

О. А. Пуртов, О. М. Масько

ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування»,  
просп. Героїв Сталінграда, 64/56, Київ, 04213, Україна

## Порівняльний аналіз оновлених концепцій зняття з експлуатації діючих АЕС України

### Ключові слова:

атомна електростанція,  
концепція зняття з експлуатації,  
ВВЕР-440,  
ВВЕР-1000,  
довгостроковий прогноз зняття з експлуатації, оцінка відрахувань на зняття з експлуатації, продовження ресурсу, комплексне інженерно-радіаційне обстеження.

Розглянуто варіанти зняття з експлуатації (ЗЕ) енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) України, принципи оптимізації ЗЕ енергоблоків з відкладеним демонтажем, а також особливості фінансування ЗЕ діючих АЕС і передавання експлуатаційних радіоактивних відходів (РАВ) та РАВ ЗЕ на захоронення. Наведено основні положення оновлених концепцій ЗЕ діючих АЕС України. У всіх концепціях розглянуто два можливих варіанти ЗЕ енергоблоків АЕС — відкладений демонтаж і невідкладний демонтаж, які є близькими за рівнем прийнятності за відносною переваги варіанта відкладеного демонтажу. За результатами порівняльного аналізу цих двох варіантів базовим варіантом ЗЕ діючих ядерних енергоблоків АЕС України визначено варіант відкладеного демонтажу енергоблоків АЕС з витримкою 30 років перед демонтажем. Для всіх енергоблоків АЕС розроблено оптимальні варіанти ЗЕ для відкладеного демонтажу з витримкою від 20 до 30 років. Оптимальні варіанти рекомендовано як основу під час розробки проектів ЗЕ енергоблоків АЕС. Описано розробку систем поводження з РАВ на діючих АЕС для підготовки РАВ до передавання державі на захоронення. Для базових варіантів ЗЕ наведено оцінки відрахувань експлуатуючої організації до фінансового резерву та розміри щорічних відрахувань на захоронення експлуатаційних РАВ та РАВ ЗЕ. Наведено результати порівняльного аналізу стану підготовки до майбутнього ЗЕ згідно з оновленими концепціями для діючих АЕС України за такими параметрами, як стратегія ЗЕ, стратегія зберігання та перспективи поводження з відпрацьованим ядерним паливом, стан системи поводження з РАВ, наявність організаційної структури діяльності з ЗЕ, стан підготовки до проведення комплексного інженерно-радіаційного обстеження. Установлено спільні та відмінні риси стану підготовки до ЗЕ окремих АЕС.

### Вступ

Станом на 31.12.2018 р. діючі ядерні енергоблоки в середньому по всіх атомних електростанціях відпрацювали більше 90 % терміну, передбаченого вихідними проектами. Через тривалий інвестиційний цикл спорудження нових потужностей (до 12 років) альтернативи продовженню експлуатації діючих ядерних енергоблоків понад терміни, передбачені вихідними проектами, сьогодні немає. Для енергоблоків № 1

і 2 типу ВВЕР-440 та енергоблока № 3 типу ВВЕР-1000 Рівненської АЕС (РАЕС) після завершення комплексу відповідних робіт та переоцінки безпеки термін їхньої експлуатації за рішенням Держатомрегулювання був продовжений додатково на 20 років. Для енергоблоків типу ВВЕР-1000 № 1 і 2 Южно-Української АЕС (ЮУАЕС) і для енергоблоків № 1–3 Запорізької АЕС (ЗАЕС) термін експлуатації було продовжено додатково на 10 років з можливістю продовжити в перспективі ще на 10 років.

© О. А. Пуртов, О. М. Масько, 2019

У рамках оновленої у 2017 р. Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [1] передбачається продовження експлуатації всіх енергоблоків АЕС України. Крім того, на всіх майданчиках АЕС України планується будівництво заміщуючих потужностей.

Водночас проводиться підготовка до майбутнього зняття з експлуатації (ЗЕ). Вона передбачає комплекс організаційно-технічних заходів, необхідних для планування ЗЕ, зокрема розробку концепції, проведення комплексного інженерного і радіаційного обстеження (КІРО) енергоблоків, створення системи інформаційного забезпечення, створення інфраструктури з передавання радіоактивних відходів (РАВ) на довготривале зберігання або захоронення.

Згідно з законодавством та відповідно до рекомендацій МАГАТЕ [2–7], сформульованих відповідно до світового досвіду ЗЕ АЕС, «Концепції зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України» [8], у 2017–2018 рр. були оновлені концепції ЗЕ енергоблоків ЗАЕС, РАЕС, Хмельницької АЕС (ХАЕС) та ІЮАЕС [9–12].

### Варіанти ЗЕ енергоблоків АЕС України

Усі концепції ЗЕ АЕС передбачають два можливих варіанти ЗЕ окремого ядерного енергоблока:

відкладений демонтаж з реалізацією стадій: припинення експлуатації (тривалість 6 років), остаточне закриття (4 роки), консервація (3 роки), витримка (30 років), демонтаж (9 років);

невідкладний демонтаж з реалізацією стадій: припинення експлуатації, остаточне закриття, демонтаж.

Два вказані варіанти близькі за трудовитратами, фінансовими витратами, обсягами РАВ, які утворюватимуться під час ЗЕ, та іншими показниками прийнятності за деякої переваги сценарію відкладеного демонтажу.

### Принципи оптимізації ЗЕ енергоблоків з відкладеним демонтажем

У всіх концепціях виконана оптимізація ЗЕ енергоблоків з відкладеним демонтажем, зважаючи на дотримання таких умов:

мінімізація розривів у зведеному по всіх блоках графіку реалізації кожної зі стадій ЗЕ — припинення експлуатації, остаточного закриття, консервації, витримки (тривалість цієї стадії варіюється) і демонтажу;

досягнення максимальної рівномірності зведеного за всіма блоками графіка трудовитрат на ЗЕ;

досягнення максимальної рівномірності зведеного за всіма блоками графіка напруження і переробки РАВ від ЗЕ на зазначених стадіях.

### Особливості фінансування ЗЕ діючих АЕС України

Заходи із ЗЕ АЕС, а також захоронення експлуатаційних РАВ та РАВ ЗЕ потребують великих фінансових ресурсів. Відповідно до Закону України «Про впорядкування питань, пов'язаних із забезпеченням ядерної безпеки» [13] ДП «НАЕК “Енергоатом”» як експлуатуюча організація (оператор) ядерних установок (ЯУ) починаючи з 2005 р. здійснює накопичення коштів фінансового резерву для фінансування заходів, пов'язаних із припиненням експлуатації і ЗЕ ЯУ (далі — фінансовий резерв) шляхом відрахування коштів на спеціальний рахунок.

Статтею 91 розділу VI Бюджетного кодексу України [14] визначено, що кошти фінансового резерву для ЗЕ атомних енергоблоків, що формується відповідно до Закону України «Про впорядкування питань, пов'язаних із забезпеченням ядерної безпеки» [13], ДП «НАЕК “Енергоатом”» перераховує до спеціального фонду Державного бюджету України. Для зарахування цих коштів центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері казначейського обслуговування бюджетних коштів, відкрив відповідний бюджетний рахунок за надходженнями.

Станом на 31.01.2019 р. ДП «НАЕК “Енергоатом”» було перераховано до фінансового резерву 4311,068 млн грн.

Контроль за використанням та інвестуванням коштів фінансового резерву здійснює Наглядова рада, персональний склад якої затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. № 21 (зі змінами і доповненнями, внесеними Розпорядженнями Кабінету Міністрів України від 26.08.2015 р. № 866-р та від 01.12.2017 № 848-р).

Основним документом, на підставі якого здійснюється підготовка до ЗЕ АЕС ДП «НАЕК “Енергоатом”», є «Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України» [8].

Загальна концепція містить результати стратегічного планування і довгострокового прогнозу діяльності із ЗЕ діючих АЕС України, а також оцінки фінансових витрат на ЗЕ.

Розміри щорічних відрахувань на ЗЕ енергоблоків АЕС, розраховані відповідно до «Порядку встановлення розміру відрахувань експлуатуючої



організації (оператора) на спеціальний рахунок» [15], наведені далі в таблицях.

### Особливості фінансування передання експлуатаційних РАВ та РАВ ЗЕ на захоронення

Законодавство обмежує термін зберігання РАВ у пристанційних сховищах та зобов'язує оператора АЕС передавати їх на захоронення спеціалізованим підприємствам з поводження з РАВ. Виробники мають сплачувати державі збір за утворення РАВ.

З 01.01.2011 р. порядок відрахувань регулюється Податковим кодексом України [20]. Згідно з п. 247.1. Податкового кодексу України «Ставка податку за утворення радіоактивних відходів виробниками електричної енергії — експлуатуючими організаціями ЯУ (атомних електростанцій), включаючи вже накопичені, на сьогодні становить 0,0127 грн у розрахунку на 1 кВт · год виробленої електричної енергії».

