

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УМОВАХ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В. Ю. Рамиш, кандидат технічних наук, доцент

М. В. Потапенко, кандидат технічних наук, доцент

В. Л. Шаршонь, асистент

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України "Бережанський агротехнічний інститут"*

E-mail: m.potapenko19@gmail.com

Анотація. Одним із найбільш популярних альтернативних джерел є фотоелектричні джерела електричної енергії або сонячні панелі.

В умовах сільського господарства однією з основних проблем при експлуатації сонячних панелей є проблема їх запиленості внаслідок обдування сильними вітрами, що піднімають велику кількість пилу в повітря, у тому числі технологічного, характерного для таких галузей, як рослинництво та тваринництво.

Ефективним є захист сонячних модулів від забруднення з використанням електронно-іонної технології, на основі якої запропоновано електростатичний пристрій захисту сонячних модулів від забруднення. Особливістю цього пристрою є використання в його конструкції діелектричних матеріалів.

Метою дослідження є висвітлення принципів удосконалення пристрою захисту сонячних модулів від забруднення для підвищення ефективності їх експлуатації в умовах сільського господарства.

Запропонований метод дозволяє знизити забрудненість сонячних модулів та збільшити ефективність виробництва електричної енергії. Застосування в конструкції пристрою осаджувальних пластин покритих діелектричним матеріалом підвищує електричну безпеку цього пристрою.

Основними силами, що впливають на частинки пилу при їх осадженні є сила опору середовища, сила, обумовлена нерівномірністю розподілу напруженості електричного поля, а також сила дії електричного поля. Крім цих сил, на ефективність осадження пилових частинок впливає напруженість електричного поля, для осаджувальних пластин і відстань між ними.

Висока розрахункова ефективність осадження пилових частинок передбачає доцільність використання цього електростатичного пристрою захисту фотоелектричних модулів від забруднення.

Ключові слова: сонячний модуль, електростатичний пристрій, осаджувальні пластини, пилова частинка, сила опору середовища, напруженість електричного поля

Актуальність. Одним із найбільш популярних альтернативних джерел є фотоелектричні джерела електричної енергії або сонячні панелі.

У сучасних сонячних панелей значення ККД становить від 15 % до 30 % залежно від типу фотоелемента і виробника, тоді як на початку появи цієї технології їх ККД становив близько 1 % [1].

Нині факторами підвищення ефективності сонячних панелей є не лише покращення технологій у сфері виробництва фотоелектричних елементів, а й інтенсивний розвиток автоматики. Існує ряд автоматизованих систем, основними з яких є автоматичні системи нахилу панелей та автоматичні системи очищення панелей.

Система нахилу дозволяє розвертати панелі шляхом повороту сервоприводом або двигуном постійного струму з редуктором орієнтуючись за положенням сонця протягом доби.

В умовах сільського господарства однією з основних проблем при експлуатації сонячних панелей є проблема їх запиленості внаслідок обдування сильними вітрами, що піднімають велику кількість пилу в повітря, у тому числі технологічного, характерного для таких галузей, як рослинництво та тваринництво.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Будь-яке забруднення призводить до затінення частини поверхні сонячних елементів, що сприяє зниженню поглинання ними сонячної енергії, а відповідно і кількості електричної енергії, що виробляється. Тому дуже важливо як мінімум підтримувати ККД на рівні номінального. Для цього потрібно не допустити потрапляння на поверхню сонячних фотоелектричних модулів механічних частинок або регулярно очищати поверхню від них [2].

Існує три основних методи очищення фотоелектричних сонячних модулів: пасивний, активний ручний та активний автоматичний.

Перший метод полягає у самоочищенні поверхні сонячного модуля під дією сили тяжіння завдяки крутому куту нахилу.

Другий, активний ручний метод передбачає використання підручних засобів. При цьому методі видалення може бути утруднене у випадку, якщо фотоелектричні модулі розташовані на великій висоті.

Третій метод, активний автоматичний, передбачає використання електричних систем або механічних пристроїв, здатних очищати поверхню сонячних модулів без безпосередньої участі людини.

Мета дослідження – висвітлення принципів удосконалення пристрою захисту сонячних модулів від забруднення для підвищення ефективності їх експлуатації в умовах сільського господарства.

Матеріали і методи дослідження. Основою автоматичних систем є принцип прийняття рішення про початок очищення панелей. Бувають системи очищення з ручною активацією, з роботою за заданим графіком та автономні системи очищення із запуском за показами датчиків забруднення, або які аналізують спад графіка генерації електроенергії.

