

# ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

## ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

УДК 621.43.056

В.І. Філатов, канд. техн. наук, ст. викл., ORCID 0000-0002-3046-3546

С.М. Поліщук, студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### ДЕМОНТАЖНІ РОБОТИ ПРИ ЗНЯТТІ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ З РЕАКТОРОМ ТИПУ ВВЕР

*Стаття присвячена процесу зняття з експлуатації атомних енергоблоків з реактором ВВЕР. Наразі у світі не великий досвід проведення даних робіт, так як проектний термін експлуатації більшості енергоблоків ще не вийшов, а тих що вийшов – був продовжений. Будь – який енергоблок має бути виведений з експлуатації, тому дана тема має актуальність, враховуючи ще й відсутність достатньої кількості досвіду. Наведено метод оптимізації демонтажних робіт при знятті з експлуатації. На основі даного методу створена програма, яка описується в статті, що враховує можливі варіанти проведення демонтажних робіт. Результатом є висвітлення вартості кожного з варіантів та їх опис. До опису варіантів відносяться такі характеристики як: кількість працівників, їх кваліфікація, необхідний час на виконання роботи. Наводиться приклад розрахунку демонтажу обладнання підсистеми аварійного розхолодження. Результат має як якісний так і кількісний характер. Автор акцентує увагу на важливості оптимізації демонтажних робіт саме з метою економії фінансових ресурсів..*

**Ключові слова:** демонтаж, зняття з експлуатації, атомна станція, оптимізація, алгоритм, трудовитрати.

**Вступ.** Тенденції в розвитку світової спільноти говорить про подальше зростання генеруючих потужностей ядерної енергетики, а отже, при зростанні кількості проблем, пов'язаних зі зняттям з експлуатації ядерних установок та поводження з великим обсягами радіоактивних відходів [1]. Аналіз досвіду, отриманого в процесі зняття з експлуатації ядерних установок, показує, що чим більше увага приділяється питанням планування та підготовки до зняття з експлуатації, тим ефективніше виконується цей етап життєвого циклу. Визнано, що треба розпочинати підготовку до зняття з експлуатації ще на етапі проектування установки і виконувати заходи, спрямовані на підготовку до зняття з експлуатації, протягом усього періоду експлуатації об'єкта. Досвід показує, що порівняно малу кількість ядерних установок вдалося зняти з експлуатації не виходячи за рамки запланованих коштів і часового періоду.

Припинення експлуатації може бути здійснене не тільки у зв'язку з виходом проектного терміну експлуатації, а й з інших причин – економічних, експлуатаційних або в результаті великої аварії. Зняття з експлуатації є дуже важливим етапом, так як вимагає ретельної підготовки та великих фінансових затрат. Питання оцінки вартості є дуже важливим, так як вартість даного процесу може складати приблизно 30% від вартості будівництва відповідного енергоблоку. Що до тривалості зняття з експлуатації, то у залежності від обраної стратегії може тривати від 40 до 60 років, або навіть понад 60 років [2].

**Мета та завдання.** Наразі згідно із «Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України» розглядаються два варіанти зняття з експлуатації, а саме: невідкладений демонтаж та відкладений демонтаж. У таблиці 1 наведені характеристики кожного з етапів [3].

Таблиця 1 – Послідовність стадій для варіантів зняття з експлуатації [3]

Етапи життєвого циклу ядерного енергоблоку	Невідкладений демонтаж	Відкладений демонтаж
Експлуатація	0. Припинення експлуатації	0. Припинення експлуатації
Зняття з експлуатації	1. Остаточне закриття 2. Демонтаж	1. Остаточне закриття 2. Консервація 3. Витримка 4. Демонтаж

Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ, базованими на світовій практиці, до початку експлуатації комерційної енергетичної ядерної установки мають бути визначені:

- терміни і обсяги майбутніх витрат на її зняття з експлуатації;
- порядок накопичення коштів для покриття цих витрат при завершенні експлуатації цієї ядерної установки в планований термін;
- джерела покриття витрат у випадку передчасного припинення експлуатації ядерної установки.

