварій атомних реакторів (із розплавом ядерного палива та\або руйнацією реактора), ще 5 – на об'єктах ядерно-паливного комплексу. Набагато більше, ніж прогнозували представники індустрії.

Часто аварії називають «випадковостями» і списувати їх на «людський фактор». Але ці розмови, на жаль, ніяк не впливають на те, що аварії на атомних станціях ставалися і можуть статися ще. І що аварії - це не лише «людський фактор», а й зруйновані людські життя. Так, внаслідок Чорнобильської трагедії постраждали сотні тисяч людей, десятки тисяч родин назавжди переселилися з дівонок, а територія площею у три Києва стала Зоною відчуження. Із небезпечними відходами, що утворилися внаслідок катастрофи, необхідно справлятися досі.

Нещодавно, «надійна та стабільна» атомна енергетика постраждала від атаки морських тварин, подібних на медуз. Морські сальпи засмітили водозабірні

клапани на Ханульській АЕС у Кореї, через що в країні зупинилися аж два енергоблоки потужністю майже ГВт кожен. І це стається не вперше і не лише в Кореї. Наприклад, у ставку-охолоджувачі Хмельницької АЕС прижилися молюски-дрейсени, звиклі до теплої води. В 2005 році їх зібралось так багато, що вони частково перекрили труби системи охолодження і ті перестали пропускати достатньо води, тож в одному з енергоблоків довелося екстрено знижувати потужність. А у 2015 році реактор на американській станції Індіан Поїнт зупинився на три дні через пташку. А точніше, через пташиний послід, який потрапив на лінії електропередач і призвів до спрацювання систем безпеки.

**Впливу на зміну клімату.** Атомну енергетику нерідко пропагують як “зелену” і хочуть представити як рішення кліматичної кризи. Та як вже зазначалося, хоч атомна станція майже не викидає парникових газів під час роботи, та на усіх інших етапах своєї життєдіяльності вона теж є джерелом викидів і забруднення довкілля. За найгірших умов, викиди парникових газів від повного ядерного циклу (тобто з урахуванням усіх необхідних етапів) у 24 рази більші за викиди від сонячної енергетики та усього в 4 рази менші за вугільну.

Атомні станції - потенційно небезпечні об'єкти. Коли їх проектують, то враховують багато ризиків, в тому числі екстремальні погодні явища. Однак середній вік станцій у світі – понад 30 років, тож і планувалися вони кілька десятиліть тому. До сучасних кліматичних умов вони просто не пристосовані. А тим часом з посиленням зміни клімату екстремальні погодні явища частішають та стають усе більш непередбачуваними та масштабними і загрожують безперебійній роботі станцій.

Особливо тривожний для атомної енергетики наслідок зміни клімату – це нестача води. За прогнозами науковців, це головний ризик для нашого регіону. Однак він не лише потенційний, а й уже помітний – наприклад, для охолодження двох блоків Хмельницької АЕС у найспекотніші періоди доводиться брати додаткову воду з річки Горинь. Чим збираються охолоджувати ще два блоки, які

Енергоатом хоче добудувати – невідомо. В оцінці впливу на довкілля цього проекту його ініціатори немає свіжих даних про те, чи вистачить їм води для безпечної роботи «нових» блоків.

**Проблема радіоактивних відходів.** Для виробництва 1 тони ядерного палива на поверхню дістають майже 3 000 тон радіоактивної уранової руди. Решта стає відходами. При переробці 1 тони відпрацьованого ядерного палива утворюється більше 2200 тон радіоактивних відходів. Переробка не позбавляє відпрацьоване паливо радіоактивності.

Радіоактивні відходи недостатньо просто захоронити глибоко в землі. Їх необхідно зберігати у спеціальних контейнерах під постійним контролем фахівців, аж доки радіоактивні речовини не розкладуться на безпечні. Час розкладу становить від десятків тисяч до мільйонів років. В Україні немає місця для остаточного захоронення відходів, тому їх зберігають у «тимчасових» сховищах, які розраховані, зазвичай, на 50 років. Щороку через Україну транспортують понад 100 радіоактивних вантажів. Перевезення здійснюються переважно залізницею - тими самими шляхами, якими йдуть пасажирські потяги. Аварія потягу з радіоактивними відходами може зашкодити населенню в місцях, де немає радіоактивних підприємств.

Атомні реактори будувались насамперед для виробництва плутонію для ядерної зброї. Технології, які застосовують в атомній енергетиці, можуть бути використані у військових цілях. Тому розповсюдження атомної енергетики значною мірою сприяє поширенню ядерної зброї у світі.

