

# Термінологічні аспекти опису стратегій зняття з експлуатації АЕС

- **Малиновська Юлія Геннадіївна**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4140-5659>
- **Єсипенко Юлія Василівна**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2272-8716>
- **Петренко Олег Вікторович**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8755-1184>
- **Ковальчук Вікторія Юріївна**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0599-8247>
- **Ведь Оксана Анатоліївна**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1784-2429>

У статті наведено термінологічний розгляд стратегій та стадій зняття з експлуатації ядерних установок. Актуальність робіт за цим напрямом зумовлена важливістю питань підготовки до безпечного зняття з експлуатації діючих ядерних установок як в Україні, так і в усьому світі, а також необхідністю забезпечення однозначного розуміння спеціалістами концепцій, стратегій та стадій зняття з експлуатації ядерних установок. Розгляд виконано порівнянням визначень та описів, наведених у нормативному акті «Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок», який набув чинності 15 січня 2021 року, та в низці публікацій МАГАТЕ й нормативних документах КЯР США з питань зняття з експлуатації.

Найбільш поширеними стратегіями зняття з експлуатації ядерних установок є невідкладний демонтаж (immediate dismantling) та відкладений демонтаж (deferred dismantling). Концепція «захоронення на місці» або «могильник» (entombment) не набула поширення й розглядалася як третій варіант зняття з експлуатації в більш ранніх публікаціях МАГАТЕ та присутня в нормативних документах КЯР США, але, відповідно до рекомендацій МАГАТЕ, наразі не вважається допустимим варіантом у разі запланованого остаточного зупину та може розглядатися як можливе рішення у виняткових обставинах (наприклад, важка аварія).

Варіант відкладеного зняття з експлуатації ядерних установок описаний у документі «Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок» із розподілом на окремі стадії: консервація, витримка, демонтаж. У публікаціях МАГАТЕ та нормативних документах КЯР США ці стадії охоплені загальним описом стратегії (deferred dismantling, safe enclosure, SAFSTOR) та потребують подальших термінологічних досліджень за консультуванням зі спеціалістами за цим напрямом.

Ключові слова: АЕС, безпека, відкладений демонтаж, зняття з експлуатації, невідкладний демонтаж, нормативні документи КЯР США, публікації МАГАТЕ, стадії зняття з експлуатації.

© Малиновська Ю. Г., Єсипенко Ю. В., Петренко О. В., Ковальчук В. Ю., Ведь О. А., 2022

Питання підготовки до безпечного зняття з експлуатації діючих ядерних установок є актуальним як для України, так і для всього світу. За даними Всесвітньої ядерної асоціації (World Nuclear Association), нині в усьому світі припинено експлуатацію більш ніж 115 промислових енергетичних реакторів, 48 експериментальних реакторів та 250 дослідницьких реакторів. У країнах Європи знаходиться 150 зупинених ядерних установок, процес зняття з експлуатації яких вже розпочався або незабаром має розпочатися [1].

В Україні експлуатується 15 енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) з водо-водяними енергетичними реакторами (ВВЕР), які були запроєктовані (а більшість й збудована) ще за радянських часів, з проектним строком служби 30 років. Станом на 1 червня 2022 року Державною інспекцією ядерного регулювання України (Держатомрегулювання) прийнято рішення про довгострокову експлуатацію 12-ти з 15-ти діючих енергоблоків АЕС [2], утім, зрештою набуде актуальності питання їхнього закриття та зняття з експлуатації.

Окремим аспектом, що набуває важливості з підвищенням в галузі уваги до питань зі зняття з експлуатації ядерних установок та напрацюваннями з планування та підготовки до цього складного й тривалого процесу, зокрема в межах проєктів з обміну досвідом та спільних розробок спеціалістами різних країн за цим напрямом, є однозначне розуміння концепцій, стратегій та стадій зняття з експлуатації ядерних установок, а також термінології, що використовується для їхнього опису на міжнародному рівні.