Загальна вартість зняття з експлуатації має включати витрати на всі заходи і роботи, що містяться в програмі (плані) зняття з експлуатації. Ця програма (план) повинна враховувати проектні та інжинірингові роботи, які виконуються після завершення експлуатації, розробку специфічних технологій, дезактивацію і демонтаж, поводження з радіоактивними відходами і виконання остаточного інспектування. За наявності стадій зняття з експлуатації великої тривалості мають враховуватись витрати на обслуговування, інспектування і фізичний захист об'єкта, що знімається з експлуатації.

Найближчим часом на території України планується виведення з експлуатації двох енергоблоків ВВЕР - 1000 на підрозділі ВП «Южно-Українська АЕС» у 2023 та 2025 роках відповідно та двох енергоблоків ВВЕР – 440 на підрозділі ВП «Рівненська АЕС» у 2030 та 2031 роках відповідно [4].

Для енергоблоків ВП РАЕС було прийнято рішення проведення зняття з експлуатації за стратегією відкладеного демонтажу із тривалістю стадії витримки у 18 років [5].

Для енергоблоків №1, №2 ВП РАЕС затрати, оцінені для оптимального варіанту зняття з експлуатації у цінах за 2011 рік, без урахування дисконтування складають 2266 млн грн для першого енергоблоку та 2376 млн грн для другого енергоблоку. Детальні витрати наведені у таблицях 2 та 3.

Таблиця 2 – Витрати на зняття з експлуатації енергоблоку №1 ВП РАЕС згідно обраного варіанту (без урахування витрат на захоронення) [5]

Назва стадії	ПМЗ	ПЗ ОТ	ДПЗ	ОПЗ	Всього
	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн
Припинення експлуатації	103,324	83,060	30,566	324,065	541,016
Назва стадії	ПМЗ	ПЗ ОТ	ДПЗ	ОПЗ	Всього
	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн
Остаточне закриття	43,505	44,374	16,330	201,631	305,569
Консервація	50,383	37,707	13,876	133,845	235,811
Витримка	20,849	34,082	12,542	203,165	270,638
Демонтаж	70,039	61,767	22,730	365,559	520,096
Всього	288,100	260,990	96,044	1227,995	1873,130

Таблиця 3 – Витрати на зняття з експлуатації енергоблоку №2 ВП РАЕС згідно обраного варіанту (без урахування витрат на захоронення) [5]

Назва стадії	ПМЗ	ПЗ ОТ	ДПЗ	ОПЗ	Всього
	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн	млн грн
Припинення експлуатації	103,324	83,060	30,566	324,065	541,016
Остаточне закриття	43,505	44,374	16,330	201,631	305,569
Консервація	50,383	37,707	13,876	133,845	235,811
Витримка	20,849	34,082	12,542	203,165	270,638
Демонтаж	70,039	61,767	22,730	365,559	520,096
Всього	288,100	260,990	96,044	1227,995	1873,130

Отож, витрати на такій стадії як демонтаж становлять приблизно 36% від вартості процесу зняття з експлуатації загалом, враховуючи, також, і вартість відповідного процесу постає питання можливості заощадження фінансових ресурсів, що необхідні на демонтаж енергоблоку при знятті з експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Пропонується наступний підхід до вирішення проблема заощадження фінансових ресурсів. Нехай дано технологічну систему енергоблоку яка підлягає демонтажу. Вхідними характеристиками системи є: маса обладнання, площа всіх поверхонь. Наступні вхідні дані – це приблизний час, за який потрібно демонтувати дану систему, варіанти дезактивації обладнання та, у відповідності із кожним варіантом дезактивації, ступінь індивідуального захисту. Для того, щоб досягти мінімальних затрат потрібно розглянути декілька (бажано всі можливі) варіанти кваліфікації працівників, так як від їх кваліфікації залежать такі вхідні параметри як трудовитрати та

відповідна зарплата. Отож, ми зібрали такі дані як: об'єм роботи, приблизний час, трудовитрати, зарплата працівника, вартість дезактивації та вартість індивідуального захисту.