### **1.3. Міжнародні стандарти екологічної безпеки АЕС**

Енергетична безпека країни стає важливим чинником, що впливає на конкурентоспроможність національної економіки в системі глобалізованого світового господарства, є підґрунтям для стійкості національного виробництва щодо хаотичних коливань цінової кон'юнктури на світових ринках енергетичних

ресурсів. Також енергетична безпека є складовою частиною національної та економічної безпеки. [10, с 14]

Основні міжнародні стандарти екологічної безпеки АЕС:

**1. Стандарти МАГАТЕ:** МАГАТЕ розробляє серію стандартів безпеки, які охоплюють різні аспекти ядерної безпеки, включаючи екологічну. Ці стандарти встановлюють вимоги до проектування, будівництва, експлуатації та зняття з експлуатації АЕС з метою забезпечення захисту людей і навколишнього середовища від іонізуючого випромінювання.

**2. Стандарти ІЕС:** ІЕС публікує стандарти, що стосуються інформаційних та керівних систем, важливих для безпеки на АЕС. Наприклад, ДСТУ ІЕС 61513:2009 "Атомні електростанції. Інформаційні та керівні системи, важливі для безпеки. Загальні вимоги до систем" встановлює загальні вимоги до таких систем, забезпечуючи їхню надійність та безпеку.

**3. Референтні рівні безпеки WENRA:** Асоціація західноєвропейських ядерних регулюючих органів (WENRA) розробила референтні рівні безпеки, які використовуються для гармонізації національних нормативних вимог у сфері ядерної безпеки. Україна, як член WENRA, активно працює над впровадженням цих рівнів у своє законодавство.

**4. Системи екологічного менеджменту ISO 14000:** Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила серію стандартів ISO 14000, які стосуються систем екологічного управління. Ці стандарти допомагають організаціям, включаючи АЕС, впроваджувати ефективні системи управління екологічними аспектами своєї діяльності, сприяючи зменшенню негативного впливу на довкілля.

**Механізми контролю та моніторингу екологічної безпеки АЕС.** Одним із ключових елементів забезпечення екологічної безпеки атомної енергетики є постійний моніторинг радіаційного фону, як на території АЕС, так і в прилеглих

зонах. Міжнародні організації, зокрема МАГАТЕ та WENRA, рекомендують застосування наступних заходів контролю:

- **автоматизовані системи моніторингу радіаційного фону**, які дозволяють оперативно відстежувати рівень радіації та реагувати у випадку його перевищення;
- **моніторинг стану водних ресурсів**, оскільки для охолодження реакторів використовується значна кількість води, яка після використання може містити радіоактивні частинки;
- **контроль за поводженням із ядерними відходами** відповідно до міжнародних стандартів ISO 14001 та норм WENRA, які регламентують безпечно зберігання та утилізацію радіоактивних матеріалів.

**Розвиток технологій для підвищення екологічної безпеки АЕС.** Сучасні атомні електростанції будуються з урахуванням новітніх інженерних рішень, які дозволяють знизити ризик аварій та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Серед ключових інновацій можна виділити:

- **реактори покоління III+ та IV**, що мають удосконалені системи пасивної безпеки, які не потребують зовнішнього електроживлення для охолодження в разі аварійної ситуації;
- **технології замкнутого паливного циклу**, що передбачають повторне використання відпрацьованого ядерного палива, що зменшує обсяг радіоактивних відходів;
- **використання малих модульних реакторів (SMR)**, які мають підвищений рівень безпеки та зменшене виробництво радіоактивних відходів.

Важливу роль у розвитку безпечних ядерних технологій відіграє міжнародна співпраця, яка спрямована на тестування нових проєктів реакторів та впровадження більш екологічних методів їх експлуатації.

**Міжнародне співробітництво у сфері екологічної безпеки атомної енергетики.** Оскільки радіаційне забруднення не має державних кордонів,

питання екологічної безпеки АЕС є глобальним викликом, який потребує міжнародної взаємодії.

Основні форми міжнародного співробітництва включають:

- **обмін даними про рівень радіаційного фону** між країнами, особливо у випадках аварійних ситуацій (системи оповіщення МАГАТЕ);
- **гармонізацію національних норм із міжнародними стандартами**, зокрема адаптацію українського законодавства до вимог WENRA та директив ЄС;
- **міжнародні навчання та симуляції ядерних інцидентів**, які дозволяють перевірити готовність до кризових ситуацій та виробити єдині протоколи реагування.

