

Щодо підходу з визначення та обґрунтування стратегії зняття з експлуатації ядерних установок

- **Письменний Євген Миколайович**, д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6403-6596>
- **Філатов Володимир Іванович**, канд. техн. наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3046-3546>
- **Бойко Наталія Григорівна**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8814-8290>

У найближче десятиріччя строк промислової експлуатації 12 із 15 енергоблоків АЕС України досягне 50 років. Отже, з великою вірогідністю, вони будуть зніматись з експлуатації. На початку 2021 року набув чинності нормативний документ НП 306.2.230-2020 «Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок». Цей документ містить вимоги до порядку визначення та обґрунтування стратегії зняття з експлуатації з моменту проектування ядерних установок, фактори, які необхідно використовувати для порівняння можливих варіантів зняття з експлуатації. Методика проведення багатофакторного аналізу для обґрунтування варіанта / стратегії зняття з експлуатації діючих енергоблоків з використанням тих самих факторів розроблена і застосована під час розробки концепцій їх зняття з експлуатації. Виконано аналіз, в результаті якого визначено доцільність та можливість обґрунтування варіанта зняття з експлуатації за зазначеною методикою з використанням наведених факторів. Аналіз проводився як для ядерних установок, що проєктуються, так і для установок, що знаходяться в експлуатації. Як результат надано пропозиції щодо корегування процедури і методики визначення і обґрунтування стратегії зняття з експлуатації ядерних установок. Зокрема запропоновано під час проведення багатофакторного аналізу використовувати вихідні данні, отримані під час виконання додаткових проєктних розробок, спрямованих на уточнення вартісних показників зняття з експлуатації щодо демонтажу, поводження з радіоактивними відходами та забезпечення радіаційної безпеки.

Ключові слова: визначальні фактори, методика багатофакторного аналізу, стратегія зняття з експлуатації ядерних установок.

© Письменний Є. М., Філатов В. І., Бойко Н. Г., 2023

Вступ

У найближче десятиріччя строк промислової експлуатації 12 із 15 енергоблоків АЕС України досягне 50 років. Отже, з великою вірогідністю, вони будуть зніматись з експлуатації. З огляду на вимоги до строків розробки проєкту зняття з експлуатації

енергоблока [1], питання організації та проведення підготовчої діяльності до зняття з експлуатації енергоблоків АЕС набуває все більшої актуальності.

На початку 2021 року набув чинності нормативно-правовий акт НП 306.2.230-2020 «Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок» [2], який встановлює мету та основні вимоги забезпечення ядерної та радіаційної

безпеки під час здійснення діяльності з планування, підготовки, провадження та завершення зняття з експлуатації ядерних установок (ЯУ).

Аналіз літературних даних

На відміну від раніше чинного нормативного документа, що регламентував забезпечення безпеки та здійснення діяльності зі зняття з експлуатації енергоблока АЕС [3], у НП 306.2.230-2020 [2] велика увага приділяється плануванню та підготовці до зняття з експлуатації.

У главі 2 «Планування зняття з експлуатації ЯУ» розділу IV НП 306.2.230-2020 [2] «Підготовка до зняття з експлуатації ЯУ» наведено послідовність розробки документів: «стратегія – концепція – проєкт», які визначають зміст та вимоги до підготовчої діяльності зі зняття з експлуатації ЯУ, та спрямованість дій з їх розроблення та супроводу.

Відповідно до визначень у НП 306.2.230-2020 [2], стратегія зняття з експлуатації ЯУ – документ, у якому на основі порівняльного аналізу обрано варіант зняття з експлуатації ЯУ. Концепція зняття з експлуатації ЯУ – документ, у якому визначено систематизований комплекс основних заходів з припинення експлуатації та зняття з експлуатації ЯУ, період виконання припинення експлуатації та зняття з експлуатації ЯУ, основні критерії кінцевого стану майданчика ЯУ після завершення кожної стадії зняття з експлуатації ЯУ. НП 306.2.230-2020 [2] визначає два можливих варіанта зняття з експлуатації ЯУ: відкладене та невідкладне зняття з експлуатації.

