

SECTION 19.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

DOI 10.36074/logos-29.03.2024.059

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ В УПРАВЛІННІ ВІДХОДАМИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Катенін Вадим Дмитрович¹, Самойленко Наталія Миколаївна²

1. аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», УКРАЇНА

ORCID ID: 0000-0002-6609-2652

2. канд. наук, доцент, проф. кафедри хімічної техніки та промислової екології

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», УКРАЇНА

ORCID ID: 0000-0003-0306-8425

Управління відходами сонячних фотоелектричних панелей (СФЕП) передбачає екологічно безпечне поводження з ними на усіх циклах операцій. Найбільш відповідальними є технічно обґрунтовані рішення щодо використання відходів при їх переробці чи утилізації. Взаємозв'язок екологічного ризику та екологічної безпеки може стати імовірною характеристикою формування і дії шкідливих чинників на даних стадіях, які слід враховувати при визначенні напрямків поводження з відходами.

Досліджено, що підходи багатокритеріального прийняття рішень (БКПР) сприяють управлінню екологічними ризиками завдяки здатності аналізувати різні аспекти одночасно (в тому числі й екологічні) [1, 2]. БКПР може створювати основу для сприяння зменшення екологічної небезпеки поводження з відходами СФЕП для забезпечення якості навколишнього середовища та збереження здоров'я людей.

У якості критеріїв при застосуванні багатокритеріального аналізу рішень визначення ризиків екологічної небезпеки при переробці та утилізації відходів СФЕП пропонується використати: оцінку стану відходів, екологічні і економічні ризики та визначення загального екологічного ризику відходів.

Критерій 1. Оцінка стану сонячних фотоелектричних панелей.

Розглядаються характеристики механічного пошкодження, ефективності роботи панелі, тривалості служби та технічного стану компонентів панелі.

Механічні пошкодження (коефіцієнт значимості – 30%). До них можливо віднести тріщини, сколи, пошкодження рами або захисного скла. Тріщини та

сколи - це найпоширеніші види механічного пошкодження, які можуть виникнути внаслідок фізичного впливу природного характеру (буря, що супроводжується падінням гілок дерев, сильний град), воєнних дій чи екстремальних температурних коливань. Тріщини у фотоелектричних елементах або сколи на поверхні можуть істотно знижувати ефективність панелі. Негативною характеристикою, що може привести до зниження продуктивності та тривалості служби панелі, є пошкодження рами чи захисного скла, так як рама забезпечує структурну цілісність панелі, а захисне скло захищає фотоелектричні елементи від зовнішнього середовища.

Ефективність роботи панелі (коефіцієнт значимості – 30%). З часом всі сонячні панелі втрачають частину своєї ефективності, що відноситься до нормальних експлуатаційних явищ. Однак, значне зниження продуктивності у певному періоді роботи панелі може свідчити про внутрішні пошкодження або дефекти (наприклад, невизначені недоліки виробництва панелі) і вимагає її заміни. Порівняння здійснюється вимірюванням ефективності поточної вихідної потужності з потужністю, зазначеною при випуску панелі.

Тривалість служби (коефіцієнт значимості – 20%). Сонячні панелі, як правило, мають очікувану тривалість служби від 25 до 30 років. Панелі, що наближаються до кінця свого життєвого циклу або вже перевищили його, можуть мати знижену ефективність та надійність. Оцінка тривалості служби допомагає визначити, наскільки довго панель ще може бути ефективною.

Технічний стан компонентів панелі (коефіцієнт значимості – 20%). Надійність електричних з'єднань критично важлива для забезпечення стабільної роботи сонячних панелей. Пошкодження або старіння інверторів та інших ключових компонентів можуть вплинути на загальну продуктивність системи.

Критерій 2. Екологічні ризики.

Екологічні ризики формуються із ряду чинників, до яких можливо віднести наступні:

1) вміст токсичних речовин (наявність і концентрація шкідливих речовин, таких як свинець, кадмій, арсен). Коефіцієнт значимості – 40%;

2) генерація відходів (коефіцієнт значимості – 15%). Розглядається обсяг неперероблених відходів, які можуть забруднити довкілля;

3) вплив на біорізноманіття (коефіцієнт значимості – 15%). Аналізується потенційний негативний вплив на місцеві екосистеми, що має місце у процесах рециклінгу;

4) ризик забруднення ґрунту та ґрунтових вод, що пов'язується з накопиченням токсичних речовин у верхньому шарі ґрунту та проникнення їх у ґрунтові води (коефіцієнт значимості – 15%);



SECTION 19.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

5) природно-антропогенний вплив (коефіцієнт значимості – 15%) включає:

- військові дії, пов'язані з пошкодженням або знищенням інфраструктури, що може ускладнити або зробити неможливим процес утилізації і переробки відходів, а також призвести до негативних екологічних наслідків для довкілля;
- вплив погодних явищ, що являють собою ризики, які стосуються екстремальних погодних умов, таких як урагани, сильні вітри, град, що можуть призвести до фізичних пошкоджень панелей і їх компонентів;
- пожежі, які породжують ризик пошкодження або знищення панелей внаслідок природних або антропогенних пожеж, що також можуть призвести до викиду токсичних речовин у навколишнє середовище.

