

Список використаних джерел.

1. Спірін А. В., Твердохліб І. В., Купчук І. М., Побережець Ю. М. Обґрунтування енергоефективних режимів процесу досушування продуктів фракційної переробки люцерни. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 2 (113). С. 142–151.
2. Mykhailov Y., Zadosna N., Postnikova M., Pedchenko H., Khmelovskyi V., Bondar M., Ionichev A., Kozdęba M., Tomaszewska-Górecka W. Energy assessment of the pneumatic sieve separator for agricultural crops. *Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 25, No. 1. P. 147–155.
3. Adapa P. K., Schoenau G. J., Arinze E. A., Sokhansanj S. Fractionation of alfalfa into leaves and stems using a rotary drum dryer. *Biosystems Engineering*. 2005. Vol. 91, No. 4. P. 455–463.
4. Moiceanu G., Paraschiv G., Voicu G., Dinca M., Negoita O., Chitoiu M., Tudor P. Energy consumption at size reduction of lignocellulosic biomass for bioenergy. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, No. 9. Art. 2477.
5. Gomes T. L. C., Lourenço G. A., Ataíde C. H., Duarte C. R. Biomass feeding in a dilute pneumatic conveying system. *Powder Technology*. 2021. Vol. 391. P. 321–333.

Науковий керівник: Купчук І.М., к.т.н., доц.

УДК 620.9:621.383.51:631](477)

**МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ
ФОТОГАЛЬВАНІЧНИХ МОДУЛІВ В АГРАРНИХ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ
ДОСВІДУ NREL**

*Філіпович Є., здобувач вищої освіти СВО «Магістр»,
Дяденчук А., к.т.н., доц.*

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя, Україна*

Фотогальванічні системи (ФГС) в аграрних регіонах України працюють у середовищі з високою концентрацією пилу, ґрунтових частинок, органічних аерозолів та продуктів агротехнічних робіт. Забруднення поверхні модулів призводить до зниження генерації, прискорення деградації матеріалів та збільшення експлуатаційних витрат [1], тому виникає потреба у створенні системи моніторингу забруднення фотомодулів, адаптованої до аграрних умов України. У США подібні дослідження систематично проводяться Національною лабораторією відновлюваної енергетики (NREL), де створено мережу станцій оцінювання забруднення (soiling-станцій) та розроблено методики аналізу часових рядів забруднення. В Україні такі дослідження практично відсутні, що ускладнює прогнозування продуктивності ФГС у сільськогосподарських регіонах.

Метою даного дослідження є адаптація методології NREL до умов України та формування методичних рекомендацій для оцінювання забруднення та деградації фотогальванічних модулів у аграрному середовищі.

Методика NREL базується на використанні soiling-станцій, що складаються з двох ідентичних ФГ-модулів або комірок: чистого модуля, який регулярно очищується та забрудненого модуля, який не очищується [2]. Основним показником є коефіцієнт забруднення, швидкість його накопичення оцінюють регресійними методами в сухі періоди. Дані попередньо фільтрують за освітленістю, усереднюють до добових значень, згладжують ковзною медіаною та калібрують так, щоб початковий період мав $SRatio = 1$.

Аграрні регіони України характеризуються значною сезонною запиленістю, яка різко зростає під час оранки, посіву та збирання врожаю. Крім того, характерними є різкі температурні коливання, що впливають на термічну деградацію матеріалів. Сукупність цих

факторів формує унікальний профіль забруднення фотомодулів, суттєво відмінний від умов, у яких працюють американські станції NREL. Тому для українських умов пропонується створення мінімальної станції моніторингу, що складається з двох однакових фотогальванічних модулів, датчиків освітленості, температури та базових метеорологічних параметрів (рис. 1).