У статті виконано термінологічний розгляд стратегій (варіантів) та стадій зняття з експлуатації ядерних установок порівнянням визначень та положень, наведених у нормативному акті «Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок» [3], публікаціях Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) [4]-[8] та нормативних документах Комісії ядерного регулювання США (КЯР США) [9], [10].

«Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок» [3], розроблені й затверджені Держатомрегулюванням в 2020 році, набули чинності 15 січня 2021 року [11]. Документ містить основні вимоги до забезпечення ядерної та радіаційної безпеки під час планування, підготовки, провадження та завершення діяльності зі зняття з експлуатації ядерних установок [3].

Відповідно до нормативного акта [3], зняття з експлуатації ядерної установки може здійснюватися за двома варіантами: відкладене зняття з експлуатації та невідкладне зняття з експлуатації. У разі відкладеного зняття з експлуатації ядерної установки, реалізуються такі стадії: консервація, витримка, демонтаж [3].

Основною метою стадії консервації ядерної установки є приведення установки до стану, за якого забезпечується безпечне зберігання радіоактивних матеріалів у межах і протягом строку, визначених у проєкті зняття з експлуатації ядерної установки. З-поміж основних технічних заходів на стадії консервації ядерної установки можна виділити демонтаж споруд, систем та обладнання, які не впливають на безпеку і подальше використання яких не передбачається; збереження, укріплення та створення нових фізичних бар'єрів для запобігання поширенню радіоактивних речовин за встановлені межі; поводження з накопиченими та утворюваними радіоактивними матеріалами (включно з радіоактивними відходами); виконання оцінок безпеки [3].

Основною метою стадії витримки ядерної установки є суттєве зменшення активності радіонуклідів на законсервованій у визначених межах ядерної установки внаслідок їх природного розпаду. З-поміж основних технічних заходів на стадії витримки ядерної установки можна виділити експлуатацію сукупності споруд, систем та обладнання для забезпечення безпечного зберігання радіоактивних матеріалів на законсервованій ядерній установці та її підтримки в безпечному стані; періодичні інженерні й радіаційні обстеження і контроль стану законсервованої установки; поводження з накопиченими та утворюваними радіоактивними матеріалами (включно з радіоактивними відходами); виконання оцінок безпеки [3].

Основною метою стадії демонтажу ядерної установки є вилучення з ядерної установки радіоактивних матеріалів і подальше поводження з ними. З-поміж основних технічних заходів на стадії демонтажу ядерної установки можна виділити демонтаж споруд, систем та обладнання ядерної установки; поводження з накопиченими й утворюваними радіоактивними матеріалами (включно з радіоактивними відходами); експлуатацію споруд, систем та обладнання ядерної установки для її підтримки у безпечному стані; радіаційні обстеження складових установки, які не підлягають демонтажу, і майданчика установки [3].

У вимогах безпеки МАГАТЕ «Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material» (Зняття з експлуатації установок з радіоактивними матеріалами) від 2006 року [4] визначені три стратегії зняття з експлуатації ядерних установок: невідкладний демонтаж (immediate dismantling), відкладений демонтаж (deferred dismantling), ізоляція (entombment).

У загальних вимогах безпеки МАГАТЕ «Decommissioning of Facilities. GRS Part 6» (Виведення установок з експлуатації) [5], впроваджених в 2015 році на заміну [4], визначені дві прийнятні стратегії зняття з експлуатації ядерних установок, а саме: невідкладний демонтаж (immediate dismantling) та відкладений демонтаж (deferred

dismantling). Концепція «entombment» в публікації [5] вже не вважається допустимим варіантом у разі запланованого остаточного зупину та перекладається терміном «захоронення» на відміну від «ізоляції» в документі [4].

Невідкладний демонтаж (immediate dismantling) є стратегією, за якою обладнання, конструкції та частини установки, що містять радіоактивний матеріал, вивозяться та/або дезактивуються до рівня, за якого установка може бути звільнена від регуляторного контролю для необмеженого використання або використання в майбутньому з обмеженнями [5].