Україна є активним учасником міжнародних ініціатив у сфері екологічної безпеки ядерної енергетики, що дозволяє впроваджувати кращі практики та підтримувати високий рівень безпеки на вітчизняних АЕС. Україна має розвинутий енергетичний сектор, у якому ядерна енергетика займає понад 53% генерації електроенергії. Водночас українські АЕС використовують застарілі технології, які переважно використовувалися ще за радянських часів. [10, с 15] Розвиток атомної енергетики неможливий без дотримання жорстких міжнародних стандартів екологічної безпеки. Постійний моніторинг, вдосконалення технологій, а також активна співпраця між державами відіграють ключову роль у зменшенні ризиків, пов'язаних із експлуатацією АЕС. Подальші дослідження та інновації у цій сфері сприятимуть підвищенню рівня безпеки атомної енергетики у світі.

Атомна енергетика є однією з ключових складових світової енергетичної системи, проте вона має значний екологічний вплив, зокрема через проблему безпечного зберігання та утилізації радіоактивних відходів. В Україні відсутні спеціалізовані сховища для остаточного захоронення таких матеріалів, тому їх зберігають у тимчасових сховищах, що створює потенційні екологічні та

безпекові ризики. Крім того, транспортування радіоактивних вантажів, яке відбувається залізничними шляхами, підвищує небезпеку радіаційного забруднення в разі аварійних ситуацій.

Міжнародні стандарти екологічної безпеки, розроблені такими організаціями, як МАГАТЕ, ІЕС та WENRA, спрямовані на зниження ризиків, пов'язаних з експлуатацією атомних електростанцій. Україна активно інтегрує ці стандарти у своє законодавство, що сприяє підвищенню безпеки на вітчизняних АЕС та забезпечує їх відповідність міжнародним нормам.

Значну роль у забезпеченні екологічної безпеки відіграють постійний моніторинг радіаційного фону, контроль за водними ресурсами та впровадження систем раннього попередження про можливі аварії. Сучасні технології, зокрема реактори покоління III+ та IV, замкнутий паливний цикл і малі модульні реактори (SMR), дозволяють мінімізувати ризики та зменшити негативний вплив атомної енергетики на довкілля.

Оскільки радіаційне забруднення не має державних кордонів, міжнародне співробітництво відіграє ключову роль у забезпеченні екологічної безпеки. Обмін даними, гармонізація національного законодавства з міжнародними нормами та проведення спільних навчань сприяють ефективному реагуванню на потенційні загрози.

Таким чином, розвиток атомної енергетики має відбуватися із суворим дотриманням міжнародних екологічних стандартів, використанням новітніх безпечних технологій та активною міжнародною співпрацею. Це дозволить забезпечити сталий розвиток галузі, мінімізувати ризики для довкілля та захистити здоров'я населення.

## **РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ**

Атомні електростанції забезпечують стабільне електропостачання, працюючи 24 години на добу [додаток 2], 365 днів на рік, незалежно від погодних умов, що є перевагою перед деякими відновлюваними джерелами енергії. Однією з головних переваг цього виду енергетики є відсутність прямих викидів парникових газів у процесі експлуатації, що сприяє зменшенню негативного впливу на атмосферу та протидії зміні клімату.

### **2.2. Проблема зберігання та утилізації ядерних відходів**

Радіоактивні відходи, РАВ - матеріальні об'єкти та субстанції, радіоактивне забруднення чи активність радіонуклідів яких перевищує межі, встановлені діючими нормами радіаційної безпеки, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається. Радіоактивні відходи - особливий вид радіоактивних матеріалів (у будь-якому агрегатному стані), відносно яких встановлено, що ні зараз, ні потім у майбутньому вони не можуть бути використані, або ще нема остаточного рішення відносно того, яким чином ці матеріали можуть бути використані в рамках сучасних або створених у майбутньому технологічних процесів. Часто, такі відходи атомної промисловості не мають практичної цінності і потребують спеціальної повторної утилізації, захоронення, створення спеціальних умов зберігання чи консервації. На території України поводження з радіоактивними відходами регламентується Законом України «Про поводження з радіоактивними відходами».

**Рідкі радіоактивні відходи за своєю активністю діляться на 3 категорії:**

- низького рівня активності, питома активність яких не перевищує 10-5 кюрі/л;

- середнього рівня - від 10-5 до 1 кюрі/л і;
- високоактивні відходи - вище від 1 кюрі/л.

Низькоактивні - продукти діяльності наукових центрів, в яких вони використовуються для проведення різних хімічних тестів. Радіоактивність низькоактивних відходів швидко зменшується (зазвичай в лічені дні або декілька тижнів), і від такого матеріалу вже можна позбавитися, як від звичайного сміття.