Що ж далі? Мною була розроблена програма, яка обраховує можливі варіанти проведення демонтажних робіт використовуючи вхідні дані, які вона отримує від користувача. Але це не все. Вводиться поняття ефективності праці, тобто величина, яка характеризує кількість роботи, що може зробити один працівник за одиницю часу. Ефективність праці є функцією від часу (наразі це привалить робочого дня або зміни) і має експоненціальну залежність, причому залежність ефективності від часу є обернено пропорційна. Тому програма обраховує кожен з варіантів при трьох ефективностях.

Як працює програма? Отримавши необхідні дані від користувача, програма перше, що робить це розраховує двадцять один варіант тривалості демонтажних робіт (чому саме двадцять один? – до отриманого приблизного часу, введеного користувачем, додається і віднімається десять). Маючи тривалість роботи, визначається необхідна кількість працівників. Далі обраховується ефективність праці, що є функцією від трудовитрат. Отримуємо початкове значення ефективності, після чого розраховуються три ефективності, які відповідають певній тривалості робочого дня або зміни. Тривалість робочого дня при першій ефективності – 8 годин і роботи проходять в одну зміну. При другій ефективності тривалість однієї зміни – 5 годин. Кількість змін – 2 і тривалість робочого дня – 10 годин. При третій ефективності – 3 зміни по 4 години, тривалість робочого дня – 12 годин. Після чого визначаються та виводяться витрати на проведення демонтажних робіт для кожного з варіантів. Також обраховується найкращий варіант (варіант із найменшими затратами) та найгірший варіант і, відповідно, виводяться характеристики цих двох варіантів – ефективність, необхідна кількість працівників, відповідна тривалість робіт, варіант дезактивації та рівень індивідуального захисту.

Дана програма написана об'єктно-орієнтованою мовою програмування Java (версія SE 8). Перевагою цієї мови є те, що дана мова являється кросплатформною, тобто не залежить від операційної системи на якій програма буде реалізовуватися. Також код програми є доволі простим та легко читається, що дає можливість подальшого її удосконалення та розширення.

```
private void changedEmployee_2(){
    getEffToSecond();
    if (workerstype == 0) {
        for (i = 0; i < arrayListForTime.size(); i++) {
            double employee = volume * 2.0 / (arrayListForTime.get(i) * arrayEffSecond.get(0) * 10.0);
            int result = (int) Math.ceil(employee);
            arrayListEmployee2.add(result);
        }
    }
    if (workerstype > 0){
        for (i = 0; i < arrayListForTime.size(); i++) {
            for (k = 0; k < workerstype; k++) {
                double employee = volume * 2.0 / (arrayListForTime.get(i) * arrayEffSecond.get(k) * 10.0);
                int result = (int) Math.ceil(employee);
                arrayListEmployee2.add(result);
            }
        }
    }
}
```

Рисунок 1 – Фрагмент вихідного коду

На рисунку 1 представлено невеликий фрагмент вихідного коду.

Для представлення роботи даної програми розглядається демонтаж підсистеми аварійного розхолодження. Необхідні характеристики підсистеми для розрахунку наведені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Характеристики підсистеми аварійного розхолодження [6]

Назва	Значення	Одиниці вимірювання
Загальний об'єм обладнання, яке підлягає демонтажу	694	тон
Площа трубопроводів	92,41	м <sup>2</sup>
Вартість дезактивації промиванням водою	1800	грн/м <sup>2</sup>
Вартість дезактивації промиванням кислотою	3400	грн/м <sup>2</sup>

Задаємося приблизним часом виконання роботи – 100 днів (це число слугує суто для прикладу, так як значення даної величини буде відоме лиш при проведенні демонтажних робіт). Нехай маємо працівників із 4 та 3 розрядами, трудовитрати яких складають 7500 людина/год та 9500 людина/відповідно, а зарплата складає 240 грн/год та 190 грн/год відповідно [6].