Головна функція ДП «НАЕК «Енергоатом» у цьому питанні — підготовка РАВ до передання державі на захоронення. Щорічно підприємство сплачує державі за утворені РАВ близько 625 млн грн.

Розміри щорічних відрахувань на захоронення експлуатаційних РАВ та РАВ ЗЕ, розраховані відповідно до «Податкового кодексу України» [20], наведені в таблицях нижче.

### Основні положення концепції ЗЕ енергоблоків ЗАЕС

Концепція ЗЕ енергоблоків ЗАЕС переглянута у 2018 р. [9]. Для всіх енергоблоків ЗАЕС обрана стратегія ЗЕ з відкладеним демонтажем.

У цій концепції як окремі об'єкти ЗАЕС, що належать до ЯУ і підлягають ЗЕ після завершення терміну їхньої експлуатації, розглядаються енергоблоки № 1–6 та сухе сховище відпрацьованого ядерного палива (ССВЯП).

**Об'єкти ЗЕ ЗАЕС.** Як об'єкти ЗАЕС, що належать до групи об'єктів з поводження з РАВ та підлягають ЗЕ після завершення терміну їхньої експлуатації, у цій концепції розглядаються спецкорпус 1-ї черги (СК-1), спецкорпус 2-ї черги (СК-2), будівля сховища твердих РАВ (СТРВ).

Як об'єкт ЗАЕС, що належить до групи об'єктів з поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) і підлягає ЗЕ після завершення терміну експлуатації, у цій концепції розглядається комплекс ССВЯП.

Об'єкти загальностанційного призначення, які не є ЯУ або об'єктами з поводження з РАВ проммайданчика ЗАЕС у концепції не розглядаються як об'єкти, що підлягають ЗЕ. Експлуатація цих об'єктів або їх ЗЕ відбуватиметься відповідно до планів подальшого використання майданчика ЗАЕС. Станом на сьогодні конкретні плани використання проммайданчика ЗАЕС не розроблені.

Загальна інформація про діючі енергоблоки ЗАЕС станом на 31.12.2018 р. з датами їхньої планованої остаточної зупинки наведена в табл. 1.

На території проммайданчика ЗАЕС розташоване ССВЯП, призначене для тривалого безпечного зберігання ВЯП, що вилучається з енергоблоків № 1–6 ЗАЕС, на основі технології сухого контейнерного зберігання.

Перша черга ССВЯП введена в дослідно-промислову експлуатацію у 2001 р., прийнята в промислову експлуатацію і включена до складу технологічного комплексу ЗАЕС в 2004 р. Друга черга ССВЯП прийнята в промислову експлуатацію у 2012 р.

Таблиця 1. Загальна інформація про діючі енергоблоки ЗАЕС

Енергоблок	Тип енергоблока	Дата пуску	Термін проектної експлуатації, років	Дата кінця проектної експлуатації	Термін подовженої експлуатації, років	Дата остаточної зупинки
ЗАЕС-1	ВВЕР-1000/В-320	10.12.1984	30	23.12.2015	20	23.12.2035
ЗАЕС-2	ВВЕР-1000/В-320	22.07.1985	30	19.02.2016	20	19.02.2036
ЗАЕС-3	ВВЕР-1000/В-320	10.12.1986	30	05.03.2017	20	05.03.2037
ЗАЕС-4	ВВЕР-1000/В-320	18.12.1987	30	04.04.2018	20	04.04.2038
ЗАЕС-5	ВВЕР-1000/В-320	14.08.1989	30	27.05.2020	20	27.05.2040
ЗАЕС-6	ВВЕР-1000/В-320	19.10.1995	30	21.10.2026	20	21.10.2046



Вентильовані контейнери зберігання встановлюються на фундаментну плиту відкритого майданчика, де вони повинні зберігатися протягом проектного терміну експлуатації (50 років). Середня планована інтенсивність завезення контейнерів на майданчик ССВЯП — 14 контейнерів на рік.

Слід зауважити, що проектна місткість ССВЯП ЗАЕС (380 контейнерів) дозволяє забезпечити потребу ЗАЕС у зберіганні ВЯП у разі продовження ресурсу енергоблоків на термін не більше 10 років. За умови продовження строку експлуатації енергоблока № 6 ЗАЕС на 10 років очікується, що останні контейнери з ВЯП будуть розміщені в сховищі в 2045 р. Скоріше за все залишок ВЯП ЗАЕС буде вивозитися до централізованого сховища ВЯП (ЦСВЯП). Нині рішення ще не ухвалено. Цей фактор буде враховано під час розробки проектів ЗЕ енергоблоків ЗАЕС і чергового перегляду чинної концепції.

**Варіанти ЗЕ енергоблоків ЗАЕС.** Порівняння динаміки трудовитрат і щорічних обсягів переро-

блених РАВ від ЗЕ енергоблоків ЗАЕС для базового і оптимального варіантів ЗЕ з відкладеним демонтажем наведено на рис. 1–4.

Як видно з рисунків, оптимальний варіант ЗЕ забезпечує суттєві переваги з точки зору рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ на стадії демонтажу.

На підставі вищевказаного оптимальний варіант рекомендується як основа під час розробки проекту ЗЕ енергоблоків ЗАЕС.

Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів ЗАЕС для оптимального варіанта наведені в табл. 2. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1–6 ЗАЕС наведено в табл. 3 та 4.

**Розробка системи поводження з РАВ на ЗАЕС для підготовки РАВ до передання на захоронення.** Основним завданням з модернізації системи поводження з РАВ на ЗАЕС є створення комплексу переробки твердих РАВ (КПТРВ).

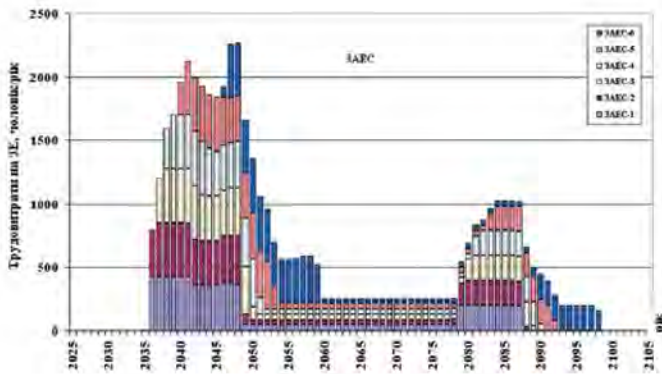


Рис. 1. Базовий варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків ЗАЕС

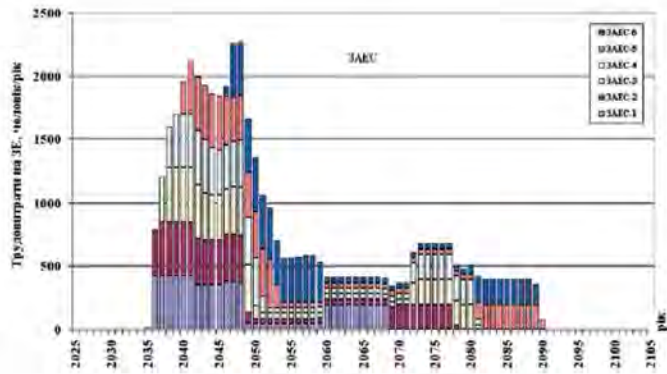


Рис. 2. Оптимальний варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків ЗАЕС

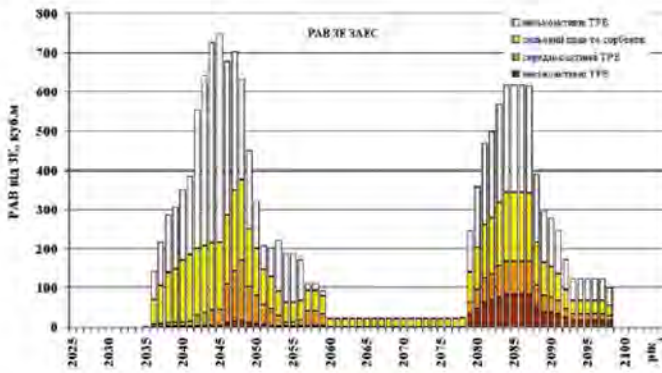


Рис. 3. Базовий варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ЗАЕС

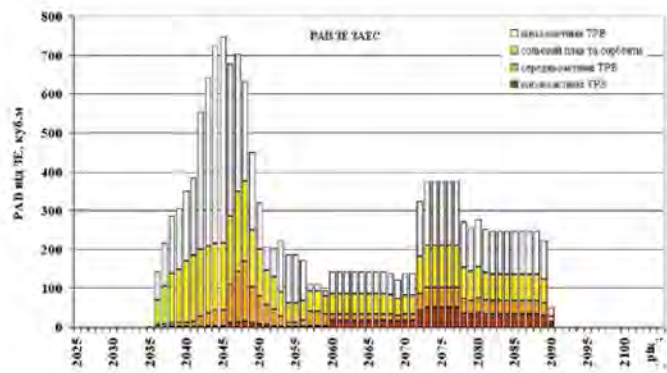


Рис. 4. Оптимальний варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ЗАЕС

**Таблиця 2. Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів ЗАЕС для базового варіанта**

Найменування об'єкта	Дата пуску (початку експлуатації)	Дата завершення експлуатації	Дата завершення ЗЕ
<b>Ядерні установки</b>			
Енергоблок № 1	23.12.1985	23.12.2035	22.12.2087
Енергоблок № 2	19.02.1986	19.02.2036	18.02.2088
Енергоблок № 3	05.03.1987	05.03.2037	04.03.2089
Енергоблок № 4	04.04.1988	04.04.2038	03.04.2090
Енергоблок № 5	27.05.1990	27.05.2040	27.05.2092
Енергоблок № 6	21.10.1996	21.10.2046	21.10.2098
<b>Об'єкти з поводження з ВЯП</b>			
Комплекс ССВЯП	2001	2045	2095
<b>Об'єкти з поводження з РАВ</b>			
Спецкорпус (СК-1)	1984	21.10.2098	Знімаються з експлуатації після ЗЕ ЯУ
Спецкорпус (СК-2)	1984	21.10.2098	
Будівля СТРВ	1989	21.10.2098	