Критерій 3. Економічні ризики.

Передбачається аналіз:

- можливості рециклінгу відходів, що включає оцінку складності та вартості процесу переробки матеріалів (коефіцієнт значимості – 50%);
- залишкової вартості матеріалів, яка визначає потенційну економічну вигоду від відновлення та повторного використання матеріалів (коефіцієнт значимості – 50%).

4. Визначення загального екологічного ризику

Кожен елемент критерію отримує оцінку від 0 до 100 балів, де 0 означає найгірший стан, а 100 – ідеальний. Загальний екологічний ризик відходів панелей визначається шляхом зважування оцінок за кожним критерієм відповідно до їх важливості. Так, наприклад, панель з високою ефективністю та низьким вмістом токсичних речовин менший загальний екологічний ризик.

5. Приклад розрахунку

При визначенні загального екологічного ризику відходів фотоелектричних панелей із застосуванням багатокритеріального аналізу використовуються кількісні показники критеріїв (таблиця 1) та відповідні їм коефіцієнти значимості (таблиця 2). Значення критеріїв прийняті умовні.

Таблиця 1

Демонстраційна оцінка панелей за критеріями

Критерій/Панель	Панель 1	Панель 2	Панель 3
Стан сонячних фотоелектричних панелей			
Механічні пошкодження	70	50	80
Ефективність роботи	80	60	90
Тривалість служби	90	70	85
Технічний стан компонентів	75	55	95
Екологічні ризики			
Вміст токсичних речовин	90	85	75
Генерація відходів	80	75	70

Продовження табл. 1

Критерій/Панель	Панель 1	Панель 2	Панель 3
Вплив на біорізноманіття	85	80	65
Ризик забруднення ґрунту	85	90	80
Природно-антропогенний вплив	75	70	60
Економічні ризики			
Можливості рециклінгу відходів	80	70	60
Залишкової вартості матеріалів	50	60	80

[авторська розробка]

Загальна оцінка стану кожної сонячної панелі, що відповідає її екологічному ризику, представлена у таблиці 3.

Таблиця 2

Оцінка відходів панелей з урахуванням коефіцієнту значимості

Критерій/Панель	Коефіцієнт значимості %	Панель 1	Панель 2	Панель 3
Стан сонячних фотоелектричних панелей				
Механічні пошкодження	30	21.0	15.0	24.0
Ефективність роботи	30	24.0	18.0	27.0
Тривалість служби	20	18.0	14.0	17.0
Технічний стан компонентів	20	15.0	11.0	19.0
Екологічні ризики				
Вміст токсичних речовин	40	36.0	34.0	30.0
Генерація відходів	15	12.0	11.25	10.5
Вплив на біорізноманіття	15	12.75	12.0	9.75
Ризик забруднення ґрунту	15	12.75	13.50	12.0
Природно-антропогенний вплив	15	11.25	10.5	9.0
Економічні ризики				
Можливості рециклінгу відходів	50	40.0	35.0	30.0
Залишкової вартості матеріалів	50	25.0	30.0	40.0

[авторська розробка]

Таблиця 3

Загальна оцінка стану відходів фотоелектричних панелей

Панель	Загальна оцінка, бали
Панель 1	227.75
Панель 2	204.25
Панель 3	228.25

[авторська розробка]



SECTION 19.

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

Зіставлення загальних оцінок стану відходів фотоелектричних панелей показує, що панель 2 має більш високий показник екологічного ризику (204.25), порівняно за панелями 1 та 3 (227,75 та 228,25 відповідно).

Висновок. Відходи СФЕП з низьким екологічним ризиком (у прикладі панелі 1 та 3) можуть бути рекомендовані до повторного використання у менш вимогливих умовах ніж експлуатувались раніше (наприклад, для освітлення вуличних ліхтарів, реклами, сільському господарстві, допоміжних приміщення). Панелі з високим ризиком слід направляти на утилізацію або переробку з метою мінімізації екологічних ризиків.

Дана система критеріальних оцінок може бути адаптована або деталізована залежно від конкретних потреб і доступності даних. Важливо також враховувати місцеве законодавство та норми щодо утилізації та переробки електроніки і сонячних фотоелектричних панелей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Koppiahraj Karuppiah, Bathrinath Sankaranarayanan. An integrated multi-criteria decision-making approach for evaluating e-waste mitigation strategies. *Applied Soft Computing*. Volume 144, September 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110420>
- [2] Samuele Marinello, Rita Gamberini. Multi-Criteria Decision Making Approaches Applied to Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A Comprehensive Literature Review. *Toxics* 2021, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/toxics9010013>