Рис. 1. Станція оцінювання забруднення сонячних модулів у польових умовах

Установку (рис. 1) доцільно розміщувати у відкритому аграрному середовищі, що забезпечує репрезентативність умов для регіонів з інтенсивним сільськогосподарським виробництвом. До її складу входять два сонячні модулі (чистий і забруднений) змонтовані на металевій рамі, а позаду розташовується метеорологічна станція з анемометром, сенсором освітленості та датчиками температури навколишнього середовища.

Первинні вимірювання нормуються за освітленістю, після чого формується добовий коефіцієнт забруднення, який визначається як відношення струмів короткого замикання чистого та забрудненого модулів [2]:

$$SRatio(i) = \frac{I_{sc,soiled(i)}}{I_{sc,clean(i)}}$$

Подальша обробка включає фільтрацію за рівнем освітленості, згладжування короткою ковзною медіаною та калібрування початкового періоду. Сухі періоди визначаються за умовою опадів менше 0,5 мм/день, оскільки дрібні дощі в українських умовах не забезпечують повного очищення поверхні модулів. Швидкість накопичення забруднення оцінюється методом Тейла-Сена [3], стійким до шуму та випадкових коливань, і визначається як нахил зміни коефіцієнта забруднення у часі:

$$SRate = median\left(\frac{SRatio(t_j) - SRatio(t_i)}{t_j - t_i}\right),$$

де i та j – індекси вибірки, що відповідають двом різним моментам часу, з умовою $i < j$.

Забруднення впливає не лише на миттєву продуктивність, а й на довгострокову деградацію модулів. Нерівномірне освітлення та локальний перегрів прискорюють старіння матеріалів, а органічні та мінеральні частинки змінюють оптичні властивості поверхні. Тому результати моніторингу доцільно інтегрувати у моделі прогнозування ресурсу, де деградація розглядається як поєднання впливів забруднення, температурних процесів та фотостаріння. Такий підхід дозволяє оцінювати реальний стан модулів у аграрних регіонах України та прогнозувати їхню ефективність у довгостроковій перспективі.

Отримані результати обробки дозволяють сформувати детальні часові ряди забруднення та простежити характерні для аграрних регіонів України тенденції його накопичення. Аналіз таких даних дає змогу виявляти сезонні піки запиленості, оцінювати ефективність природного очищення під час опадів, визначати періоди підвищених ризиків для роботи фотомодулів та встановлювати зв'язок між забрудненням, температурними умовами й деградаційними

процесами. Сформована база спостережень створює підґрунтя для подальшого моделювання продуктивності ФГС та оптимізації стратегій їх обслуговування в реальних польових умовах.

Таким чином, методика NREL може бути ефективно адаптована для оцінювання забруднення та деградації фотогальванічних модулів в аграрних регіонах України. Запропонований підхід враховує кліматичні та технологічні особливості українських регіонів і дозволяє формувати достовірні профілі забруднення. Створення мережі українських soiling-станцій є перспективним напрямом розвитку досліджень у сфері відновлюваної енергетики та може стати основою для формування національної бази даних.

Список використаних джерел.

1. Цих В., Кульчак А., Яворський А. Аналіз досліджень впливу температури на деградацію та ефективність роботи сонячних панелей. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 2(76). С. 37-45.

2. Micheli L., Muller M. T., Deceglie M. G., Ruth D. Time series analysis of photovoltaic soiling station data: Version 1.0, august 2017. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2017. №. NREL/TP-5J00-69131.

3. Sen P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 1968. Vol. 63, No. 324. P. 1379–1389.

UDC 631.42:519.687

**SIMULATION METHODOLOGY FOR SOIL-TOOL INTERACTION USING
SIMCENTER STAR-CCM+**

**Tesliuk H., PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Belikov M., PhD student,
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine**

The study focuses on the simulation of interactions between agricultural soil-working tools and soil using Simcenter STAR-CCM+. Four common working tools were selected for analysis: the sweep cultivator blade, spring-tooth disc harrow, deep ripper (chisel plow), and moldboard plow. Geometric dimensions of the tools are presented in Figure 1.