Задавши ці вхідні параметри програмі, отримали наступні результати:

- найменші витрати при 1-й ефективності 1714612 грн
- найменші витрати при 2-й ефективності 1765816 грн

- найменші витрати при 3-й ефективності 1781771 грн
- найбільші витрати при 1-й ефективності 2230310 грн
- найбільші витрати при 2-й ефективності 2284557 грн
- найбільші витрати при 3-й ефективності 2301461 грн
- Різниця між найкращим та найгіршим варіантом – 586849 грн

Також отриманий результат варіант відповідає таким характеристикам:

- тривалість демонтажу – 91 день
- кількість працівників – 11
- варіант дезактивації – промивка водою
- Варіант індивідуального захисту – 7000 грн (комбінезон, протигаз)
- тип працівника – 4 розряд

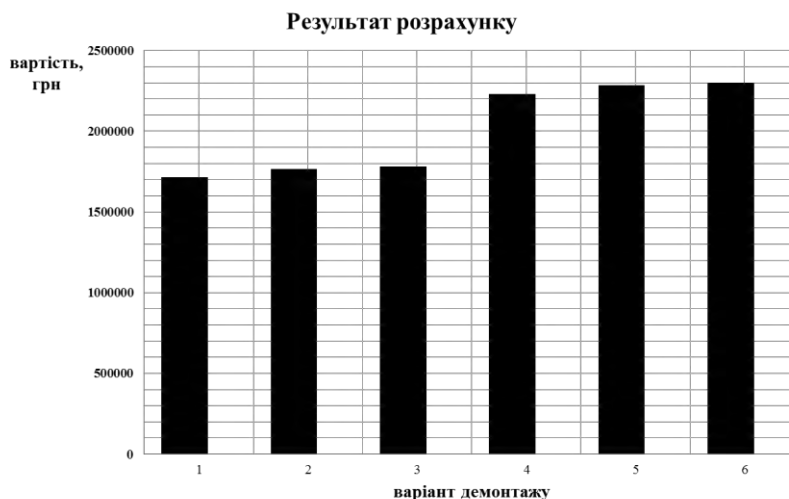


Рисунок 2 – Результати розрахунку

На рисунку 2 показано порівняння найкращого та найгіршого варіантів. Порівняння найкращого на найгіршого варіантів відбувається з метою повної оцінки можливості програми.

**Висновки.** Затрати на демонтаж обладнання енергоблоку мають суттєве значення, тому постає питання можливості оптимізувати цей процес для зменшення фінансових затрат. Основна ідея наведеного методу – це підшукати оптимальний варіант певних змінних для отримання мінімальних затрат. Розроблена програма показала хороші результати. Різниця між найкращим та найгіршим варіантом становить 586849 грн або 34% від вартості найдешевшого варіанту. Отже, дана програма може мати практичне застосування.

#### Список використаної літератури

1. Досвід зняття з експлуатації енергоблоків атомних електричних станцій / А. В. Носовский; Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2003. - №5 (31). – С. 27-35.
2. Снятие с эксплуатации ядерных энергетических установок / А. В. Носовский, В. Н. Васильченко, А. А. Ключников, Я. В. Яценко; Под ред. А. В. Носовского - К.: Техніка, 2005. – 288 с.
3. <http://uatom.org/index.php/ru/obschie-svedeniya/vyvod-aes-yz-ekspluatatsyy/>
4. <http://www.energoatom.kiev.ua/ua/separated/>
5. Концепция снятия с эксплуатации энергоблоков ОП «Ривненская АЭС»
6. Міністерство енергетики і електрифікації СРСР. Головний проєкт. Хмельницька АЕС. Технічний проєкт. Частина 9. 9.3. «Смета и сметные расчеты на тепломеханическое и гидротехническое оборудование и монтаж». (ст. 111, 143).