Невідкладне зняття з експлуатації поводить за допомогою демонтажу ЯУ разом з усіма джерелами іонізуючого випромінювання (ДІВ), які були накопичені під час її промислової експлуатації безпосередньо відразу після припинення експлуатації [4]. Відкладене зняття з експлуатації відрізняється від невідкладного наявністю досить довгого періоду витримки, під час якого є значне зниження активності ДІВ унаслідок їх природного розпаду.

Загальна мета розробки і прийняття стратегії зняття з експлуатації ЯУ – це здійснення обґрунтованого вибору одного з двох можливих варіантів зняття з експлуатації. У межах розробки концепції здійснюється визначення змісту повного комплексу діяльності зі зняття з експлуатації ЯУ відповідно до стратегії для вже прийнятого та затвердженого варіанта.

НП 306.2.230-2020 [2] визначає таку процедуру розробки стратегії зняття з експлуатації ЯУ, її зміст та методику її обґрунтування.

Стратегію зняття з експлуатації ЯУ розробляє експлуатуюча організація відповідно до державної політики та стратегії у сфері використання

ядерної енергії в межах планування зняття з експлуатації на етапі проєктування ЯУ. Вона може переглядатись у разі необхідності. У стратегії зняття з експлуатації на підставі порівняльного аналізу можливих варіантів визначається обраний варіант зняття з експлуатації і наводяться його основні характеристики, зокрема:

мета та основні цілі зняття з експлуатації ЯУ;

тривалість етапу зняття з експлуатації ЯУ;

тривалість і основний зміст кожної стадії зняття з експлуатації ЯУ (в разі відкладеного зняття з експлуатації);

основні критерії кінцевого стану ЯУ та майданчика ЯУ для кожної стадії;

критерії кінцевого стану майданчика ЯУ після завершення зняття з експлуатації ЯУ.

У додатку до стратегії зняття з експлуатації ЯУ наводиться порівняльний аналіз варіантів зняття з експлуатації ЯУ, виконаний з урахуванням чотирнадцяти факторів [2].

Мета статті

Метою цієї статті є:

визначення можливих обсягів виконання обґрунтування варіанта зняття з експлуатації ЯУ за допомогою порівняльного аналізу з врахуванням вимог до обґрунтування стратегії зняття з експлуатації та використання факторів, наведених в НП 306.2.230-2020 [2];

надання пропозицій щодо визначення / обґрунтування оптимального варіанта зняття з експлуатації ЯУ також для установок, що знаходяться в експлуатації.

Результати дослідження

Відповідно до Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [5] до ЯУ належать ядерні реактори різної потужності, об'єкти з виробництва ядерного палива, ядерні підкритичні установки, АЕС, підприємства і установки зі збагачення та перероблення ядерного палива, а також сховища відпрацьованого ядерного палива.

У цій статті аналіз проводиться для реакторів енергоблоків АЕС України. Це обґрунтовується їх кількістю, потужністю, наявністю потужних ДІВ та генерацією великої кількості радіоактивних відходів (РАВ) впродовж їх промислової експлуатації.

З огляду на сучасний міжнародний досвід та досвід промислової експлуатації АЕС України впливає, що строк промислової експлуатації таких ЯУ складає не менше 50 років. Ще 10-15 років може бути відведено на проєктування, будівництво та введення в експлуатацію. Отже, порівняльний аналіз варіантів зняття з експлуатації такої ЯУ

під час її проєктування повинен виконуватись на перспективу – не менше ніж 60 років.

Нижче наведені результати аналізу впливу визначених в НП 306.2.230-2020 [2] факторів під час порівняння варіантів зняття з експлуатації конкретної ЯУ на зазначену часову перспективу.

а) Вимоги з безпеки, встановлені законодавством. Загальна кількість та потужність ДІВ у разі невідкладного зняття з експлуатації буде значно більша, ніж у разі відкладеного зняття з експлуатації. Відповідно, роботи з демонтажу та поводження з РАВ потребують додаткових заходів із забезпечення безпеки відповідно до чинних на момент початку робіт законодавчих і нормативних вимог. Зі свого боку, з огляду на принцип оптимізації під час забезпечення радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту в практичній діяльності, це призведе до додаткових фінансових витрат. Вплив цього фактора може бути посилений і під час проведення робіт за варіантом відкладеного монтажу через введення більш жорстких вимог у період (не менше ніж 30 років) між початком демонтажних робіт за невідкладного та відкладеного зняття з експлуатації.

