

ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВЕРХНІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ НА ГЕНЕРАЦІЮ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЮ СТАНЦІЄЮ ЗА ДОПОМОГОЮ MATLAB

- ШЕВЧЕНКО С.Ю.** доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Sergii.Shevchenko@khp.edu.ua;
- ДАНИЛЬЧЕНКО Д.О.** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: dmytro.danylchenko@khp.edu.ua;
- БІЛИК С.Ю.** канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: Serhii.Bilyk@khp.edu.ua;
- ПОТРИВАЙ А.Е.** студент, кафедри передавання електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: potryvay.andrew99@gmail.com@gmail.com;
- КОВТУН Г.А.** студент, кафедри промислової та біомедичної електроніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: georgij.kovtun@gmail.com;

Мета роботи. Вдосконалення імітаційної моделі сонячної електростанції за допомогою створення блок-моделі врахування запиленості поверхні фотоелектричних модулів при розрахунку ефективності генерації електричної енергії сонячною станцією.

Методи дослідження. Використання методів статистичної обробки даних, та моделювання в структурі засобів Matlab.

Отримані результати. Створено математичну модель, яка дозволяє враховувати вплив запиленості поверхні фотоелектричних модулів на ефективність генерації електричної енергії сонячною станцією. Модель перевірено на реальному об'єкті та доведено точність моделювання.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в створенні математичних моделей, що описують вплив запиленості поверхні фотоелектричних модулів на ефективність генерації сонячної станції на основі закону Бугера-Ламберта-Бера, розроблено блоки впливу опадів на запиленість та скорегована швидкість накопичення пилу шляхом урахування вологості повітря.

Практична цінність. Отримані результати допоможуть підвищити точність моделювання всіх типів фотоелектричних систем. Ці моделі можна використовувати як формування комерційних пропозицій з більш точними графіками генерації електричної енергії, що може значно підвищити точність вибору встановленої потужності обладнання.

Ключові слова: активна потужність; реактивна потужність; нормальний розподіл; ексцес; асиметрія; математичне очікування; середнє квадратичне відхилення.

I. ВСТУП

На сьогоднішній день більшість методів прогнозування та розрахунку генерації сонячних електростанцій (СЕС) досить точно справляються зі своїми завданнями. Однак, безліч сучасних систем розрахунку (PVSystem та ін.) генерації та прогнозування не враховують ряд, на перший погляд, не дуже важливих факторів, які в сумі не дають можливості передбачити поведінку фотоелектричної системи (ФЕС) у реальних умовах, характерних для певної місцевості (далі в умовах експлуатації) [1]-[2]. До таких факторів належать: охолодження поверхні фотоелектричного моду-

ля (ФЕМ) залежно від швидкості вітру, облік моделі добової зміни температури повітря та облік запиленості поверхні ФЕС.

II. МЕТА РОБОТИ

Основним завданням цієї роботи є отримання блок-моделі обліку впливу запиленості поверхні фотоелектричних модулів на продуктивність СЕС підвищення точності прогнозування генерації станції за умов експлуатації.

III. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Серед великої кількості існуючих моделей СЕС була обрана одна з таких і представлена в [3], в якій проводиться облік впливу швидкості вітру на охолодження панелі та добова зміна температури, що значно спрощує завдання та наближає до мети: отримання моделі, яка враховуватиме достатньо факторів, щоб стверджувати, що дані після моделювання максимально схожі з показниками генерації під час експлуатації в реальних умовах.

Дана модель передбачає наявність п'яти основних блоків та ряду побічних.

Серед основних: модель сонячної радіації, сонячної батареї (СБ), акумуляторної батареї (АБ), перетворювача та навантаження.

Модель діючої сонячної радіації представлена сумою прямого, відбитого та розсіяного випромінювання на довільно орієнтовану поверхню з азимутом за методом описаним в [4].

Модель генеруючої установки пропонується побудувати за методом, запропонованим Даффі та Бекманом у роботі [5]. Важливою перевагою є те, що у роботі [3] запропоновано замінити коефіцієнт СБ уточнюючим виразом, що підвищує точність моделювання.

Перетворювачі енергії побудовані на основі спрощених моделей. Для обліку роботи трекера точки максимальної потужності (MPPT) використовувався стандартний блок із бібліотеки Simulink. Модель інвертора зроблена на основі ідеальних джерел напруги та струму. Для врахування внутрішніх втрат в інверторі та у сполучному кабелі від акумуляторних батарей введено R_{inv} і R_{pg} .