**Таблиця 3. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1–3 ЗАЕС**

Назва стадії	Енергоблок					
	№ 1		№ 2		№ 3	
	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років
Припинення експлуатації	23.12.2035	6	19.02.2036	6	05.03.2037	6
Остаточне закриття	23.12.2041	4	19.02.2042	4	05.03.2043	4
Консервація	23.12.2045	3	19.02.2046	3	05.03.2047	3
Витримка	23.12.2048	11	19.02.2049	20	05.03.2050	22
Демонтаж	23.12.2059	9	19.02.2069	9	05.03.2072	9
Разом	–	33	–	42	–	44

**Таблиця 4. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 4–6 ЗАЕС**

Назва стадії	Енергоблок					
	№ 4		№ 5		№ 6	
	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років
Припинення експлуатації	04.04.2038	6	27.05.2040	6	21.10.2046	6
Остаточне закриття	04.04.2044	4	27.05.2046	4	21.10.2052	4
Консервація	04.04.2048	3	27.05.2050	3	21.10.2056	3
Витримка	04.04.2051	21	27.05.2053	28	21.10.2059	22
Демонтаж	04.04.2072	9	27.05.2081	9	21.10.2081	9
Разом	–	43	–	50	–	44

**Таблиця 5. Щорічні відрахування на ЗЕ енергоблоків № 1–6 ЗАЕС за базовим варіантом відкладеного демонтажу (у разі продовження терміну експлуатації на 20 років)**

Відрахування на ЗЕ за базовим варіантом	Енергоблок						Разом
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	
Рік початку відрахувань на ЗЕ	2005	2005	2005	2005	2005	2005	–
Рік завершення відрахувань на ЗЕ	2087	2088	2089	2090	2040	2046	–
Розмір щорічних відрахувань на ЗЕ після 2016 р., млн грн/рік	40,3	39,8	39,3	38,8	94,3	80,5	333,1

Створення КІПТВР складається з:  
 установки спалювання;  
 системи моніторингу хімічних та радіологічних викидів;

прес-суперкомпактора;  
 установки фрагментації.

На сьогодні змонтовано обладнання та проведені функціональні приймальні випробування на ЗАЕС. Установка спалювання призначена для переробки твердих і рідких РАВ шляхом їх термічного спалювання. Продуктивність установки становить 30 м<sup>3</sup>/год, ефективність зменшення обсягу — у 20 разів для твердих РАВ та у 50 разів для рідких РАВ.

КІПТВР ЗАЕС введено в експлуатацію у 2018 р.

Розміри щорічних фінансових відрахувань на ЗЕ енергоблоків ЗАЕС наведено в табл. 5.

### **Основні положення концепції ЗЕ енергоблоків РАЕС**

Концепція ЗЕ енергоблоків РАЕС переглянута у 2017 р. [10]. Для всіх енергоблоків РАЕС вибрана стратегія ЗЕ з відкладеним демонтажем.

**Об'єкти ЗЕ РАЕС.** Як окремі об'єкти РАЕС, що належать до ЯУ і підлягають ЗЕ після завершення терміну їхньої експлуатації, розглядаються енергоблоки № 1 і 2 (з реакторами ВВЕР-440) та енергоблоки № 3 і 4 (з реакторами ВВЕР-1000).

Як об'єкти РАЕС, що належать до групи об'єктів з поводження з РАВ та підлягають ЗЕ після завершення терміну їхньої експлуатації, у цій концепції розглядаються спецкорпус 1-ї черги (СК-1); спецкорпус енергоблоків № 3 і 4; будівля переробки слабоактивних відходів.

У концепції ЗЕ РАЕС не розглядаються об'єкти з поводження з ВЯП. Діюча схема поводження з ВЯП РАЕС базується на технічних рішеннях, закладених у вихідному проекті РАЕС — вивезення ВЯП до Російської Федерації (РФ) на технологічне зберігання та переробку з подальшим поверненням в Україну

високоактивних відходів від переробки.

У планах подальшого розвитку ядерної енергетики України [1] передбачається диверсифікація схеми поводження з ВЯП реакторів ВВЕР-440 та ВВЕР-1000 шляхом забезпечення можливості тривалого безпечного зберігання ВЯП на території України у ЦСВЯП, введення в експлуатацію 1-го пускового комплексу якого заплановано у 2020 р.

Об'єкти загальностанційного призначення, які не є ЯУ або об'єктами з поводження з РАВ промайданчика РАЕС, у концепції не розглядаються як об'єкти, що підлягають ЗЕ. Експлуатація цих об'єктів або ЗЕ відбуватиметься відповідно до планів подальшого використання майданчика РАЕС. Станом на поточний момент конкретні плани використання промайданчика РАЕС не розроблені.

Загальна інформація про діючі енергоблоки РАЕС з датами їхньої планованої остаточної зупинки станом на 31.12.2018 р. наведена в табл. 6.

**Варіанти ЗЕ енергоблоків РАЕС.** У концепції проведена оптимізація ЗЕ енергоблоків РАЕС. Оптимальним варіантом ЗЕ енергоблоків № 1–4 РАЕС визначено варіант із тривалістю стадії витримки 18, 26, 30 і 21 рік відповідно.

Оптимальний варіант ЗЕ з відкладеним демонтажем забезпечує суттєві переваги з точки зору рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ.

Порівняння динаміки трудовитрат і щорічних обсягів перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків РАЕС для базового і оптимального варіантів ЗЕ з відкладеним демонтажем наведено на рис. 5–8.

Як видно з рисунків, оптимальний варіант забезпечує суттєві переваги з точки зору рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ на стадії демонтажу.

На підставі вищевказаного оптимальний варіант рекомендується як основа під час розробки проекту ЗЕ енергоблоків РАЕС.



Таблиця 6. Загальна інформація про діючі енергоблоки РАЕС

Енергоблок	Тип енергоблока	Дата пуску	Термін проектної експлуатації, років	Дата кінця проектної експлуатації	Термін подовженої експлуатації, років	Дата остаточної зупинки
РАЕС-1	ВВЕР-440/В-213	22.12.1980	30	22.12.2010	20	22.12.2030
РАЕС-2	ВВЕР-440/В-213	22.12.1981	30	22.12.2011	20	22.12.2031
РАЕС-3	ВВЕР-1000/В-320	21.12.1986	30	11.12.2017	20	11.12.2037
РАЕС-4	ВВЕР-1000/В-320	10.10.2004	30	07.06.2035	20	07.06.2055

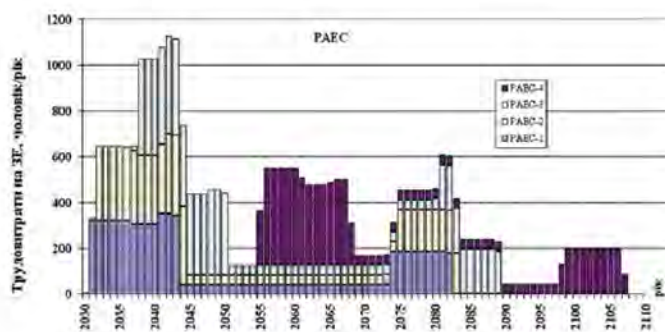


Рис. 5. Базовий варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків РАЕС

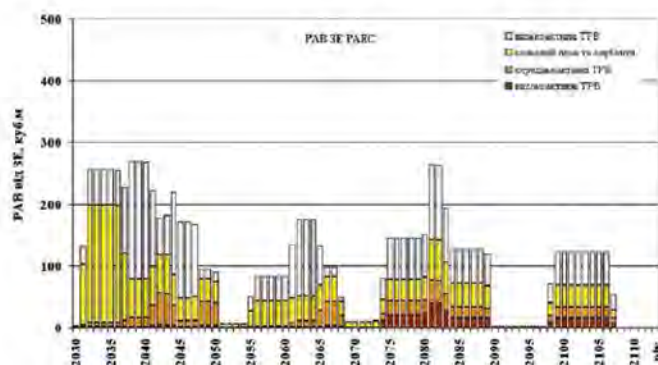


Рис. 7. Базовий варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків РАЕС

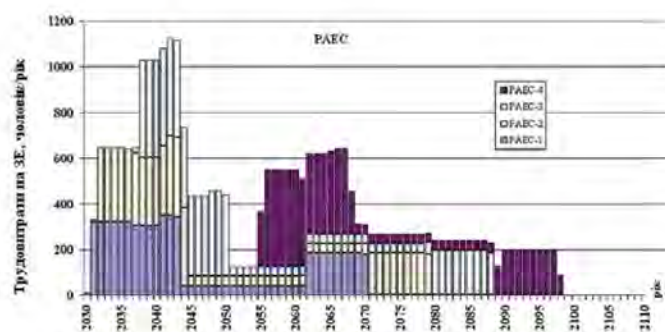


Рис. 6. Оптимальний варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків РАЕС