Отже, вплив вимог безпеки можна розглядати як якісний, причому забезпечення виконання вимог безпеки в кінцевому кількісному вираженні можна визначити як необхідність додаткового фінансового забезпечення.

б) Результати оцінок можливого небезпечного впливу на персонал, населення та довкілля. Під час проєктування ЯУ розробляється комплексна оцінка впливу ЯУ на персонал, населення та довкілля. Але в НП 306.2.230-2020 [2] такий етап життєвого циклу, як зняття з експлуатації, розглядається в дуже загальному вигляді. Загальний вплив цього фактора можна, за повною аналогією з попереднім, розглядати як якісний, а в кінцевому кількісному вираженні можна визначити як необхідність додаткового фінансового забезпечення.

в) Радіаційний стан ЯУ та його прогнозовані зміни з часом. Вплив цього фактора може бути визначений з використанням кількісних показників. Вихідними даними можуть бути дані міжнародного чи вітчизняного (за наявності) досвіду зняття з експлуатації аналогічних ЯУ.

г) Технічний стан ЯУ та його прогнозовані зміни з часом. Під час проєктування ЯУ апіорі приймається, що її технічний стан упродовж строку промислової експлуатації повинен відповідати вимогам безпеки та надійності, а зняття з експлуатації буде здійснюватися планово, як останній етап життєвого циклу. У цьому разі технічний стан ЯУ не повинен впливати на вибір варіанта зняття з експлуатації як визначального фактора.

д) Поводження з РАВ до їх захоронення. Варіанти зняття з експлуатації відрізняються за кількістю та активністю РАВ, що будуть виникати

під час їх реалізації. Тому вплив цього фактора може бути визначений з використанням кількісних показників. Оцінка цього впливу може базуватись на даних міжнародного чи вітчизняного (за наявності) досвіду зняття з експлуатації аналогічних ЯУ. Загальний вплив цього фактора в кінцевому кількісному вираженні можна визначити як потребу додаткового фінансового забезпечення.

е) Поводження з радіоактивними матеріалами до їх звільнення від регулюючого контролю. Зміст діяльності з поводження з радіоактивними матеріалами, яку планується здійснювати під час зняття з експлуатації енергоблока АЕС (демонтаж активованого і забрудненого обладнання і будівельних конструкцій, поводження та передача на захоронення РАВ) буде незмінним для варіантів зняття з експлуатації, що розглядаються. Відповідно, вплив зазначеного фактора на вибір варіанта зняття з експлуатації можна вважати мінімальним.

ж) Повторне використання споруд та обладнання ЯУ. Під час проєктування ЯУ цей фактор може прийматись як визначальний на принциповому декларативному рівні. Враховуючи те, що період часу з моменту початку промислової експлуатації до завершення зняття з експлуатації буде складати не менше ніж 60-70 років, навіть для варіанта невідкладного монтажу, вплив цього фактора на вибір варіанта зняття з експлуатації буде мінімальним. Рішення щодо повторного використання споруд та обладнання конкретної ЯУ може остаточно ухвалюватися під час розробки безпосередньо проєкту зняття з експлуатації на підставі проведення необхідних обстежень незалежно від того, який варіант зняття з експлуатації буде визначений оптимальним.

и) Подальше використання майданчика ЯУ. Подальше використання майданчика ЯУ може вважатись основним фактором, який вирішує вибір варіанта зняття з експлуатації, якщо рішення про це ухвалюється експлуатуючою організацією під час планування на дуже тривалу перспективу чи під час стратегічного планування на державному рівні.

В іншому разі рішення щодо подальшого використання майданчика ЯУ може ухвалюватися експлуатуючою організацією як під час експлуатації, так і на стадії припинення експлуатації ЯУ. Відповідно, вплив рішення щодо подальшого використання майданчика на визначення варіанта зняття з експлуатації під час проєктування буде декларативним і мінімальним.