Більшу складність становлять високоактивні відходи - відпрацьоване радіоактивне паливо АЕС, або матеріал, що використовується у створенні ядерної зброї.

Найбільша проблема з утилізацією радіоактивних елементів урану і плутонію, у яких надзвичайно довгий період розпаду. Приміром період напіврозпаду деяких ізотопів плутонію становить близько 24тисяч років, а час розпаду інших радіонуклідів у паливі може сягати близько 100тисяч років і більше.

**Рідкі радіоактивні відходи (РРВ) та тверді радіоактивні відходи (ТРВ)** низького рівня активності, так звані нетехнологічні відходи, що утворюються за рахунок обмивки приміщень і при пранні спецодягу, після ретельного очищення від радіоактивних ізотопів методами коагуляції й іонного обміну або дистиляцією направляються у виробництво для повторного використання або можуть скидатися в каналізацію.

До твердих радіоактивних відходів належать забруднені матеріали, які не піддаються відмиванню, використаний спецодяг і ін. Все це переноситься для довготермінового захоронення в бетонні траншеї і, як правило, заливається бетоном.

**За способами і місцем зберігання можна виділити групи ТРВ:**

- відходи, які зберігаються навалом без упаковки на відкритих майданчиках, в контейнерах;
- відходи, які зберігаються навалом без упаковки в заглиблених сховищах (ємності, не призначені для зберігання ТРВ);

• відходи, які зберігаються в будівлях і спорудах, які мають статус сховища. У процесі виконання робіт з видалення ВЯП і ТРВ з місць накопичення і підготовці їх до вивезення за межі об'єкта утворюються вторинні технологічні та нетехнологічні рідкі радіоактивні відходи:

- РРВ з модуля розморожування і осушки;
- низькоактивні відходи: дезактиваційні розчини і води від дезактивації обладнання, транспортних засобів і приміщень;
- душові та інші води з санпропускників;
- низькоактивні води дощової каналізації.

Труднощі у питаннях з відходами починаються ще не етапі визначення, що можна ними вважати. Найбільше суперечностей існує навколо відпрацьованого ядерного палива (ВЯП). Використати його повторно неможливо, однак існують технології переробки, які полягають у видобутку з нього урану, плутонію, продуктів розпаду тощо. Його мета – повторно використовувати цінні ресурси для нового палива. Цей процес дорогий та складний, не всі видобуті таким чином ресурси придатні до повторного використання і нині такою переробкою у великих масштабах серед європейських країн займається лише Франція.

«Країна вирішила переробляти використане паливо, яке, отже, вважається не відходами, а матеріалами. Після використання їх охолоджують, а потім відправляють на переробний завод у Ла-Газі, де вони зберігаються протягом кількох років у басейні, поки їхня радіоактивність зменшується. Потім вони переробляються: 95% відпрацьованого палива перетворюють на перероблений уран, 4% - це остаточні відходи, які не підлягають переробці, і 1% - це перероблений плутоній, який повторно використовується в ряді реакторів.» - зазначено на сайті [novethic.fr](http://novethic.fr). Також зі слів генерального директора Orano, французької компанії, що займається розробкою та виробництвом устаткування для атомної енергетики та виробництвом електроенергії з альтернативних

джерел, Ніколаса Мас: «перероблене паливо може виробляти 25% ядерної електроенергії у Франції» - [novethic.fr](http://novethic.fr).

### 2.3. Аварії на АЕС та їх екологічні наслідки

**Найбільша ядерна аварія за всю історію людства сталася в ніч з 25 на 26 квітня 1986 року.** На четвертому блоці Чорнобильської АЕС частково була зруйнована активна зона реактора. Внаслідок аварії населення Чорнобиля відчуло на собі опромінення в 90 разів більше, ніж бомба, що впала на Хіросіму. Загальна площа забруднення становить 160 тис кв км. **Аварія сталася внаслідок проведення проектних випробувань однієї з систем забезпечення безпеки.**



Дана система безпеки передбачала використання залишкової енергії обертання турбогенераторів, що зупиняються, для вироблення електроенергії в умовах двох одночасних аварійних ситуацій.

Ситуація №1 - повна втрата електропостачання АЕС, зокрема головних циркуляційних насосів і насосів системи аварійного охолодження реактора;

Ситуація №2 - максимальна проектна аварія, яка в проекті розглядається як розрив трубопроводу великого діаметра циркуляційного контура реактора.

Проектом передбачалося, що при відключенні зовнішнього електроживлення, електроенергія, що виробляється турбогенераторами за рахунок залишкового обертання, подається для запусків насосів, що входять в систему аварійного охолодження реактора. Це забезпечило б гарантоване охолодження реактора. Окрім Чорнобильської, на жодні АЕС з реакторами РВПК-1000 після введення їх в експлуатацію, подібні проектні випробування не проводилися.