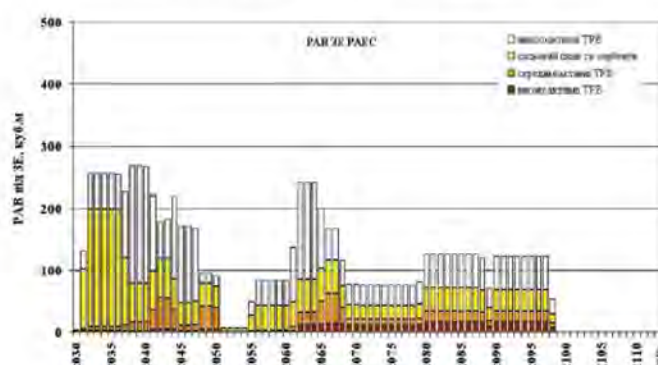


Рис. 8. Оптимальний варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків РАЕС

Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів РАЕС для оптимального варіанта наведені в табл. 7. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1–4 РАЕС наведені в табл. 8 і 9.

**Розробка системи поводження з РАВ на РАЕС для підготовки РАВ до передання на захоронення.** Для вирішення питань щодо переробки та довготривалого зберігання та захоронення вже накопичених твердих РАВ, які утворюються в процесі експлуатації та будуть утворюватися під час ЗЕ енергоблоків РАЕС, з початку 2005 р. проводиться робота в рам-

ках проекту міжнародної технічної допомоги ТАСІС U 1.01/01В «Створення комплексу з переробки РАВ на РАЕС».

У 2017 р. виконано випробування комплексу з переробки РАВ, що складався з установок вилучення, фрагментації, цементування, пресування, вимірювання активності. Проведено роботи на чистих відходах (імітаторах РАВ).

Комплекс з переробки РАВ РАЕС введено в промислову експлуатацію в червні 2018 р.

Розміри щорічних фінансових відрахувань на ЗЕ енергоблоків РАЕС наведено в табл. 10.

**Таблиця 7. Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів РАЕС для базового варіанта**

Найменування об'єкта	Дата пуску (початку експлуатації)	Дата завершення експлуатації	Дата завершення ЗЕ
Ядерні установки			
Енергоблок № 1	22.12.1980	22.12.2030	22.12.2082
Енергоблок № 2	22.12.1981	22.12.2031	22.12.2083
Енергоблок № 3	21.12.1986	11.12.2037	11.12.2089
Енергоблок № 4	10.10.2004	07.06.2055	07.06.2107
Об'єкти з поводження з РАВ			
Спецкорпус енергоблоків № 1 і 2	22.12.1980	07.06.2107	Знімаються з експлуатації після ЗЕ ЯУ
Спецкорпус енергоблоків № 3 і 4	21.12.1986	07.06.2107	
Будівля переробки слабоактивних відходів	Блок зберігання 2001 р. Блок переробки будується	07.06.2107	

**Таблиця 8. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1 і 2 РАЕС**

Назва стадії	Енергоблок			
	№ 1		№ 2	
	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років
Припинення експлуатації	22.12.2030	6	22.12.2031	6
Остаточне закриття	22.12.2036	4	22.12.2037	4
Консервація	22.12.2040	3	22.12.2041	3
Витримка	22.12.2043	18	22.12.2044	26
Демонтаж	22.12.2061	9	22.12.2070	9
Разом	–	40	–	48

**Таблиця 9. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 3 і 4 РАЕС**

Назва стадії	Енергоблок			
	№ 3		№ 4	
	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років
Припинення експлуатації	11.12.2037	6	07.06.2055	6
Остаточне закриття	11.12.2043	4	07.06.2061	4
Консервація	11.12.2047	3	07.06.2065	3
Витримка	11.12.2050	30	07.06.2068	21
Демонтаж	11.12.2080	9	07.06.2089	9
Разом	–	52	–	43



**Таблиця 10. Щорічні відрахування на ЗЕ енергоблоків № 1–4 РАЕС за базовим варіантом відкладеного демонтажу (у разі продовження терміну експлуатації на 20 років)**

Відрахування на ЗЕ за базовим варіантом	Енергоблок				Разом
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Рік початку відрахувань на ЗЕ	2005	2005	2005	2005	–
Рік завершення відрахувань на ЗЕ	2070	2079	2088	2054	–
Розмір щорічних відрахувань на ЗЕ після 2016 р., млн грн/рік	34,6	32,0	36,8	61,0	164,4

### Основні положення концепції ЗЕ енергоблоків ХАЕС

Концепція ЗЕ енергоблоків ХАЕС переглянута у 2017 р. [11]. Для всіх енергоблоків обрана стратегія ЗЕ з відкладеним демонтажем.

**Об'єкти ЗЕ ХАЕС.** Як окремі об'єкти ХАЕС, що належать до ЯУ і підлягають ЗЕ після завершення терміну їхньої експлуатації, розглядаються енергоблоки № 1 і 2 (з реакторами ВВЕР-1000).

Як об'єкти ХАЕС, що належать до групи об'єктів з поводження з РАВ та підлягають ЗЕ після ЗЕ ЯУ, у цій концепції розглядаються сховища РАВ у спецкорпусі для рідких та твердих РАВ, будівля зберігання парогенераторів (БЗП), сховище радіоактивних ізотопів (СРІ), СТРВ.

У концепції ЗЕ ХАЕС не розглядаються об'єкти з поводження з ВЯП. Діюча схема поводження з ВЯП ХАЕС базована на технічних рішеннях, закладених у вихідному проекті ХАЕС — вивезення ВЯП до РФ на технологічне зберігання та переробку з подальшим поверненням в Україну високоактивних відходів від переробки.

Передбачається диверсифікація схеми поводження з ВЯП реакторів ВВЕР-1000 ХАЕС шляхом забезпечення можливості тривалого безпечного зберігання ВЯП ХАЕС у ЦСВЯП.

На ХАЕС, крім потужностей блоків № 1 і 2 (з урахуванням продовження терміну їхньої експлуатації), розглядається можливість добудови двох ядерних енергоблоків № 3 і 4.

Загальна інформація про діючі енергоблоки ХАЕС із датами їх планованої остаточної зупинки станом на 31.12.2018 р. наведена в табл. 11.

**Варіанти ЗЕ енергоблоків ХАЕС.** У концепції проведена оптимізація ЗЕ енергоблоків ХАЕС без енергоблоків № 3 і 4. Оптимальним варіантом ЗЕ енергоблоків № 1 і 2 ХАЕС визначено відкладений демонтаж з тривалістю стадії витримки 30 і 23 роки відповідно.

Оптимальний варіант ЗЕ з відкладеним демонтажем забезпечує перевагу з боку рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ.

Порівняння динаміки трудовитрат і щорічних обсягів перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ХАЕС для базового і оптимального варіантів ЗЕ з відкладеним демонтажем наведено на рис. 9–12. Як видно з рисунків, оптимальний варіант забезпечує суттєві переваги з точки зору рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ на стадії демонтажу.

На підставі цього результату оптимальний варіант рекомендовано як основу під час розробки проекту ЗЕ енергоблоків ХАЕС.

Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів ХАЕС для оптимального варіанта наведені в табл. 12.

Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1 і 2 ХАЕС наведені в табл. 13.