Моделювання електричного навантаження проводиться на основі імовірісно-статистичної моделі, що розраховується за формулою

$$P_{pi} = \bar{P}_i + \beta\sigma(P_i) \quad (1)$$

де P_{pi} , \bar{P}_i - розрахункове активне навантаження та математичне очікування навантаження на i -й годині добового графіка; β - коефіцієнт надійності розрахунку, визначає ймовірність, з якою випадкові значення навантаження залишаться менше прийнятого розрахункового значення P_{pi} ; $\sigma(P_i)$ - середнє відхилення для i -го ступеня добового графіка.

Для моделювання роботи АБ використовується метод запропонований Тремблеєм і Десентом [6] на основі узагальненого співвідношення Шеферда.

Важливою перевагою моделі [3] є наявність моделі блоку обліку впливу нагріву поверхні ФЕМ, а також облік добового температурного ходу.

На рис. 1 наведена узагальнена схема моделі Matlab.

IV. МЕТОДИКА ВРАХУВАННЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ФЕМ

Незважаючи на те, що в моделі з роботи [3] враховано чимало факторів, ключовою проблемою є те, що в ній є значні недоліки і відсутня маса параметрів, які мають значний вплив на генерацію та режими роботи СЕС, характерних для умов експлуатації.

Приміром, недоліком використання моделі сонячної радіації з [4] і те, що облік відбитого випромінювання за умов зими чи великої кількості багатоповерхових будинків призводить до підвищенням очікуванням від генерації ФЭС [8]. Також, значний вплив на продуктивність системи забрудненість поверхні ФЕМ.

За даними дослідження [8], [9] найбільш поширеним видом забруднень ФЕМ є пил (скупчення твердих частинок, діаметром менше 500 мкм).

Спостереження при роботі з СЕС дозволяють стверджувати, що зміна кількості пилу, що осів на поверхні ФЕМ, може бути описано експонентою, що повільно зростає. Тому основою моделі служить формула:

$$N_{nuty}(t) = N_0 e^{rt} \quad (2)$$

де N_0 – початкова кількість пилу що лежить на поверхні; r – швидкість зростання кількості пилу на поверхні.

Значний вплив на швидкість зростання кількості осівшого пилу надає вологість повітря, що необхідно враховувати для формування точного графіка:

$$r = \frac{((\rho - 100) * -1) dN}{NDt} \quad (3)$$

де ρ – вологість повітря у вибраний час дня.

Оскільки сонячне світло є електромагнітним випромінюванням, справедливим є використання як основи розрахунку, що поглинається пилом енергії, закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$G_{втрач} = G_0 e^{-\left(N_0 e^{\frac{(\rho - 100) * (-1) dN}{Ndt}}\right)} \quad (4)$$

Наявність опадів значно впливає на кількість пилу, що осів на поверхню ФЕМ, тому є необхідність у створенні блоку обліку зміни впливу запиленості ФЕМ на продуктивність СЕС залежно від кількості опадів, що випали. Ця залежність представлена у вигляді графіку на рис. 2 [6].