**О 1 годині 23 хвилини 04 секунди** почалися випробування і чотири головні циркуляційні насоси почали працювати від залишкового обертання турбогенератора, у зв'язку з чим витрата води почала зменшуватися, а вміст пару рости. **О 1 годині 23 хвилини 43 секунди** почалося стрімке зростання потужності, після чого пролунали вибухи. Реактор було зруйновано, а з його розвалу в атмосферу поступали величезні об'єми радіоактивних речовин. На енергоблоці № 4 почалася пожежа.

**Ліквідація наслідків аварії почалася одразу у ніч аварії.** Впродовж декількох годин після руйнування 4-го енергоблока пожежним і персоналу ЧАЕС вдалося ліквідувати численні вогнища займань, що запобігло загрозі поширення пожежі на інші енергоблоки. Відразу після аварії були зупинені спочатку 3-й енергоблок, що знаходиться у одній будівлі з 4-м, а потім 1-й і 2-й енергоблоки. 27 квітня почалася засипка захисних матеріалів з гелікоптерів у розвал 4-го енергоблоку. Скинуті за неповні 2 тижні матеріали накрили центральний зал шаром завтовшки від 1 до 15 метрів, тим самим ізолювавши реактор від довкілля. Одразу ж після аварії постало питання про довгострокову консервацію 4-го енергоблоку шляхом будівництва споруди, яка б обмежила вихід радіоактивних речовин та іонізуючого опромінення за межі зруйнованого енергоблоку

## **РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Атомна енергетика є одним із найважливіших джерел електроенергії у світі, проте її розвиток супроводжується екологічними ризиками. Екологічна безпека цієї галузі передбачає мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище, контроль за радіоактивними відходами та запобігання аваріям.

Основними аспектами екологічної безпеки атомної енергетики є сучасні технології очищення радіоактивних викидів, безпечне зберігання відходів, заходи щодо запобігання аварійним ситуаціям та впровадження нових реакторних технологій, що знижують ризики забруднення. Важливу роль відіграє міжнародна співпраця у сфері ядерної безпеки, оскільки наслідки можливих аварій можуть впливати на цілі регіони.

### **3.1. Методи дослідження атомної енергетики**

Атомні реактори є основою сучасної ядерної енергетики, забезпечуючи значну частину виробництва електроенергії у багатьох країнах. Покращення екологічної безпеки атомної енергетики неможливе без вдосконалення функціонування вже існуючих ядерних реакторів. З 2017 року у світі експлуатується понад 400 енергетичних реакторів [додаток 1], що забезпечують значну частку електроенергії у багатьох країнах.

Застосування в Україні найкращого світового досвіду щодо інноваційного оновлення та будівництва нових АЕС на основі дотримання принципів технологічної, екологічної, соціальної безпеки; усунення ризиків використання ядерного циклу у військових цілях - дозволить Україні мінімізувати системні ризики та небезпеки (економічні та енергетичні, соціальні, цінові, екологічні та ін.), настання яких очікується після виведення з експлуатації всіх українських АЕС після 2035 р. [10, с 15]

**Типи діючих атомних реакторів.** Основні типи реакторів, що використовуються в атомній енергетиці:

- **водо-водяні реактори (PWR, VVER)** - найбільш поширені у світі, забезпечують високу безпеку завдяки подвійній водяній системі охолодження;
- **киплячі реактори (BWR)** - використовують однофазне кипіння води, що спрощує конструкцію, але вимагає більш ретельного контролю;
- **реактори на швидких нейтронах (FBR)** - здатні ефективно використовувати ядерне паливо та мінімізувати відходи;
- **реактори з газовим охолодженням (AGR, HTGR)** - застосовуються переважно у Великій Британії та Китаї, мають високу ефективність;
- **модульні реактори малої потужності (SMR)** - перспективний напрям, що забезпечує гнучкість і безпеку експлуатації.

Проте задля мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних із їх використанням, необхідно впроваджувати новітні технології, які підвищують надійність та безпечність їх експлуатації.

Методологія дослідження. В рамках дослідження було використано «Методологію оцінки зайнятості у секторі ядерної енергетики» (2018)<sup>8</sup>, спільно розроблену агентством з ядерної енергії Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD/NEA) та МАГАТЕ, методологію «Загальна створена вартість», що дають змогу дати оцінку загальному впливу ядерної галузі на економіку країни.