**Розробка системи поводження з РАВ на ХАЕС для підготовки РАВ до передання на захоронення.** Основним завданням модернізації системи поводження з РАВ на ХАЕС є створення КІТРВ. Відповід-

**Таблиця 11. Загальна інформація про діючі енергоблоки ХАЕС**

Енергоблок	Тип енергоблока	Дата пуску	Термін проектно-ї експлуатації, років	Дата кінця проектно-ї експлуатації	Термін подовженої експлуатації, років	Дата остаточної зупинки
ХАЕС-1	ВВЕР-1000/В-320	22.12.1987	30	13.12.2018	20	13.12.2038
ХАЕС-2	ВВЕР- 1000/В-320	07.08.2004	30	07.09.2035	20	07.09.2055

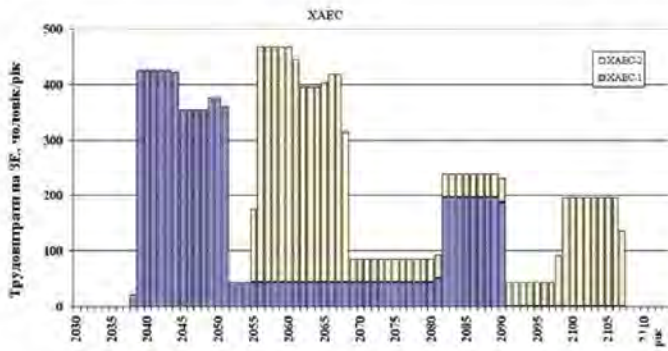


Рис. 9. Базовий варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків ХАЕС

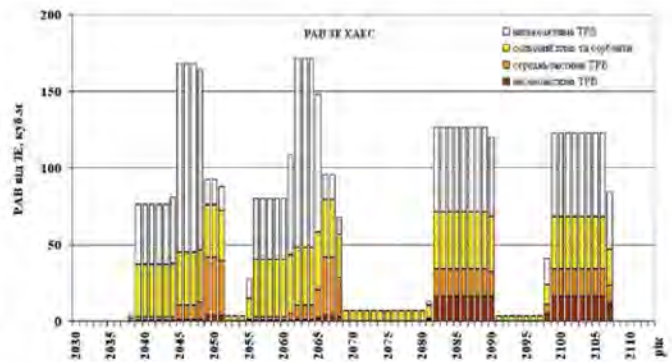


Рис. 11. Базовий варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ХАЕС

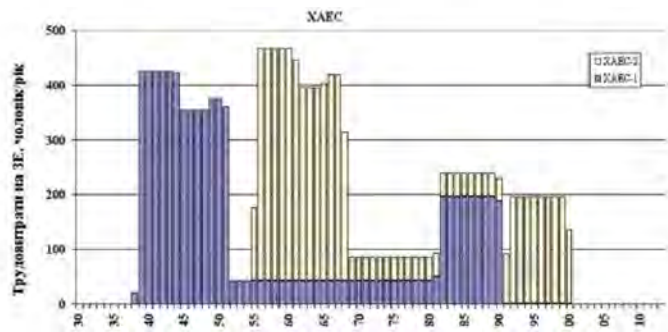


Рис. 10. Оптимальний варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків ХАЕС

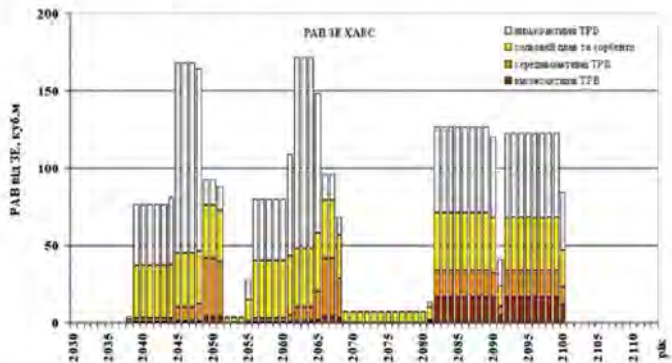


Рис. 12. Оптимальний варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ХАЕС

Таблиця 12. Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів ХАЕС для оптимального варіанта

Найменування об'єкта	Дата пуску (початку експлуатації)	Дата завершення експлуатації	Дата завершення ЗЕ
<b>Ядерні установки</b>			
Енергоблок № 1	13.12.1988	13.12.2038	13.12.2090
Енергоблок № 2	07.09.2005	07.09.2055	07.09.2107
<b>Об'єкти з поводження з РАВ</b>			
Сховища РАВ СК (СРВ, СТРВ)	13.12.1988	07.09.2107	Знімаються з експлуатації після ЗЕ ЯУ
БЗП	13.12.1988	07.09.2107	
СРІ	13.12.1988	07.09.2107	
СТРВ	13.12.1988	07.09.2107	

Таблиця 13. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1 і 2 ХАЕС

Назва стадії	Енергоблок			
	№ 1		№ 2	
	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років
Припинення експлуатації	13.12.2038	6	07.09.2055	6
Остаточне закриття	13.12.2044	4	07.09.2061	4
Консервація	13.12.2048	3	07.09.2065	3
Витримка	13.12.2051	30	07.09.2068	23
Демонтаж	13.12.2081	9	07.09.2091	9
Разом	-	52	-	45



но до Комплексної програми поводження з РАВ ДП «НАЕК «Енергоатом»» ПМ-Д.0.18.174-16 його створення планується впродовж 2017–2021 рр. Проектування комплексу здійснюється у дві черги без виділення пускових комплексів.

У складі першої черги передбачається введення в експлуатацію установок, що розміщуватимуться у блоці переробки СТРВ та призначені для:

- сортування і фрагментації відходів;
- спалювання на органічному паливі;
- пресування (суперкомпактор);
- вимірювання активності.

До складу другої черги входять установки: вилучення відходів; цементування; дезактивації металу і обладнання.

Установка з вилучення твердих РАВ розташовуватиметься у СТРВ СК, установки цементування та дезактивації металу — у блоці переробки СТРВ.

Розміри щорічних фінансових відрахувань на ЗЕ енергоблоків ХАЕС наведені в табл. 14.

**Таблиця 14. Щорічні відрахування на ЗЕ енергоблоків № 1 і 2 ХАЕС за базовим варіантом відкладеного демонтажу (у разі продовження терміну експлуатації на 20 років)**

Відрахування на ЗЕ за базовим варіантом	Енергоблок		Разом
	№ 1	№ 2	
Рік початку відрахувань на ЗЕ	2005	2005	–
Рік завершення відрахувань на ЗЕ	2090	2055	–
Розмір щорічних відрахувань на ЗЕ після 2016 р., млн грн/рік	36,2	60,8	97,0

### Основні положення концепції ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС

Концепція ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС переглянута у 2017 р. [12]. Для всіх енергоблоків обрана стратегія ЗЕ з відкладеним демонтажем.

**Об'єкти ЗЕ ЮУАЕС.** Як окремі об'єкти ЮУАЕС, що належать до ЯУ і підлягають ЗЕ після завершення терміну їхньої експлуатації, розглядаються енергоблоки № 1–3 (з реакторами ВВЕР-1000 різних модифікацій).

Як об'єкти ЮУАЕС, що належать до групи об'єктів з поводження з РАВ та підлягають ЗЕ після ЗЕ ЯУ, у цій

концепції розглядаються будівля баків сховища рідких відходів (СРВ), сховища парогенераторів (СПГ 1-5), сховище слабоактивних відходів (ССВ), СРІ, СТРВ-1, 2.

У концепції ЗЕ ЮУАЕС не розглядаються об'єкти з поводження з ВЯП. Діюча схема поводження з ВЯП ЮУАЕС базована на технічних рішеннях, закладених у вихідному проекті ЮУАЕС — вивезення ВЯП до РФ на технологічне зберігання та переробку з наступним поверненням в Україну високоактивних відходів від переробки.

Передбачається диверсифікація схеми поводження з ВЯП реакторів ВВЕР-1000 ЮУАЕС шляхом забезпечення можливості тривалого безпечного зберігання ВЯП ЮУАЕС у ЦСВЯП.

Об'єкти загальностанційного призначення, які не є ЯУ або об'єктами з поводження з РАВ ЮУАЕС, у концепції не розглядаються як об'єкти, що підлягають ЗЕ. Експлуатація цих об'єктів або їхнє ЗЕ відбуватиметься відповідно до планів подальшого використання майданчика ЮУАЕС. Станом на поточний момент конкретні плани використання проммайданчика ЮУАЕС не розроблені.

Загальна інформація про діючі енергоблоки ЮУАЕС станом на 31.12.2018 р. наведена в табл. 15.

**Таблиця 15. Загальна інформація про діючі енергоблоки ЮУАЕС**

Енергоблок	Тип енергоблока	Дата пуску	Термін проектно-ї експлуатації, років
ЮУАЕС-1	ВВЕР-1000/В-302	30.12.1982	30
ЮУАЕС-2	ВВЕР-1000/В-338	06.01.1985	30
ЮУАЕС-3	ВВЕР-1000/В-320	20.09.1989	30

Дата кінця проектно-ї експлуатації	Термін подовженої експлуатації, років	Дата остаточної зупинки
02.12.2013	20	02.12.2033
12.05.2015	20	12.05.2035
10.02.2020	20	10.02.2040

**Варіанти ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС.** У концепції проведено оптимізацію ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС. Оптимальним варіантом ЗЕ енергоблоків № 1-3 ЮУАЕС визначено відкладений демонтаж з тривалістю стадії витримки 20, 27 і 31 рік відповідно.

Оптимальний варіант ЗЕ з відкладеним демонтажем забезпечує суттєві переваги з точки зору рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ.



Порівняння динаміки трудовитрат і щорічних обсягів перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС для базового і оптимального варіантів ЗЕ з відкладеним демонтажем наведено на рис. 13–16.