Відкладений демонтаж (deferred dismantling) є стратегією, за якою після видалення ядерного палива вся установка або її частина, що містить радіоактивний матеріал або обробляється, або поміщається в умови, які забезпечують безпечно зберігання (safe storage), а установка обслуговується доти, доки не буде зрештою дезактивована та/або демонтована [5].

У керівництві з безпеки МАГАТЕ «Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors» (Зняття з експлуатації атомних електростанцій і дослідницьких реакторів) від 1999 року [6] варіанти зняття з експлуатації передбачають невідкладний демонтаж (immediate dismantling), проміжний варіант (safe enclosure) – водночас вказується, що варіант «safe enclosure» відомий як відкладений демонтаж (deferred dismantling), та захоронення на місці (disposal in situ). Термін «safe enclosure» перекладається в [6] описово як «стан локалізації, що забезпечує безпеку», а термін «disposal in situ» в подальших публікаціях МАГАТЕ замінено на «entombment».

Визначення терміну «safe enclosure» наводиться в конкретному керівництві з безпеки МАГАТЕ «Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities» (Зняття з експлуатації атомних електростанцій, дослідницьких реакторів та інших установок ядерного паливного циклу) [7], виданому в 2018 році на заміну [6]: «safe enclosure» означає період під час реалізації стратегії відкладеного демонтажу, протягом якого установка знаходиться та підтримується в умовах безпечного довготривалого зберігання (safe long-term storage) до виконання операцій з дезактивації та демонтажу [7].

У публікації [7] визначається застосовність саме двох стратегій зняття з експлуатації (невідкладний демонтаж (immediate dismantling) та відкладений демонтаж (deferred dismantling)) із посиланням на їхнє визначення в документі [5], а також зазначається, що «entombment» («могильник», «укриття», «захоронення на місці») не може вважатися прийнятною стратегією під час запланованого зняття з експлуатації. В публікації [7] також зазначено таке: період часу для робіт зі зняття з експлуатації

зазвичай варіює від кількох місяців для невеликих об'єктів, які підлягають невідкладному демонтажу (immediate dismantling), до десятиліть для великих і складних об'єктів із використанням стратегії відкладеного демонтажу (deferred dismantling) (наприклад, для забезпечення радіоактивного розпаду). Отже, визначення стратегії відкладеного демонтажу (deferred dismantling) визначають, але не розділяють, такі складові (стадії), зазначені в [3], як консервація та витримка, а термін «safe enclosure» охоплює ці обидві стадії.

У публікації з серії видань з ядерної енергії МАГАТЕ «Lessons Learned from the Deferred Dismantling of Nuclear Facilities» (Досвід, набутий під час відкладеного демонтажу ядерних установок) [8], виданій у 2018 році, згадуються два типи відкладеного демонтажу (deferred dismantling) – активний (active) та пасивний (passive), що являють собою два граничні варіанти, об'єднані однією метою – приведення установки до стану з мінімальним ризиком для людей та навколишнього середовища й підтримання цього стану протягом десятиліть. Також у публікації [8] зазначаються різні підрівні стратегії відкладеного демонтажу (SAFSTOR), що відрізняються залежно від виду діяльності та обсягу необхідного контролю (наприклад: «custodial SAFSTOR», «passive SAFSTOR», «hardened SAFSTOR»), дозволені КЯР США для АЕС.

У документі КЯР США NUREG-0586 [9] наводиться детальний опис варіантів зняття з експлуатації в США, зазначених під скороченими назвами «DECON», «SAFSTOR» та «ENTOMB». Водночас зазначено [9], що вибір стратегії залишається на розсуд ліцензіата, за умови виконання вимог КЯР США під час її реалізації.

У документі «КЯР США Регулююче керівництво 1.184» [10], який містить настанови для ліцензіатів КЯР США щодо здійснення діяльності зі зняття з експлуатації ядерних енергетичних реакторів, наведено стислий опис трьох вищевказаних стратегій зняття з експлуатації із посиланням на NUREG-0586 [9]: DECON, SAFSTOR та ENTOMB [10].