к) Обсяги, види та технології виконання робіт із зняття з експлуатації ЯУ. Варіант відкладеного демонтажу відрізняється від невідкладного демонтажу додатковими роботами, що виконуються під час підготовки до витримки (консервації) та безпосередньо витримки ЯУ. Водночас обсяг і складність

демонтажних робіт у разі невідкладного монтажу значно більші і відповідно їх вартість вища. Проведення демонтажних робіт і робіт з поводження з РАВ потребує застосування передових технологій і технічних засобів, які повинні відповідати вимогам забезпечення радіаційної безпеки. Відповідно, вплив цього фактора на вибір варіанта зняття з експлуатації під час проєктування ЯУ буде незначним. Щодо застосування технологій і технічних засобів він набуде значної ваги вже у завершальний період промислової експлуатації ЯУ.

л) Кількість та кваліфікація персоналу, можливість використання знань та досвіду експлуатаційного персоналу. Роботи з демонтажу обладнання ЯУ потребують значної кількості спеціально підготовленого кваліфікованого персоналу. Досвід експлуатаційного персоналу дещо більшою мірою може бути застосований під час реалізації першої стадії варіанта відкладеного демонтажу чи підготовчої стадії варіанта невідкладеного демонтажу. Водночас, кількість персоналу, що буде залучений до робіт на стадії витримки, буде значно менша, ніж на попередній підготовчій стадії. Тому цей фактор не може бути використаний як вирішальний для визначення і обґрунтування варіанта зняття з експлуатації під час проєктування ЯУ.

м) Фінансове забезпечення. Фінансове забезпечення є одним з вирішальних факторів у виборі варіанта зняття з експлуатації. За його врахування під час ухвалення відповідного рішення до уваги необхідно брати загальну величину потрібних коштів, яка повинна визначатись для факторів «и» і «д» з урахуванням факторів «а» і «б». Також необхідно враховувати динаміку витрачання коштів під час реалізації всього етапу зняття з експлуатації та прогноз наявності фінансових коштів на момент початку робіт.

н) Вітчизняний та закордонний досвід зняття з експлуатації подібних ЯУ. Вітчизняний, а особливо закордонний досвід, зняття з експлуатації подібних ЯУ з урахування досвіду поводження з РАВ до їх захоронення повинен обов'язково братись до уваги для визначення варіанта зняття з експлуатації. Водночас під час проведення відповідного аналізу необхідно розробити конкретні критерії порівняння, які враховують особливості прикладів міжнародного досвіду, що будуть розглядатись.

п) Соціальні чинники. Під час проєктування ЯУ цей фактор може також братись до уваги на декларативному рівні з урахуванням попередньо визначеного переліку конкретних соціальних чинників.

р) Протипожежний стан ЯУ та його прогнозовані зміни з часом. Якщо розглядати як ЯУ енергоблок АЕС, то його протипожежний стан на етапі життєвого циклу зняття з експлуатації буде більш безпечний, ніж на етапі промислової експлуатації. Відповідно до [6], ще на стадіях припинення експлуатації енергоблок повинен бути звільнений

від потенційно небезпечних речовин, використання яких надалі не передбачається. До цих речовин насамперед належать вибухонебезпечні та горючі речовини. Підходи із забезпечення протипожежного стану ЯУ можна розглядати як підходи до забезпечення протипожежного стану сховища РАВ чи промислового об'єкта, що знаходиться в стані демонтажу. Водночас протипожежний стан ЯУ буде незмінним упродовж всього етапу зняття з експлуатації, а вплив зазначеного фактора на вибір варіанта зняття з експлуатації можна вважати мінімальним.

Отже, зважаючи на вище наведений аналіз зазначених в НП 306.2.230-2020 [2] факторів, можна зробити висновок, що для визначення та обґрунтування зняття з експлуатації ЯУ на етапі її проєктування треба враховувати найбільш вагомий вплив таких факторів:

потрібна величина витрат визначена для факторів «и» і «д» з урахуванням факторів «а» і «б»;

прогноз наявності фінансових коштів на момент початку робіт;

плани щодо використання майданчика ЯУ;

інформація щодо досвіду зняття з експлуатації подібних ЯУ.

Цей висновок підтверджується рекомендаціями щодо врахування факторів для визначення стратегії зняття з експлуатації ЯУ, наведених у [7].