Як видно з рисунків, оптимальний варіант забезпечує суттєві переваги з точки зору рівномірності трудовитрат і завантаженості установок з переробки РАВ на стадії демонтажу.

На підставі вищевказаного оптимальний варіант рекомендується як основа під час розробки проекту ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС.

Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів ЮУАЕС для оптимального варіанта наведені в табл. 16.

Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1–3 ЮУАЕС наведені в табл. 17.

**Розробка системи поводження з РАВ на ЮУАЕС для підготовки РАВ до передання на захоронення.** Враховуючи значне фінансове навантаження на тариф, пов'язане із завершенням будівництва КПТРВ на ЗАЕС і РАЕС та початком будівництва КПРАВ на ХАЕС, визнано обґрунтованим і доцільним перенесення по-

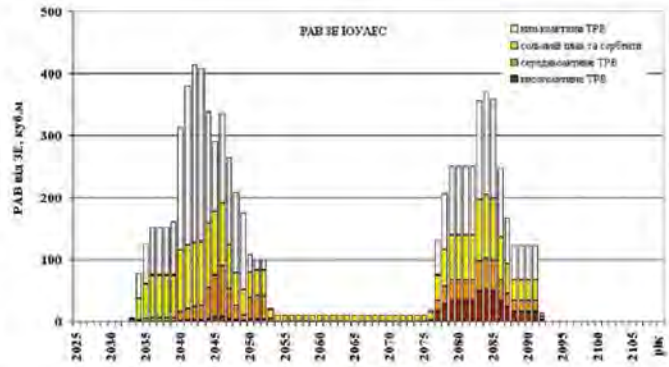


Рис. 15. Базовий варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС

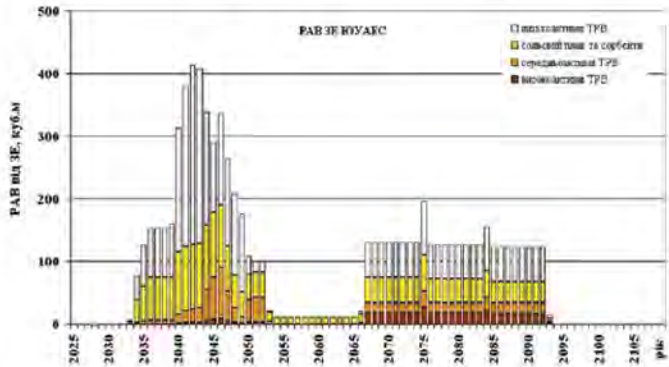


Рис. 16. Оптимальний варіант. Щорічні обсяги перероблених РАВ від ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС

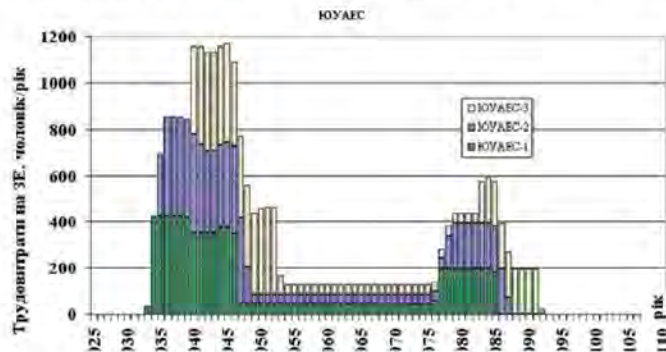


Рис. 13. Базовий варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС

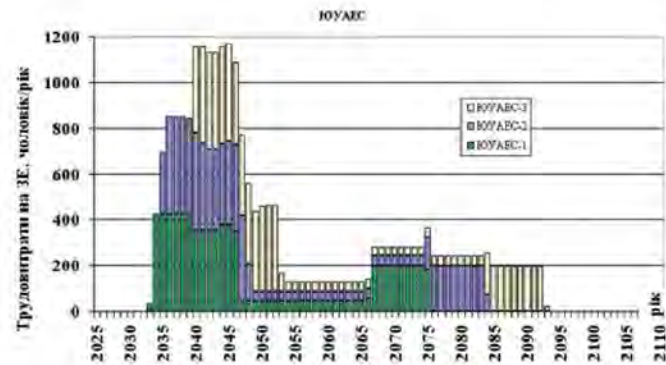


Рис. 14. Оптимальний варіант. Трудовитрати на ЗЕ енергоблоків ЮУАЕС

чатку будівництва КПРАВ у ЮУАЕС на 2019 р.

З метою удосконалення системи зберігання РАВ у Комплексній програмі поводження з РАВ ДП «НАЕК «Енергоатом» передбачено будівництво на ЮУАЕС сховища легкого типу для зберігання залізобетонних контейнерів з кондиційованими РАВ. Терміни виконання і вартість заходу будуть визначені після впровадження пілотного проекту на ЗАЕС.

Для зменшення кількості ТРВ на ЮУАЕС заплановано удосконалення ділянки дезактивації шляхом впровадження технології ультразвукової дезактивації радіоактивно забруднених матеріалів.

Розміри щорічних фінансових відрахувань на ЗЕ енергоблоків № 1–3 ЮУАЕС наведені в табл. 18.

### Порівняльний аналіз стану підготовки до ЗЕ діючих АЕС України відповідно до їхніх концепцій ЗЕ

Авторами був проведений порівняльний аналіз стану підготовки до ЗЕ діючих АЕС України згідно з концепціями їхнього ЗЕ за такими параметрами:

- стратегія ЗЕ;
- стратегія зберігання ВЯП;

**Таблиця 16. Прогнозовані терміни завершення експлуатації і ЗЕ об'єктів ЮУАЕС для базового варіанта**

Найменування об'єкта	Дата пуску (початку експлуатації)	Дата завершення експлуатації	Дата завершення ЗЕ
Ядерні установки			
Енергоблок № 1	31.12.1982	02.12.2033	02.12.2085
Енергоблок № 2	06.01.1985	12.05.2035	12.05.2087
Енергоблок № 3	20.09.1989	10.02.2040	10.02.2092
Об'єкти з поводження з РАВ			
Сховища РАВ СК (СРВ, СТРВ)	31.12.1982	10.02.2092	Знімаються з експлуатації після ЗЕ ЯУ
БЗП	-	10.02.2092	
СРІ	31.12.1982	10.02.2092	
СТРВ	31.12.1982	10.02.2092	

**Таблиця 17. Часові характеристики оптимального варіанта ЗЕ з відкладеним демонтажем енергоблоків № 1-3 ЮУАЕС**

Назва стадії	Енергоблок					
	№ 1		№ 2		№ 3	
	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років	Дата початку	Тривалість, років
Припинення експлуатації	02.12.2033	6	12.05.2035	6	10.02.2040	6
Остаточне закриття	02.12.2039	4	12.05.2041	4	10.02.2046	4
Консервація	02.12.2043	3	12.05.2045	3	10.02.2050	3
Витримка	02.12.2046	20	12.05.2048	27	10.02.2053	31
Демонтаж	02.12.2066	9	12.05.2075	9	10.02.2084	9
Разом	-	42	-	49	-	53

**Таблиця 18. Щорічні відрахування на ЗЕ енергоблоків № 1-3 ЮУАЕС за базовим варіантом відкладеного демонтажу (у разі продовження терміну експлуатації на 20 років)**

Відрахування на ЗЕ за базовим варіантом	Енергоблок			Разом
	№ 1	№ 2	№ 3	
Рік початку відрахувань на ЗЕ	2005	2005	2005	-
Рік завершення відрахувань на ЗЕ	2085	2087	2040	-
Розмір щорічних відрахувань на ЗЕ після 2016 р., млн грн/рік	41,4	38,3	95,9	175,6