Відповідно до стратегії «DECON», обладнання, конструкції та частини установки, що містять радіоактивне забруднення, видаляються або дезактивуються до рівня, який дозволяє припинити дію ліцензії незабаром після припинення експлуатації [10].

Відповідно до стратегії «SAFSTOR», установка переводиться в безпечний стабільний стан і підтримується в цьому стані до здійснення робіт з дезактивації та демонтажу до рівнів, які дозволяють припинити дію ліцензії. Для реалізації «SAFSTOR» паливо видаляється з корпусу реактора, а радіоактивні рідини зливаються з систем та обробляються. Протягом періоду «SAFSTOR» відбувається радіоактивний розпад, який приводить до зниження рівня радіоактивності [10].

Відповідно до стратегії «ENTOMB», радіоактивні конструкції, системи та елементи розміщуються в такому конструкційно міцному матеріалі, як бетон. Установка обслуговується та контролюється, доки радіоактивність не знизиться до рівня, який дозволить припинити дію ліцензії [10].

Отже, з урахуванням прийняття варіанта відкладеного демонтажу для АЕС України, доцільним є більш поглиблене вивчення досвіду застосування й типів та підрівнів цієї стратегії (safe enclosure, safe storage, SAFSTOR), описаних у публікаціях МАГАТЕ [4]-[8] та нормативних документах КЯР США [9], [10], для встановлення термінологічної однозначності та порозуміння між спеціалістами на міжнародному рівні.

## Висновки

У статті виконано термінологічний розгляд стратегій зняття з експлуатації ядерних установок з використанням положень нормативного акта «Загальні положення безпеки зняття з експлуатації ядерних установок» [3], який набув чинності 15 січня 2021, та низки публікацій МАГАТЕ [5]-[9] й нормативних документів КЯР США [10], [11].

За результатами розгляду визначено, що невідкладний демонтаж (immediate dismantling) та відкладений демонтаж (deferred dismantling) розглядаються як найбільш прийнятні стратегії зняття з експлуатації ядерних установок. Водночас концепція «могильник» (entombment) розглядалася як один з варіантів зняття з експлуатації в більш ранніх публікаціях МАГАТЕ [6] й наразі присутня в нормативних документах КЯР США [10], [11], проте вважається непринятною для більшості країн і може застосовуватися лише в виняткових випадках.

Згідно з документом [3], варіант відкладеного зняття з експлуатації розподіляється на три стадії: консервація, витримка, демонтаж. У публікаціях МАГАТЕ [5]-[9] та нормативних документах КЯР США [10], [11] розподіл на перші дві стадії, охоплені загальним терміном «safe enclosure» або «safe storage», відсутній. У разі необхідності розмежування двох стадій, варіант «safe enclosure» є більш прийнятним для позначення стадії «консервація», а для стадії «витримка» можна запропонувати варіант «decay storage».

З огляду на вищезазначене, є необхідність більш детального термінологічного дослідження стратегії відкладеного демонтажу (deferred dismantling, safe enclosure, safe storage, SAFSTOR) та аналізу типів та підрівнів цього варіанта (наприклад, активний та пасивний відкладений демонтаж, а також підрівні стратегії «SAFSTOR», як-то: «custodial SAFSTOR», «passive SAFSTOR», «hardened SAFSTOR») для забезпечення однозначного розуміння термінологічних понять в цій сфері.