Стратегія зняття з експлуатації діючих енергоблоків АЕС України наведена в Концепції зняття з експлуатації АЕС України [6], а також окремих аналогічних документах, розроблених для кожної АЕС. Ця стратегія визначена і обґрунтована з використанням методу багатофакторного аналізу, методика виконання якого наведена у [8].

Відповідно до [8] визначення оптимального варіанта, на основі якого буде прийнята стратегія зняття з експлуатації ЯУ, повинно здійснюватися збалансованим врахуванням тих самих факторів, які наведені в НП 306.2.230-2020 [2], за винятком фактора, який визначає протипожежний стан ЯУ. Водночас прийнято ключову передумову, що вартість обладнання, матеріалів, працевитрат та виконання аналогічних робіт і заходів з радіаційного захисту персоналу, населення та довкілля ідентичні для обох варіантів.

Основним видом робіт під час зняття з експлуатації енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР є підготовка та проведення демонтажу активованої / забрудненої частини та поводження з РАВ, що виникнуть під час виконання цих робіт, з метою підготовки цих відходів до захоронення. Складність демонтажних робіт у разі невідкладеного демонтажу значно більша, ніж для відкладеного за однакового обсягу робіт. Обсяг ДІВ, які є на енергоблоці, та рівень їх активності у разі відкладеного демонтажу суттєво знизиться, порівняно з величинами, які були на момент остаточної зупин-

ки, що призведе до зменшення обсягу РАВ. Тому прийнята ключова передумова є помилковою.

Методика проведення багатофакторного аналізу наведена у [8] (додаток А). В тому ж самому додатку розміщений приклад проведення багатофакторного аналізу і результати порівняння варіантів негайного і відкладеного демонтажу. Розгляд наведеного прикладу дозволяє виділити 4 послідовних етапи проведення багатофакторного аналізу:

1. Визначаються критерії (фактори) порівняння, що призначені для подальшого застосування в порівнянні варіантів. Одночасно здійснюється врахування впливу на кожний визначений критерій усіх основних факторів «а» – «п».

2. Виконується розподіл критеріїв (факторів) на чотири відносно незалежні групи показників: фінансово-економічні, організаційно-технічні, показники негативного впливу на персонал, населення і довкілля та соціально-психологічні показники.

3. Проводиться експертна оцінка кожної групи факторів. Причому сумарна вага трьох перших груп береться рівною 3, а останньої – рівною 1. Для кожного критерію / фактора в межах групи визначається ваговий фактор. Фактори, які розглядаються й оцінка яких однакова для обох варіантів зняття з експлуатації, усуваються з подальшого врахування.

4. На останньому етапі виконується порівняння варіантів зняття з експлуатації визначенням загальної суми вагових показників за всіма факторами, з урахування рівня придатності, який необхідно додатково визначити для кожного критерію.

Отже, результатом трьох перших етапів багатофакторного аналізу є визначення критеріїв (факторів) порівняння та їхніх вагових показників з урахуванням впливу раніш визначених факторів «а» – «п». Методика врахування цих факторів та безпосередній аналіз саме їхнього впливу в [7] відсутні.

Завершальний етап являє собою порівняння варіантів зняття з експлуатації за сумою вагових показників критеріїв (факторів) з урахуванням їх рівня придатності. Конкретні рекомендації, вимоги до визначення та обґрунтування рівнів придатності вагових факторів у [8] також відсутні.

Для енергоблоків АЕС, що знаходяться на завершальній стадії етапу промислової експлуатації, наведена у [8] методика повинна бути практично повністю перероблена з урахуванням особливостей енергоблоків АЕС з реакторами ВВЕР. Причому за основу потрібно брати основну мету зняття з експлуатації енергоблока АЕС – досягнення повного або обмеженого звільнення майданчика ЯУ від регулюючого контролю. Загальною метою безпеки під час зняття з експлуатації ЯУ є захист персоналу, населення та майбутніх поколінь людей і довкілля від можливих негативних впливів діяльності зі зняття з експлуатації ЯУ.