**Таблиця 19. Спільні та відмінні риси стану підготовки до ЗЕ в оновлених концепціях ЗЕ діючих АЕС України**

Параметр	ЗАЕС	РАЕС	ХАЕС	ЮУАЕС			
<i>Спільні риси</i>							
Стратегія ЗЕ	Відкладений демонтаж	Відкладений демонтаж	Відкладений демонтаж	Відкладений демонтаж			
Розгляд варіантів ЗЕ	Базовий та оптимальний	Базовий та оптимальний	Базовий та оптимальний	Базовий та оптимальний			
Стан підготовки до КІРО	Розроблені посібники та методики, база даних. Розроблюються робочі програми КІРО	Розроблені посібники та методики, база даних. Розроблюються робочі програми КІРО	Розроблені посібники та методики, база даних. Розроблюються робочі програми КІРО	Розроблені посібники та методики, база даних. Розроблюються робочі програми КІРО			
Стратегія зберігання ВЯП	Контейнерне зберігання ВЯП	Контейнерне зберігання ВЯП	Контейнерне зберігання ВЯП	Контейнерне зберігання ВЯП			
Розробка системи поводження з РАВ	Побудовано КІПТРВ	Побудовано КІПТРВ	Будівництво КІПТРВ	Проектується КІПТРВ			
Фінансові відрахування на ЗЕ, млн грн	333,1	164,4	97,0	175,6			
Фінансові відрахування на захоронення РАВ, млн грн	286,8	136,4	99,3	149,0			
<i>Відмінні риси</i>							
Типи енергоблоків	ВВЕР-1000/В-320	ВВЕР-440/ В-213ВВЕР-1000/В-320	ВВЕР-1000/В-320	ВВЕР-1000/ В-302ВВЕР-1000/ В-338ВВЕР-1000/В-320			
Перспективи поводження з ВЯП	Довгострокове зберігання контейнерів (50 років) на ССВЯП	Вивіз до РФ. З 2020 р. довгострокове зберігання (100 років) на ЦСВЯП	Вивіз до РФ. З 2020 р. довгострокове зберігання (100 років) на ЦСВЯП	Вивіз до РФ. З 2020 р. довгострокове зберігання (100 років) на ЦСВЯП			
Базовий варіант ЗЕ АЕС	Початок ЗЕ 23.12.2035 19.02.2036 05.03.2037 04.04.2038 27.05.2040 21.10.2046	Кінець ЗЕ 23.12.2087 19.02.2088 05.03.2089 04.04.2090 27.05.2092 21.10.2098	Початок ЗЕ 22.12.2030 22.12.2031 11.12.2037 07.06.2055	Кінець ЗЕ 22.12.2082 22.12.2083 11.12.2089 07.06.2107	Початок ЗЕ 13.12.2038 07.09.2055	Кінець ЗЕ 13.12.2090 07.09.2107	Кінець ЗЕ 02.12.2085 12.05.2087 10.02.2092
Оптимальний варіант ЗЕ енергоблоків АЕС							
Організаційна структура діяльності із ЗЕ	Відсутня	Відсутня	Розроблена	Відсутня			
Деталізація реалізації стадій ЗЕ	Розроблена детальна послідовність ЗЕ систем енергоблоків на кожній стадії	Відсутня	Відсутня	Відсутня			



розгляд варіантів ЗЕ за відкладеним демонтажем; перспективи поводження з ВЯП; розробка системи поводження з РАВ; розробка організаційної структури діяльності з ЗЕ; деталізація реалізації стадій ЗЕ; стан підготовки до КІРО; фінансові відрахування на ЗЕ (залежать від року пуску енергоблока та виробітку ресурсу станом на 2005 р.); фінансові відрахування на захоронення РАВ (залежать від виробітку електроенергії).

Спільні та відмінні риси стану підготовки до ЗЕ в оновлених концепціях ЗЕ діючих АЕС України наведені в табл. 19.

Як бачимо з табл. 19, до спільних рис належать: стратегія ЗЕ — для всіх АЕС це відкладений демонтаж;

варіанти ЗЕ — у всіх концепціях розглянуті базовий (тривалістю 52 роки) та оптимальний варіанти ЗЕ (варіюється тривалість стадії витримки);

стратегія зберігання ВЯП — це сухе контейнерне зберігання;

стан підготовки до КІРО — на всіх АЕС розроблені посібники та методики, бази даних; розробляються робочі програми КІРО;

фінансові відрахування на ЗЕ розраховуються за однією методикою залежно від року пуску енергоблока та виробітку ресурсу станом на 2005 р.;

фінансові відрахування на захоронення з РАВ пропорційні виробітку електроенергії.

До відмінних рис належать:

типи енергоблоків;

перспективи поводження з ВЯП — на ЗАЕС довгострокове зберігання (50 років) на ССВЯП ЗАЕС, на інших станціях — вивіз ВЯП до РФ. З 2020 р. довгострокове зберігання (100 років) на ЦСВЯП;

оптимальні варіанти ЗЕ різні для всіх енергоблоків АЕС;

організаційна структура діяльності з ЗЕ розроблена тільки на ХАЕС;

послідовність реалізації стадій ЗЕ розроблена тільки на ЗАЕС.

## Висновки

1. В оновлених концепціях ЗЕ наведено результати аналізу майбутнього ЗЕ діючих енергоблоків АЕС України, що відповідають терміну продовження експлуатації ядерних енергоблоків на 20 років за межі 30-річного періоду, передбаченого вихідними проектами.

2. На основі аналізу світового досвіду, міжнародних рекомендацій і вимог чинного законодавства визначено два можливих варіанти ЗЕ ядерних енергоблоків діючих АЕС — відкладений демонтаж і невідкладний демонтаж, які є близькими за рівнем прийнятності за відносної переваги варіанта відкладеного демонтажу.

3. За результатами порівняльного аналізу цих двох варіантів у всіх концепціях ЗЕ діючих ядерних енергоблоків АЕС України базовим є варіант відкладеного демонтажу енергоблоків АЕС з витримкою 30 років, тому він може бути прийнятий за основу для побудови оптимальної стратегії їхнього ЗЕ.

4. Для всіх АЕС розглянуто оптимальні варіанти ЗЕ енергоблоків АЕС для відкладеного демонтажу з оптимальною витримкою від 20 до 30 років, тому він може бути взятий за основу для побудови оптимальної стратегії їхнього ЗЕ. На підставі цих результатів оптимальний варіант рекомендується як основа під час розробки проектів ЗЕ енергоблоків АЕС.

5. Проведено порівняльний аналіз стану підготовки до ЗЕ діючих АЕС України згідно з їхніми концепціями ЗЕ, встановлено спільні та відмінні риси стану підготовки до ЗЕ окремих АЕС.

## Список використаної літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р]. — 66 с.
2. НП 306.2.02/1.004-98 Загальні положення забезпечення безпеки при знятті з експлуатації атомних електростанцій і дослідницьких ядерних реакторів [Затверджено Наказом Мінекобезпеки України від 09.01.1998 р. № 2]. — Київ, 1998.
3. НП 306.2.141-2008 Загальні положення безпеки атомних станцій [Затверджено Наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 р. № 162]. — Київ, 2008.
4. Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities IAEA Specific Safety Guide no. SSG-47. — Vienna : IAEA, 2018. — 100 p.
5. Policies and strategies for the decommissioning of nuclear and radiological facilities. IAEA Nuclear Energy Series no. NW-G-2.1. — Vienna : IAEA, 2011. — 30 p.
6. IAEA-TECDOC-1084. Review of selected cost drivers for decision on continued operation of older nuclear reactors (Safety upgrades, lifetime extension, decommissioning). — Vienna: IAEA, 1999. — 134 p.



7. IAEA-TECDOC-1322. Decommissioning costs of WWER-440 nuclear power plants. — Vienna : IAEA, 2002. — 156 p.
8. Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України [Затверджена наказом Міністерства вугілля України від 10.12.2015 р. № 798]. — Київ, 2015.
9. 123456.1020.00.MP.00.KH.01-18. Концепция снятия с эксплуатации энергоблоков ОП «Запорожская атомная электростанция» [пересмотрена в 2018 г.].
10. 191-10-П-СНРиПЭ. Концепция снятия с эксплуатации энергоблоков ОП «Ривненская АЭС» [пересмотрена в 2017 г.].
11. 0.НР.5797.ПН-17. Концепция снятия с эксплуатации энергоблоков ВВЭР-1000 ОП «Хмельницкая АЭС» [пересмотрена в 2017 г.].
12. ПН.0.3812.0087. Концепция снятия с эксплуатации ОП «Южно-Украинская АЭС», [пересмотрена в 2017 г.].
13. Закон України «Про впорядкування питань, пов'язаних із забезпеченням ядерної безпеки» від 24.06.2004 р., № 1868-IV // Відомості Верховної Ради України. — 2004. — № 46. — ст. 511.
14. Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 р. № 2456-VI // Відомості Верховної Ради України. — 2010. — № 50-51. — ст. 572.
15. Постанова Кабінету Міністрів України «Питання створення, накопичення та використання фінансового резерву для зняття з експлуатації ядерних установок» від 27.04.2006 р. № 594 // Офіційний вісник України. — 2006 р. — № 18. — С. 42.
16. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16. «Витрати» [затверджено Наказом Міністерства фінансів України від 31.12.1999 р. № 318] // Офіційний вісник України. — 2000 р. — № 3. — С. 181.
17. СОУ-Н ЯЕК 1.007:2007 Проект зняття з експлуатації енергоблоку АЕС. Вимоги до складу та змісту [затверджено МПЕУ 21.12.2007 р. № 611, НАЕК 15.01.08 № 39-р].
18. СОУ НАЕК 015:2012 Зняття АЕС з експлуатації. Вимоги до змісту концепції зняття з експлуатації АЕС. — Київ, 2012. — Режим доступу: [http://archive.energoatom.kiev.ua/files/file/sou\\_naek\\_015\\_2012\\_zm.%202\).pdf](http://archive.energoatom.kiev.ua/files/file/sou_naek_015_2012_zm.%202).pdf).
19. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо поводження з РАВ» [Затверджено Постановою Верховної Ради України від 17.09.2008 р. № 515-VI] // Офіційний вісник України. — 2008 р. — № 78. — С. 7.
20. Податковий кодекс України [від 02.12.2010 р. № 2755-VI] // Офіційний вісник України. — 2010 р. — № 92, т. 1. — С. 9.
21. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995 р. № 255/95-ВР // Відомості Верховної Ради України. — 1995. — № 27. — ст. 198.
22. Закон України «Про розміщення, проектування та будівництво енергоблоків № 3 і 4 Хмельницької атомної електричної станції» від 06.09.2012 р. № 5217-VI // Офіційний вісник України. — 2012 р. — № 76. — С. 76.