У тандемі з підігрівом сонячних панелей застосовують вібраційний метод очищення, що передбачає крім наявності нагрівних провідників, установку чотирьох вібраційних пристроїв, які прискорюють процес скочування снігової маси з поверхні панелей при меншому нагріванні.

Існує метод очищення в зимовий період часу, що дозволяє використовувати проводи для обігріву панелей як джерело вібрацій. Це досягається шляхом подачі змінного струму частоти, що відповідає частоті власних коливань провідників, через що відбувається резонанс частот, і проводи починають не тільки нагріватися, а й вібрувати [3].

Ефективним є захист сонячних модулів від забруднення з використанням електронно-іонної технології.

Суть методу електронно-іонної технології полягає в тому, що пилові частинки, маючи свій природний біполярний електричний заряд або штучно отриманий в полі коронного розряду, осаджуються під дією сил електричного поля на електродах протилежного знаку. На цьому принципі ґрунтується робота електричних та електростатичних фільтрів для очищення повітря.

Результати досліджень та їх обговорення. Для того щоб правильно спроектувати пристрій для осадження пилових частинок, необхідно знати характеристику пилу місцевості (розміри, діелектричну проникність, шорсткість, дисперсність, щільність, адгезійні властивості тощо), а також джерела походження пилу [4].

Електростатичний пристрій (рис. 1) представляє собою конструкцію з плоских осаджувальних пластин виконаних з діелектричного матеріалу і паралельно розташованих одна відносно одної. На пластини подається напруга джерела живлення. У конструкції електростатичного пристрою відсутні одноразові фільтруючі елементи, які потребують постійної заміни.

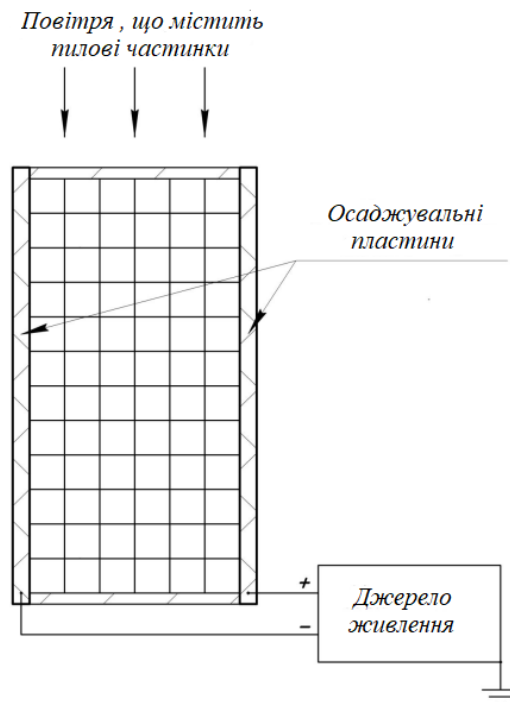


Рис. 1. Електростатичний пристрій захисту сонячних модулів від забруднення

Особливістю цього пристрою є використання в його конструкції діелектричних матеріалів. У різних іонізаторах та очисниках застосовуються системи електродів, виготовлені з металу.

Система осаджувальних пластин, що застосовується в електростатичному пристрої, при подачі високої напруги на пластини дозволяє створювати напруженість електричного поля, аналогічну тій напруженості, яка виникає при використанні металевих пластин, при цьому не підвищуючи небезпеку

використання такої установки. Напруженість електричного поля буде залежати від діелектричної проникності матеріалу пилових частинок.

Застосування діелектричних матеріалів у конструкції електростатичного пристрою дозволяє знизити ймовірність виникнення пробою міжелектродного проміжку.

Крім цього пластини, покриті діелектричним матеріалом, на відміну від металевих пластин мають не гладку, а шорстку поверхню, яка сприяє захопленню, а не відбиттю аерозольної частинки при її попаданні на таку поверхню. Таким чином, покращена адгезія частинок на осаджувальних пластинах покритих діелектричним матеріалом знижує ймовірність вторинного винесення пилових частинок до мінімуму.

Рух та осадження пилових частинок в електричному полі відбуватиметься за рахунок суми електричних сил. Передбачається, що значущими силами буде сила, обумовлена дією нерівномірного розподілу напруженості електричного поля і кулонівська сила, що діє на природний надлишковий заряд поляризації частинок [5].