Досягнення цих цілей можливе завдяки реалізації необхідного обсягу технічних заходів з демонтажу забрудненого обладнання та будівельних конструкцій, під час виконання яких відбуватиметься прямий контакт персоналу з ДІВ і вірогідний вплив цих джерел на населення та довкілля. Відповідно, потрібне проведення організаційних та технічних заходів, які б забезпечили досягнення цілей зняття з експлуатації.

Обсяг цих заходів прямо залежить від кількості активованих і забруднених елементів, що підлягають демонтажу, переведенню в стан РАВ і захороненню. Враховуючи те, що обсяг і складність зазначених заходів впливають на витрати їхньої реалізації, одним з основних факторів, який впливає на обґрунтування оптимального варіанта і, відповідно, вибір стратегії зняття з експлуатації, буде вартість робіт, а також наявність фінансування, пов'язане з графіком робіт.

Методика проведення аналізу, спрямованого на обґрунтування стратегії зняття з експлуатації ЯУ, що знаходяться на майданчиках АЕС України, повинна враховувати такі проєктні особливості енергоблоків з реакторами ВВЕР:

1) як ЯУ розглядається саме енергоблок та його допоміжні системи;

2) спецкорпус необхідно розглядати як окрему споруду. Оскільки він забезпечує роботу всіх енергоблоків які знаходяться на майданчику, то буде зніматися з експлуатації в останню чергу;

3) практично весь обсяг ДІВ знаходиться в межах герметичної оболонки у вигляді металевих компонентів реактора, обладнання і трубопроводів першого контуру і допоміжних систем та елементів будівельних конструкцій;

4) для організації витримки ДІВ під наглядом можуть бути організовані два фізичні бар'єри між ДІВ і персоналом, населенням та довкіллям. Внутрішній вплив на ці бар'єри (температура, тиск) практично унеможливлений;

5) максимальний обсяг ДІВ буде в момент остаточної зупинки енергоблока, далі цей обсяг зменшуватиметься завдяки природньому розпаду (в 14-16 разів за 30 років [6]);

6) витрати на технології і технічні засоби для проведення демонтажу та поводження з РАВ у разі відкладеного демонтажу значно менші ніж аналогічні у разі невідкладного демонтажу. Це значною мірою компенсує додаткові витрати, які будуть під час забезпечення обслуговування герметизованої частини енергоблока на етапі витримки;

7) у разі варіанта невідкладного демонтажу буде значно більша кількість РАВ усіх видів, які буде необхідно переробити та передати на захоронення впродовж 10-15 років після остаточної зупинки. Водночас необхідно враховувати те, що одночасно треба буде переробити ще експлуатаційні РАВ, які були на майданчику енергоблока. Витрачання фі-

нансових коштів на проведення зняття з експлуатації буде необхідно здійснювати також упродовж 10-15 років з моменту остаточної зупинки.

Висновки

1. Вибір та обґрунтування варіанта і стратегії зняття з експлуатації ЯУ на стадії проектування доцільно проводити за спрощеною процедурою відповідно до державної політики та стратегії у сфері використання ядерної енергії з урахування фінансових показників, планів з використання майданчика ЯУ та інформації щодо досвіду зняття з експлуатації подібних ЯУ.

2. Перегляд стратегії зняття з експлуатації ЯУ повинен виконуватись разом з переглядом концепції зняття з експлуатації ЯУ у строки, визначені експлуатуючою організацією з додатковим урахуванням факторів, наведених в НП 306.2.230-2020 [2], у разі якщо вони набули актуальності.

3. Останній перегляд і остаточне обґрунтування стратегії зняття з експлуатації за методикою багатофакторного аналізу повинні проводитись на завершальному етапі промислової експлуатації ЯУ за десять років до строку остаточної зупинки.

4. Методика проведення багатофакторного аналізу, який повинен проводитись для визначення та обґрунтування стратегії зняття з експлуатації енергоблоків АЕС України, що знаходяться на завершальному етапі промислової експлуатації, повинна бути корінним чином перероблена. З огляду на це необхідно розробити та навести:

методику визначення критеріїв порівняння та визначення / оцінки впливу на ці критерії факторів, наведених в НП 306.2.230-2020 [2];
методику та/або визначення / обґрунтування вагових факторів;

методику та/або визначення / обґрунтування рівнів придатності вагових факторів.