## Список використаної літератури

1. Decommissioning Nuclear Facilities. *World Nuclear Association*. URL: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities>.
2. Національна доповідь про виконання зобов'язань України відповідно до Конвенції про ядерну безпеку. Київ, 2022.
3. 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.
4. Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material. IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5. Vienna : IAEA, 2006. 25 p.
5. Decommissioning of Facilities. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6. Vienna : IAEA, 2014. 23 p.
6. Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors. IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1. Vienna : IAEA, 1999. 41 p.
7. Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities. IAEA Safety Standards Series No. SSG-47. Vienna : IAEA, 2018. 99 p.
8. Lessons Learned from the Deferred Dismantling of Nuclear Facilities. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.11. Vienna : IAEA, 2018. 116 p.
9. Generic Environmental Impact Statement on Decommissioning of Nuclear Facilities (NUREG-0586) : Final Report. Supplement 1. Washington : U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2002.
10. Regulatory Guide 1.184. Decommissioning of Nuclear Power Reactors. Washington : U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2013.
11. Почали діяти нові вимоги до зняття з експлуатації ядерних установок. *Uatom.org*. URL: <https://www.uatom.org/2021/01/22/pochali-diyati-novi-vimogi-do-znyattya-z-ekspluatatsiyi-yadernih-ustanovok.html>.

## References

1. World Nuclear Association (2022). *Decommissioning Nuclear Facilities*, Retrieved from: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities>.
2. National Report on Compliance of Ukraine with Obligations under the Convention on Nuclear Safety, Kyiv (2022).
3. NP 306.2.230-2020. General Safety Provisions for Decommissioning of Nuclear Facilities. Approved by SNRIU Order No. 440 dated 28 October 2020 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 30 December 2020 by No. 1311/35594.



4. Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series, Safety Requirements No. WS-R-5, Safety Requirements, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006.

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

6. Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide No. WS-G-2.1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1999.

7. Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA Safety Standards Series, Specific Safety Guide No. SSG-47, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2018.

8. Lessons Learned from the Deferred Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.11, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2018.

9. Generic Environmental Impact Statement on Decommissioning of Nuclear Facilities. NUREG-0586. Supplement 1. Final Report, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, 2002.

10. Regulatory Guide 1.184. Decommissioning of Nuclear Power Reactors. United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, 2013.

11. Uatom.org (2021). *New requirements for the decommissioning of nuclear facilities have come into force.* Retrieved from: <https://www.uatom.org/2021/01/22/pochalidiyati-novi-vimogi-do-znyattya-z-ekspluatatsiyi-yadernih-ustanovok.html>.

Facilities”, enforced on 15 January 2021, and in a series of IAEA publications and US NRC regulatory guidance focusing on the decommissioning of nuclear facilities.

Immediate dismantling and deferred dismantling are most acceptable decommissioning strategies for nuclear facilities. The entombment concept did not find wide application and was regarded as the third option in earlier IAEA publications and is present in US NRC regulations. However, in accordance with IAEA recommendations, entombment is not currently considered an acceptable option in the event of planned permanent shutdown and can be a solution only in exceptional cases (for example, a severe accident).

The deferred decommissioning option is described in the Ukrainian regulation “General Safety Provisions for Decommissioning of Nuclear Facilities” with division into three separate stages. The IAEA publications and US NRC regulations cover these stages implicitly by general description of the strategy (deferred dismantling, safe enclosure, or SAFSTOR), and further terminological studies are needed upon consultation with the experts in the area.

Keywords: decommissioning stages, deferred dismantling, IAEA publications, immediate dismantling, NPP decommissioning, safety, US NRC regulations.

Отримано 26.07.2022

## Terminological Aspects in the Description of Decommissioning Strategies for Nuclear Power Plants

**Yu. Malynovska, Yu. Yesypenko, O. Petrenko, V. Kovalchuk, O. Ved**

State Enterprise “State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation Safety”, Kyiv, Ukraine

The paper presents terminological review of decommissioning strategies and stages for nuclear facilities. The relevance of activities in this area is determined by the importance of proper arrangements to ensure safe decommissioning of nuclear facilities both in Ukraine and worldwide and by the need to promote unique and unambiguous understanding of the decommissioning concepts, strategies, and stages. The review was carried out through comparison of definitions and descriptions provided in the Ukrainian regulation “General Safety Provisions for Decommissioning of Nuclear