На частинку, що рухається в просторі між осаджувальними пластинами електростатичного пристрою, впливає ряд сил, які викликають зміщення частинки відносно повітряного потоку.

$$\bar{F}_K + \bar{F}_E + \bar{F}_O + \bar{F}_T = 0, \quad (1)$$

де \bar{F}_K – сила, обумовлена дією електричного поля на заряджену частинку; \bar{F}_E – сила, обумовлена нерівномірним розподілом напруженості електричного поля; \bar{F}_O – сила опору середовища; \bar{F}_T – сила тяжіння.

Значення сили F_K , викликане впливом електричного поля на заряджену частинку, визначається добутком напруженості електричного поля на заряд пилової частинку визначається за формулою:

$$\bar{F}_K = E \cdot q, \quad (2)$$

де E – напруженість електричного поля, В/м; q – заряд частинки, Кл.

Напруженість електричного поля визначається відношенням напруги живлення пристрою та відстані між осаджувальними пластинами:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (3)$$

де U – напруга живлення електростатичного пристрою, В; d – відстань між осаджувальними пластинами електростатичного пристрою, м.

$$q = 12\pi\varepsilon_0\alpha^2 E, \quad (4)$$

де ε_0 – електрична стала, Ф/м; α – розмір частинки, м.

При збільшенні заряду частинки збільшується і вплив сили \bar{F}_K . У зв'язку з цим у багатьох існуючих пристроях з подібним принципом дії застосовується штучне зарядження частинок. Оскільки у запропонованому електростатичному пристрої відсутнє штучне зарядження, значення \bar{F}_K буде визначатись природним зарядом частинки.

Сила \bar{F}_E обумовлена нерівномірним розподілом напруженості електричного поля. Частинки пилу, які знаходяться в русі за рахунок повітряного потоку, можуть мати різноманітну форму. Від цього залежить величина сили, діючої на частинку. При нерівномірному електричному полі на неї крім сили \bar{F}_K , обумовленої впливом електричного поля, діє також сила, яка визначається нерівномірністю розподілу електричного поля:

$$\bar{F}_K = 2\pi\varepsilon_0\alpha^3 \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \text{grad}E^2, \quad (5)$$

де ε – діелектрична проникність частинки; $\text{grad}E$ – градієнт напруженості електричного поля, В/м.

Рух частинки до осаджувальної пластини обумовлений нерівномірністю поля, що створюється навколо частинки, тому чим більше частинок несферичної форми виявляється в зоні дії основного поля, тим більше його нерівномірність і сила \bar{F}_E . На цю силу також впливає шорсткість поверхні пластин. Порівняно з металевими пластинами наявність западин і виступів на пластинах покритих діелектричним матеріалом є більш вираженою, а їх розміри можна порівняти з розмірами пилових частинок.

Сила опору середовища значно впливає на рух частинки і визначає швидкість її руху. Ця сила залежить від розмірів пилової частинки та швидкості її руху, а також в'язкості середовища.

Сила опору середовища \bar{F}_o визначається за виразом:

$$\bar{F}_o = -6\pi \cdot \mu \cdot \alpha \cdot v_c, \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітряного середовища, Н·с/м²; v_c – швидкість дрейфу частинки, що рухається під дією сил електричного поля, м/с.

Сила тяжіння F_T визначається як добуток маси пилової частинки на прискорення вільного падіння. Частинки аерозолу пролітають відстань, що рівна довжині електростатичного пристрою за час, що не перевищує 0,5 с при швидкостях повітряного потоку від 0,1 до 1,0 м/с. За цей час, частинка, розмір якої становить 1 мкм, під дією сили тяжіння опускається всього на кілька мікрометрів. У зв'язку з цим, впливом сили тяжіння на рух частинки до осаджувальних пластин можна знехтувати.

Проаналізувавши сили, що діють на частинку в електростатичному пристрої, можна зробити висновок, що основними силами, що зумовлюють її траєкторію і осадження, є сила, викликана нерівномірністю розподілу напруженості електричного поля \bar{F}_E , сила опору середовища \bar{F}_o і сила дії електричного поля \bar{F}_K .

Маючи природний біполярний електричний заряд, пилові частинки при дії на них повітряного потоку потрапляють у зону дії осаджувальних пластин. Під дією сили обумовленої нерівномірністю розподілу напруженості електричного поля \bar{F}_E , а також сили його дії \bar{F}_K , частинки в залежності від знаку свого заряду, осідають на пластинах. Пилові частинки, що мають позитивний заряд, осідають на негативно заряджених пластинах, а частинки з негативним зарядом осаджуються на позитивно заряджених пластинах.