Використовуючи ці методології, в рамках дослідження було здійснено оцінку загального впливу атомної енергетики за такими показниками за 2017–2019 рр:

- чисельність персоналу на підприємствах галузі (зайнятість);
- чистий дохід від реалізації продукції;
- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи;
- загальний обсяг сплачених податків;
- обсяг сплачених екологічних податків; • витрати на придбання необоротних активів;

- обсяг капітальних інвестицій.

Відповідно до запропонованої методики для моделювання та оцінки непрямого та опосередкованого впливу атомної енергетики на розвиток України можна застосовувати різні типи мультиплікаторів. Використану в рамках дослідження методологію побудовано на детальному аналізі економічних показників ядерної енергетики в США, Франції та Кореї та узагальненні цих даних. [9, с 12]

Сучасні напрями вдосконалення включають модернізацію існуючих систем контролю, автоматизацію процесів регулювання, впровадження пасивних систем охолодження, здатних ефективно працювати навіть у разі втрати зовнішнього енергопостачання. Нові технологічні рішення спрямовані на зменшення ймовірності виникнення аварійних ситуацій, підвищення енергоефективності реакторів та зниження обсягів утворення радіоактивних відходів.

Особливу увагу варто приділяти впровадженню реакторів нового покоління, зокрема третього (EPR, AP1000) і перспективного четвертого покоління. Вони відзначаються вдосконаленими системами захисту, здатністю до ефективнішого використання ядерного палива, а також зменшеним обсягом радіоактивного забруднення в процесі експлуатації.

Дослідження та розробки науковців у сфері ядерної енергетики спрямовані на розв'язання таких проблем, як ризик аварій, важкість утилізації відходів та висока ціна. Для цього вносять зміни у принцип роботи реакторів, способи їх охолодження, здатність використовувати природний уран та випрацьовану сировину для виробництва електроенергії.

Одне з експериментальних рішень – реактор на розплавах солей із торієм. В цих реакторах основою охолоджувальної рідини є суміш розплавлених солей, яка може працювати за високих температур при низькому тиску. Також для роботи цих систем використовують уран-233, який отримують через опромінення торію<sup>232</sup>. Вважається, що доступних запасів торію приблизно втричі більше за запаси урану-238. Серед інших переваг таких реакторів є їхня підвищена

безпеку. Оскільки паливо в них перебуває в рідкому стані, то легше забезпечити природну безпеку від перегріву реактора: в цьому випадку тверда пробка в реакторі розплавляється, і паливо зливається. Конструкція цього реактору дозволяє здійснювати постійне виділення газоподібних продуктів поділу й підживлення свіжим паливом. А низький тиск у корпусі реактора робить його більш безпечним.

Отже, попри втрату інтересу до АЕС після великих аварій спочатку у Чорнобилі, а потім у Фукусімі, на фоні енергетичної кризи атомна енергетика знову стала активно розвиватися. На цьому етапі науковий пошук спрямований на те, щоб зробити атомні станції безпечнішими, дешевшими та із меншою кількістю відходів. Нині міжнародна спільнота найбільше зацікавлена у недорогих та мобільних малих модульних реакторах, й активно інвестує у цю технологію. Проте чи стане вона дійсно розповсюдженою та ефективною – покаже час.

## ВИСНОВКИ

Атомна енергетика є важливим елементом сучасної енергетичної системи, вона також створює певні екологічні виклики, такі як радіаційне забруднення та управління ядерними відходами. Для зменшення цих ризиків потрібно застосовувати сучасні технології, зокрема ефективні системи фільтрації для зменшення викидів радіоактивних газів, інноваційні методи переробки відпрацьованого палива, а також новітні матеріали і нанотехнології для очищення навколишнього середовища. Ці підходи дозволяють значно знижувати рівень радіаційного забруднення і підвищують екологічну безпеку.

Особливу увагу необхідно приділяти модернізації атомних реакторів та впровадженню нових типів, таких як малі модульні реактори (SMR) та реактори четвертого покоління. Вони дозволяють мінімізувати ризики аварій та радіоактивних викидів завдяки використанню сучасних систем пасивного охолодження та герметичних контейнерів. Проблема управління радіоактивними відходами залишається однією з найважливіших для атомної енергетики. Використання глибоких геологічних сховищ та розробка нових технологій для утилізації відходів є необхідними для зменшення екологічних загроз. Крім того, розвиток сучасних технологій для очищення від радіоактивних матеріалів і забезпечення ефективного моніторингу радіаційного забруднення дозволяє знижувати ризики для довкілля та здоров'я людей.