V. Filatov, Cand. Sc. (Eng.), Assis. Prof., ORCID 0000-0002-1892-0054

S. Polishchuk, student

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DEMONSTRATION WORKS UNDER THE USE OF ENERGY OPERATIONS WITH  
REACTOR TYPE VVER

Article is devoted to the process of decommissioning nuclear power plant with reactor by type VVER. Now the world wide experience of carrying out these works, as the design life of most reactors have not reached yet, and those that came out – was extended. The process involves decontaminating the facility to reduce residual radioactivity, dismantling the structures, removing contaminated materials to appropriate disposal facilities, storing used nuclear fuel until it can be removed from the site for disposal or consolidated storage, and releasing the property for other uses. Any nuclear power plant needs to be decommissioned, so this topic has relevance, considering the lack of sufficient experience. Given the method of optimization of demolition works upon decommissioning. On the basis of this method created the program described in the article that calculates possible options for dismantling. The result is a lighting value of each of the options and their description. The options include such characteristics as: the number of employees, their qualifications, the necessary time to complete the work. The example of the calculation of the dismantling of the emergency cooling subsystems. The result is both qualitative and quantitative. The author focuses on the importance of the optimization of dismantling it for the purpose of saving financial resources. Also the program which was created by author of this article could have practice using because there aren't enough tools which can help during decommissioning. The nuclear energy industry has proven that it has the technology, resources and expertise to successfully decommission commercial nuclear reactors.

**Key words:** dismantling, decommissioning, nuclear power plant, optimization, algorithm, labor expenditures.

#### References

1. Experience of decommissioning of NPP units / A.V. Nosovsky; Sciences. news of NTUU "KPI". – 2003. - №5 (31). – S. 27-35.
2. The decommissioning of nuclear power plants / A. V. Nosovskiy, V. N. Vasilchenko, A. A. Klyuchnikov, Y. V. Yaschenko; Edited A. V. Nosovskiy – K.: Technique, 2005. – 288 p.
3. <http://uatom.org/index.php/ru/obschie-svedeniya/vyvod-aes-yz-ekspluatatsyy/>
4. <http://www.energoatom.kiev.ua/ua/separated/>
5. The concept of decommissioning of power units of SS "Rivne nuclear power plant"
6. The Department of energy and electric of the USSR. Head of the project. Hmel'nitska AES. Techni project. Part 9. 9.3. "Estimates and cost estimates on mechanical and hydraulic equipment and installation". (article 111, 143).

УДК 621.43.056

**В.И. Филатов**, канд. техн. наук, ст. препод., ORCID 0000-0002-3046-3546  
**С.М. Полищук**, студент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

#### ДЕМОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СНЯТИИ С ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГООБЛОКОВ С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР

Статья посвящена процессу снятия с эксплуатации атомных энергоблоков с реактором ВВЭР. Сейчас в мире не большой опыт проведения данных работ, так как проектный срок эксплуатации большинства энергоблоков еще не вышел, а тех, что вышел – был продлен. Любой энергоблок должен быть выведен из эксплуатации, поэтому данная тема имеет актуальность, учитывая еще и отсутствие достаточного количества опыта. Приведен метод оптимизации монтажных работ при снятии с эксплуатации. На основе данного метода создана программа, которая описывается в статье, что обчисляет возможные варианты проведения монтажных работ. Результатом является освещение стоимости каждого из вариантов и их описание. К описанию вариантов относятся такие характеристика как: количество сотрудников, их квалификация, необходимое время на выполнение работы. Приводится пример расчета монтажа оборудования подсистемы аварийного расхолаживания. Результат имеет как качественный, так и количественный характер. Автор акцентирует внимание на важности оптимизации монтажных работ именно с целью экономии финансовых ресурсов.

**Ключевые слова:** монтаж, снятие с эксплуатации, атомная станция, оптимизация, алгоритм, трудозатраты.

Надійшла 21.06.2017  
Received 21.06.2017