Досить висока ефективність осадження пилових частинок при малій швидкості руху повітряного потоку дозволяє припустити, що електростатичний пристрій буде ефективно працювати на природних повітряних потоках.

Висновки і перспективи. Запропонований метод дозволяє знизити забрудненість сонячних модулів та збільшити ефективність виробництва електричної енергії. Застосування в конструкції пристрою осаджувальних пластин покритих діелектричним матеріалом підвищує електричну безпеку цього пристрою.

Основними силами, що впливають на частинки пилу при їх осадженні є сила опору середовища, сила, обумовлена нерівномірністю розподілу напруженості електричного поля, а також сила дії електричного поля. Крім цих сил, на ефективність осадження пилових частинок впливає напруженість електричного поля, для осаджувальних пластин і відстань між ними.

Висока розрахункова ефективність осадження пилових частинок передбачає доцільність використання даного електростатичного пристрою захисту фотоелектричних модулів від забруднення.

Список літератури

1. Олійник М. Й., Лисяк В. Г., Дудурич О. Б. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 184 с.
2. Колонтаєвський Ю. П., Тугай Д. В., Котелевець С. В. Фотоенергетика: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.
3. Соколовський О.Ф., Ступак Д.Є. Особливості проектування та експлуатації фотоелектричних систем. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2019. Вип. 11 (84). С. 92–100.
4. Bergin M., Ghoroj Ch. , Dixit D., Schauer J., Shindell D. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2017. V. 4(8). P. 339–344.
5. Якуба О.Р., Савченко-Перерва М. Ю., Сабадаш С. М. Механічні пиловловлювачі та фільтри в технології комплексного очищення харчових пилоподібних продуктів: монографія. Суми: СНАУ, 2017. 203 с.

References

1. Oliinyk, M. Y., Lysiak, V. H., Dudurych, O. B. (2020) Enerhooshchadnist ta alternatyvni dzherela enerhii: Navchalnyi posibnyk [Energy saving and alternative energy sources: Study guide]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 184.
2. Kolontaievskiy, Yu. P., Tuhai, D. V., Kotelevets, S. V. (2019). Fotoenerhetyka: navchalnyi posibnyk [Photoenergy: Study guide]. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 160.
3. Sokolovskyi, O. F., Stupak, D. Ie. (2019). Osoblyvosti proektuvannia ta ekspluatatsii fotoelektrychnykh system [Features of design and operation of photovoltaic

systems]. Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu, 11 (84), 92–100.

4. Bergin, M., Ghoroi, Ch. , Dixit, D., Schauer, J., Shindell, D. (2017). Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. Environ. Sci. Technol. Lett. 4(8), 339–344.

5. Yakuba, O.R., Savchenko-Pererva, M. Yu., Sabadash, S. M. (2017). Mekhanichni pylovlovliuvachi ta filtry v tekhnolohii kompleksnoho ochyshchennia kharchovykh pylopodibnykh produktiv: monohrafiia [Mechanical dust collectors and filters in the technology of complex purification of dusty food products: monograph]. Sumy: SNAU, 203.

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF SOLAR PANELS IN AGRICULTURAL CONDITIONS

V. Ramsh, M. Potapenko, V. Sharshon

Abstract. *One of the most popular alternative sources is photovoltaic power sources or solar panels.*

In agricultural conditions, one of the main problems in the operation of solar panels is the problem of their dustiness due to blowing by strong winds, which raise a large amount of dust into the air, including technological dust, which is typical for such industries as crop production and animal husbandry.

Effective protection of solar modules from pollution using electron-ion technology. On the basis of which an electrostatic device for protecting solar modules from pollution is proposed. A feature of this device is the use of dielectric materials in its design.

The purpose of the study is to highlight the principles of improving the device for protecting solar modules from pollution in order to increase the efficiency of their operation in agricultural conditions.

The proposed method makes it possible to reduce the pollution of solar modules and increase the efficiency of electric energy production. The use of depositing plates coated with a dielectric material in the design of the device increases the electrical safety of this device.

The main forces that affect dust particles during their deposition are the resistance force of the medium, the force due to the uneven distribution of the electric field strength, and the force of the electric field. In addition to these forces, the efficiency of dust particle deposition is affected by the electric field strength for the deposition plates and the distance between them.

The high calculated efficiency of dust particle deposition implies the feasibility of using this electrostatic device for protecting photovoltaic modules from pollution.

Key words: *solar module, electrostatic device, deposition plates, dust particle, medium resistance force, electric field strength*