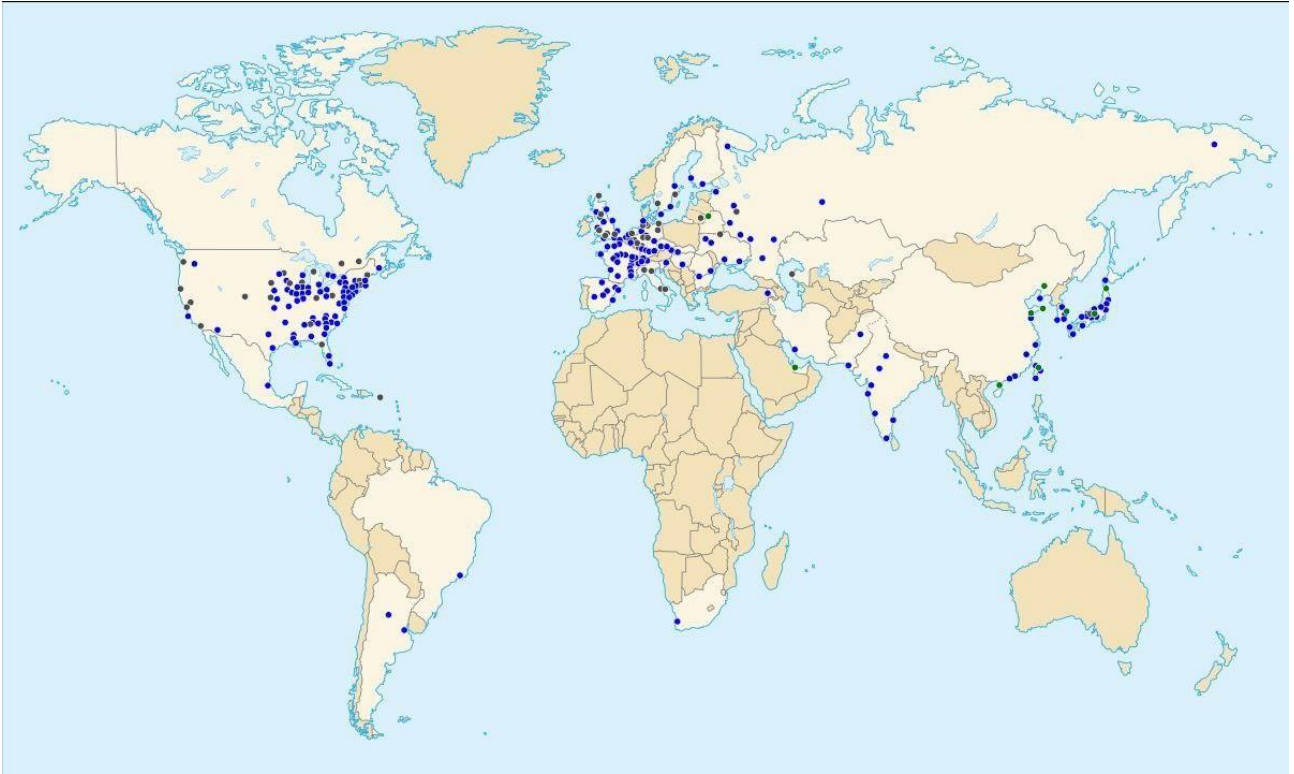
Атомна енергетика справді може вважатися безпечною, якщо дотримуватися правил і умов безпеки, застосовувати сучасні технології і забезпечувати постійну модернізацію інфраструктури. Для успішного подолання екологічних проблем у атомній енергетиці важливо також посилювати міжнародне співробітництво і дотримуватися високих стандартів безпеки. Лише за умови постійного вдосконалення технологій, безпечного поводження з відходами та активної міжнародної співпраці можна досягти стійкої та безпечної атомної енергетики, яка зможе ефективно задовольняти глобальні енергетичні потреби, знижуючи

при цьому негативний вплив на навколишнє середовище. Однак, з урахуванням глобальних енергетичних потреб і важливості зниження викидів парникових газів, розвиток атомної енергетики залишається стратегічно важливим. Щоб уникнути повторення аварій, подібних до Чорнобильської АЕС та Фукусіма-1, потрібно впроваджувати найсучасніші технології безпеки, включаючи системи аварійного захисту, резервне охолодження та більш жорсткий контроль за експлуатацією. Також важливо посилити міжнародне співробітництво в сфері ядерної безпеки та дотримуватися високих стандартів при проектуванні і експлуатації атомних установок. Успішне подолання екологічних проблем можливе лише за умови постійного вдосконалення технологій, безпечного поводження з відходами та міжнародної співпраці у сфері ядерної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