5. Проведення багатофакторного аналізу повинно базуватись на вихідних даних, отриманих під час виконання додаткових проектних розробок, спрямованих на уточнення вартісних показників зняття з експлуатації щодо демонтажу, поводження з РАВ та забезпечення радіаційної безпеки.

Список використаної літератури

1. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. Затверджено наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25.01.2008 за № 56/14747.

2. НП 306.2.230-2020. Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок. Затверджено наказом Держатомрегулювання від 28.10.2020 № 440, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30.12.2020 № 1311/35594.

3. НП 306.2.02/1.004-98. Загальні положення забезпечення безпеки при знятті з експлуатації атомних електростанцій та дослідницьких ядерних реакторів. Затверджено наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 09.01.1998 № 2, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23.01.1998 за № 47/2487.

4. Decommissioning of Facilities. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6. Vienna: IAEA, 2014. 23 p.

5. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 08.02.1995 № 39/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text>.

6. Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій. Затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 10.12.2015 № 798.

7. Selection of Decommissioning Strategies: Issues and Factors. IAEA-TECDOC-1478. Vienna: IAEA, 2005. 52 p.

8. СОУ НАЕК 015:2012. Снятие с эксплуатации. Требования к содержанию концепции снятия с эксплуатации АЭС. К: ДП «НАЕК «Енергоатом», 2012. 28 с.

References

1. NP 306.2.141-2008. General safety provisions for nuclear power plants. Approved by SNRCU Order No. 162 of 19 November 2007, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 25 January 2008 under No. 56/14747. Kyiv, State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, 2008, 57 p.

2. NP 306.2.230-2020. General safety provisions for decommissioning of nuclear installations. Approved by SNRIU Order No. 440 of 28 October 2020, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 30 December 2020 under No. 1311/35594.

3. NP 306.2.02/1.004-98. General safety provisions for decommissioning of nuclear power plants and research nuclear reactors. Approved by Order of the Ministry of Environment Protection and Radiation Safety of Ukraine No. 2 of 9 January 1998, registered in the Ministry of Justice on 23 January 1998, Kyiv, 32 p.

4. Decommissioning of facilities. IAEA Safety Standards Series, General Safety Requirements No. GSR Part 6, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2014.

5. Law of Ukraine "On nuclear energy use and radiation safety" No. 39/95-BP of 8 February 1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text>.

6. The concept of decommissioning for existing nuclear power plants. Approved by Order of the Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine No. 798 of 10 December 2015 (in force since 1 January 2016).

7. Selection of decommissioning strategies: issues and factors. IAEA-TECDOC-1478. Vienna: IAEA, 2005. 52 p.

8. SOU NAEK 015:2012. Decommissioning. Requirements for the content of the NPP decommissioning concept. Kyiv, NNEGC Energoatom, 2012, 28 p.

Regarding the Approach to Determining and Justifying the Decommissioning Strategy for Nuclear Installations

Yu. Pysmennyy, V. Filatov, N. Boyko

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

In the next decade, the period of industrial operation for 12 out of 15 power units of Ukrainian nuclear power plants will reach 50 years. So, with a high probability, they will be decommissioned. At the beginning of 2021, regulatory document "General Safety Provisions for Decommissioning of Nuclear Installations" (NP 306.2.230-2020) entered into force. The mentioned document contains

requirements for the procedure for determining and justifying the decommissioning strategy from the moment nuclear installations are designed and identifies factors that should be used to compare possible decommissioning options. The methodology of the multifactorial analysis for justification of the decommissioning option/strategy for operating power units using the same factors was developed and applied in the development of their decommissioning concepts. An analysis was performed, as a result of which the expediency and possibility of justifying the decommissioning option according to the mentioned methodology using the mentioned factors were determined. The analysis was carried out both for nuclear installations under design and for installations in operation. As a result, proposals were made to correct the procedure and methodology for determining and justifying the decommissioning strategy for nuclear installations. It is suggested to use the initial data obtained during additional project developments aimed at clarifying decommissioning cost indicators in terms of dismantling, radioactive waste management and radiation safety during the multifactorial analysis.

Keywords: decommissioning strategy of nuclear installations, method of multifactorial analysis, determining factors.

Отримано 06.10.2022