### О. А. Пуртов, А. Н. Масько

*ГП «Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования»,  
просп. Героев Сталинграда, 64/56, Киев, 04213, Украина*

### Сравнительный анализ обновленных концепций снятия с эксплуатации действующих АЭС Украины

Приведены основные положения обновленных концепций снятия с эксплуатации (СЭ) действующих АЭС Украины. Во всех концепциях рассмотрены два возможных варианта СЭ энергоблоков АЭС — отложенный демонтаж и неотложный демонтаж, близкие по уровню приемлемости при относительном преимуществе варианта отложенного демонтажа.

По результатам сравнительного анализа этих двух вариантов базовым вариантом СЭ действующих ядерных энергоблоков АЭС Украины определен вариант отложенного демонтажа энергоблоков АЭС с выдержкой 30 лет перед демонтажем. Для всех энергоблоков АЭС разработаны оптимальные варианты СЭ энергоблоков АЭС для отложенного демонтажа с выдержкой от 20 до 30 лет. Оптимальные варианты рекомендованы в качестве основы при разработке проектов СЭ энергоблоков АЭС.

Дано описание развития систем обращения с радиоактивными отходами (РАО) на действующих АЭС для подготовки РАО к передаче государству на захоронение.

Для базовых вариантов СЭ АЭС приведены оценки отчислений эксплуатирующей организации в финансовый резерв СЭ и размеры ежегодных отчислений на захоронение эксплуатационных РАО и РАО СЭ.

Приведены результаты сравнительного анализа состояния подготовки к будущему СЭ согласно обновленным концепциям СЭ действующих АЭС Украины, найдены особенности, общие и отличительные черты состояния подготовки к снятию с эксплуатации каждой АЭС.



**Ключевые слова:** атомная электростанция, концепция снятия с эксплуатации, ВВЭР-440, ВВЭР-1000, долгосрочный прогноз снятия с эксплуатации, оценка отчислений на снятие с эксплуатации, продление ресурса, комплексное инженерно-радиационное обследование.

**О. А. Purtov, O. M. Masko**

SE "State Scientific Engineering Center for Control System and Emergency Response", 64/56, Heroiv Stalinhradu ave., Kyiv, 04213, Ukraine

### **Comparative Analysis of Updated Concepts of Decommissioning of Operating Nuclear Power Plants**

The basic provisions of updated concepts of decommissioning of operating NPPs of Ukraine are given. In all the concepts, two possible options for decommissioning of the NPP units are considered — delayed dismantling and urgent dismantling, which are close in acceptability with the relative advantage of the delayed dismantling option.

According to the results of the comparative analysis of these two variants, the basic variant of decommissioning of the operating NPP units of Ukraine is a variant of delayed dismantling of NPP units with a holding time of 30 years before dismantling. For all NPPs optimal variants of decommissioning have been developed for delayed dismantling with a delay of 20 to 30 years. Optimal variants are recommended as a basis for the development of NPP decommissioning projects.

The description of the development of radioactive waste (RAW) management systems at operational NPPs for the preparation of RAW for transmission to the state for disposal was made.

Assessments for basic variants of operating organization allocations to the financial reserve of decommissioning and amount of annual allocations to disposal of operating RAW and decommissioned RAW were given.

Comparative analysis of the preparation status of the operating nuclear power plants of Ukraine in accordance with the decommissioning concepts was carried out according to the following parameters: decommissioning strategy; spent nuclear fuel (SNF) storage strategy; consideration of options for delayed dismantling; prospects for SNF management; development of RAW management system; development of the organizational structure of the decommissioning activity; detail implementation of the decommissioning stages; state of preparation for the control engineering and radiation survey; financial allocations to decommissioning (depend on the

year of unit start-up and resource generation as at 2005); financial allocations to the disposal of RAW (depend on the generation of electricity).

**Keywords:** nuclear power plant, concept of decommissioning, WWER-440, WWER-1000, long-term forecast of decommissioning, assessment of allocations to decommissioning, extension of the resource, comprehensive engineering and radiation survey.

### **References**

1. *Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness"*. Approved by the Order of the Cabinet of Ministers dated 18.08.2017 no. 605-p, 66 p. (in Ukr.)
2. NP 306.2.02/1.004-98. *General safety provisions for decommissioning of nuclear power plants and research nuclear reactors*. Approved by the Order of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine dated 09.01.1998 no. 2. Kyiv, 1998. (in Ukr.)
3. NP 306.2.141-2008. *General safety provisions of nuclear power plants*. Approved by the Order of the State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine dated 19.11.2007 no. 162. Kyiv, 2008. (in Ukr.)
4. *Decommissioning of Nuclear Power Plants, Research Reactors and Other Nuclear Fuel Cycle Facilities*. IAEA Specific Safety Guide no. SSG-47. Vienna: IAEA, 2018, 100 p.
5. *Policies and strategies for the decommissioning of nuclear and radiological facilities*. IAEA Nuclear Energy Series no. NW-G-2.1. Vienna: IAEA, 2011, 30 p.
6. IAEA-TECDOC-1084. *Review of selected cost drivers for decision on continued operation of older nuclear reactors (Safety upgrades, lifetime extension, decommissioning)*. Vienna: IAEA, 1999, 134 p.
7. IAEA-TECDOC-1322. *Decommissioning costs of WWER-440 nuclear power plants*. Vienna, IAEA, 2002, 156 p.
8. *The concept of decommissioning of nuclear power plants in Ukraine*. Approved by the Order of the Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine dated 10.12.2015 no. 798. Kyiv, 2015. (in Ukr.)
9. 123456.1020.00.MR.00.KN.01-18. *The concept of decommissioning of power units of Zaporizhzhya Nuclear Power Plant* [revised in 2018]. (in Russ.)
10. 191-10-P-SNRiPE. *The concept of decommissioning of power units of Rivne Nuclear Power Plant* [revised in 2017]. (in Russ.)
11. 0.NR.5797.PN-17. *The concept of decommissioning of power units of Khmelnytsky Nuclear Power Plant* [revised in 2017]. (in Russ.)



12. PN.0.3812.0087. *The concept of decommissioning of power units of South Ukraine Nuclear Power Plant* [revised in 2017]. (in Russ.)
13. Law of Ukraine “On regulation of issues related to nuclear safety”. Approved on 24.06.2004 no. 1868-IV. *Bulletin of the Verkhovna Rada*, vol. 46, art. 511. (in Ukr.)
14. Budget Code of Ukraine. Approved on 08.07.2010 no. 2456-VI. *Bulletin of the Verkhovna Rada*, vol. 50-51, art. 572. (in Ukr.)
15. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “Issue of creation, accumulation and use of financial reserve for decommissioning of nuclear installations” dated 27.04.2006 no. 594. *Official Bulletin of Ukraine*, vol. 18, p. 42. (in Ukr.)
16. Accounting Standard 16. “Expenditure”. Approved by the Order of the Ministry of Finance of Ukraine dated 31.12.1999 no. 318. *Official Bulletin of Ukraine*, 2000, vol. 3, p. 181. (in Ukr.)
17. SOU-N JaEK 1.007:2007. *NPP decommissioning project. Requirements for composition and content*. Approved by the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine dated 21.12.2007 no. 611, NNEGC dated 15.01.08 no. 39-p. (in Ukr.)
18. SOU NAEK 015:2012. *NPP decommissioning. Requirements for the content of the concept of NPP decommissioning*. — Kyiv, 2012. — Available at: [http://archive.energoatom.kiev.ua/files/file/sou\\_naek\\_015\\_2012\\_zm.%202\).pdf](http://archive.energoatom.kiev.ua/files/file/sou_naek_015_2012_zm.%202).pdf) (in Ukr.)
19. Law of Ukraine “On amendments to some laws of Ukraine on radioactive waste management”. Approved by Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine of 17.09.2008 no. 515-VI. *Official Bulletin of Ukraine*, 2008 r, vol. 78, p. 7. (in Ukr.)
20. Tax Code of Ukraine. Approved on 02.12.2010 no. 2755-VI. *Official Bulletin of Ukraine*, 2010, vol. 92, no. 1, p. 9. (in Ukr.)
21. Law of Ukraine “On the management of radioactive waste”. Approved on 30.06.1995 no. 255/95-VR. *Bulletin of the Verkhovna Rada*, vol. 27, art. 198. (in Ukr.)
22. Law of Ukraine “About Placement, Design and Construction of Units 3 and 4 of Khmelnytsky Nuclear Power Plant”. Approved on 06.09.2012 no. 5217-VI. *Official Bulletin of Ukraine*, 2012, vol. 76, p. 76. (in Ukr.)

Надійшла 20.09.2019

Received 20.09.2019