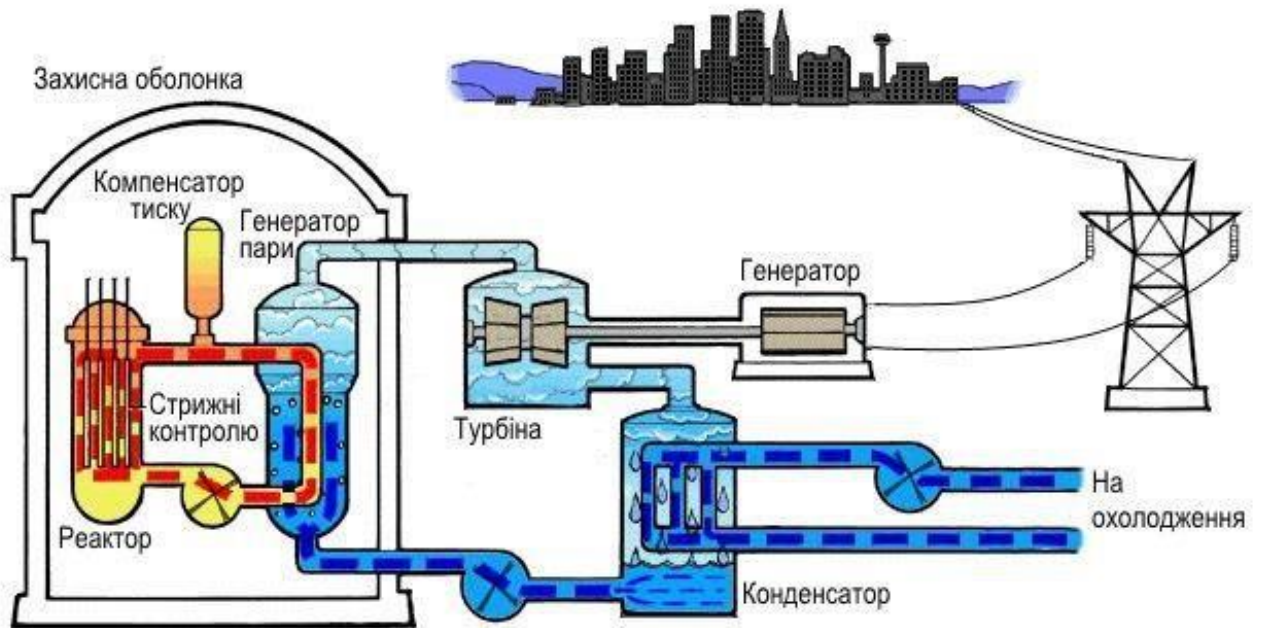
1. «Екологічна безпека - сучасні напрямки та перспективи вищої освіти», [ХНУ](#), Харків. 2021.
2. «Основи атомної енергетики» [Ольга Ощинська](#), Харків. Видавництво «Фоліо», 2021.
3. «Ядерна енергетика та управління безпекою» [Юрій Когут](#), Київ. Видавництво «Сідкон», 2024.
4. «Енергетичні війни та політика безпеки об'єктів ядерної енергетики» [Юрій Когут](#), Київ. Видавництво «Сідкон», 2023.
5. «Страшне, прекрасне та потворне в Чорнобилі» [Катерина Шаванова](#), [Олена Паренюк](#), Київ. Видавництво «Віхола», 2023.
6. «50 найдраматичніших радіаційних і ядерних подій в історії людства: причини та наслідки» [Гудков І.М.](#), [Дрозд І.П.](#), Одеса. Видавництво «Олді плюс», 2022.
7. «Атоми і попіл. Глобальна історія ядерних катастроф» [Сергій Плохій](#), Київ. Видавництво «Наш формат», 2024.
8. «Біогеоміка. Екосистеми світу в структурі біосфери» [О.О. Протасов](#), Київ. Видавництво «Академперіодика», 2017.
9. «Вплив ядерної галузі на розвиток України» [Аналітичний звіт](#), 2020.
10. «Пріоритети забезпечення безпеки розвитку ядерної енергетики: світовий досвід» [Біла С.О.](#), [Івасик О.В.](#), 2019.
11. «Технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів АЕС» [Мосійчук Р.А.](#), Суми, 2023.
12. «Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ)» та «Наукові дослідження про вплив радіації на біосферу (IAEA Radiation and Environment)» (електронний ресурс: [iaea.org](http://iaea.org));
- 13.

**ДОДАТКИ**  
**ДОДАТОК 1**



Список АЕС світу (за 2017 рік)

## ДОДАТОК 2



[Схема роботи атомного реактора](#)