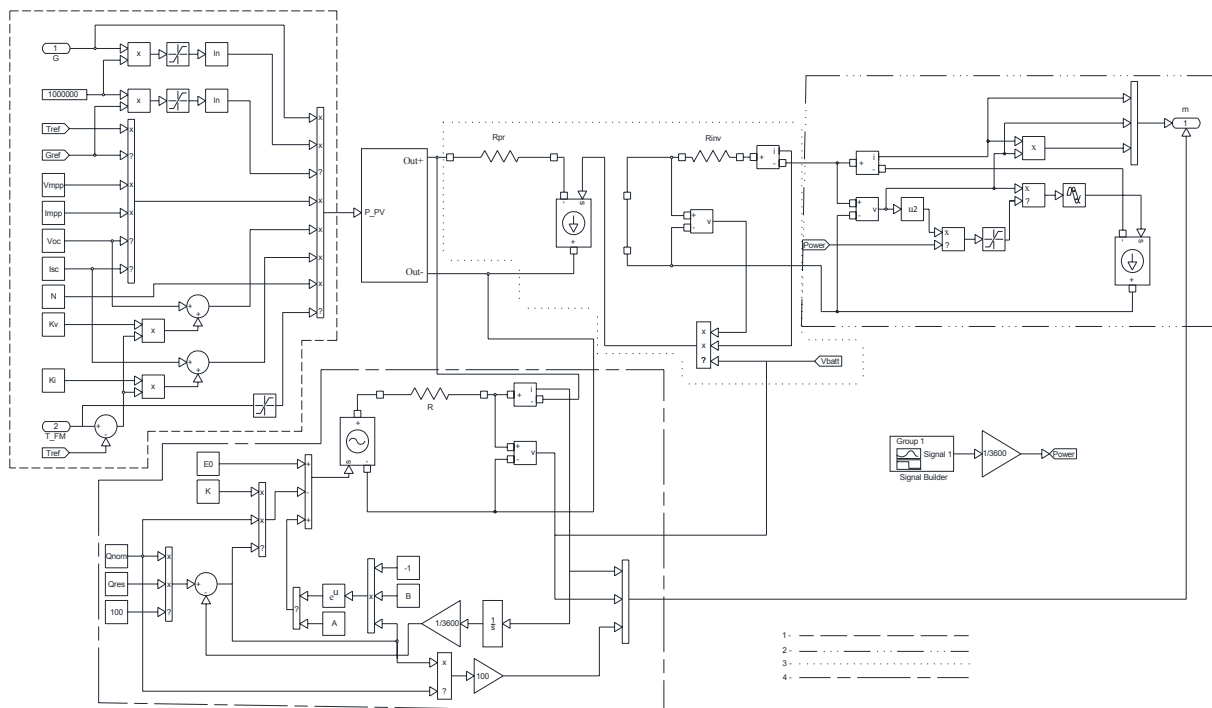


Рисунок 1. Схема математичної моделі перетворювачів: 1. ФЭМ; 2.Навантаження; 3. Інвертор; 4. АБ

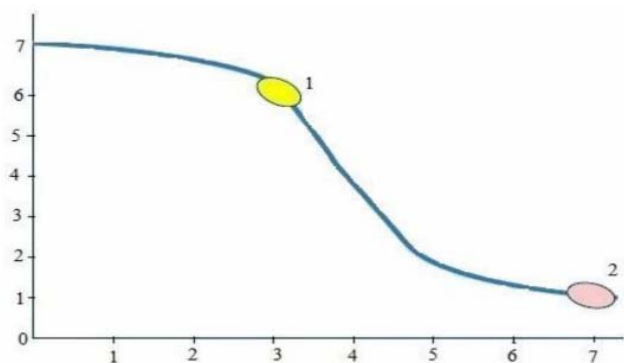


Рисунок 2. Вплив атмосферних опадів на зниження втрат енергії ФЭП

Вертикальна вісь – втрата продуктивності ФЭП, %, горизонтальна – кількість опадів, мм. 1 - початок інтенсивного очищення; 2 - точка, після якої очищення не відбувається.

Досвід випробувань показує, що в діапазоні від 3 до 7 мм опадів відбувається найбільш ефективне очищення поверхні ФЭМ, однак навіть у подібних умовах не повне усунення забруднень. Пояснюється це утвореннями скупчень пилу, видалення яких щоразу стає дедалі складніше, а процес забруднення у наступній одиниці часу починається з вищого рівня за-

брудненості.

Для спрощення роботи з графіком пропонується його реалізувати через дві блок-моделі, оскільки на ньому можна виділити дві зони, які можуть бути описані стандартними функціями.

Першу (від 0 до 2,9 мм опадів) опишемо формулою:

$$\eta_{\text{втрач.уточ}} = \eta_{\text{втрач}} - \frac{\sqrt{Q}}{2} \tag{5}$$

де $\eta_{\text{втрач}}$ – відсоток енергії від тієї, що повідомляється поверхні, що поглинається шаром пилу; Q – рівень опадів у момент часу t .

Другу (від 2,9 до 7 мм) опишемо формулою:

$$\eta_{\text{втрач.уточ}} = \eta_{\text{втрач}} e^{-\left(\frac{dQ}{Qdt}\right)x} \tag{6}$$

Поєднання функцій зроблено за допомогою порівнюючого блоку, який у нашому випадку порівнює значення з постійною (2,9) та спрямовує сигнал на відповідну функцію. Реалізація перерахованих вище запропонованих функцій наведена на рис. 3 і рис. 4.

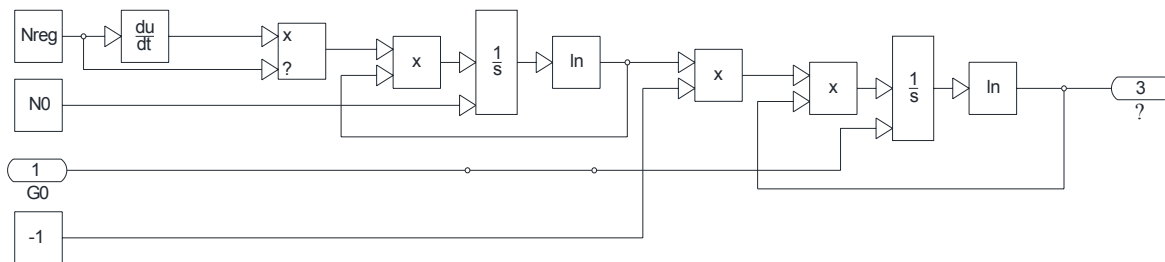


Рисунок 3. Реалізація блоку впливу запиленості поверхні на генерацію ФЕП

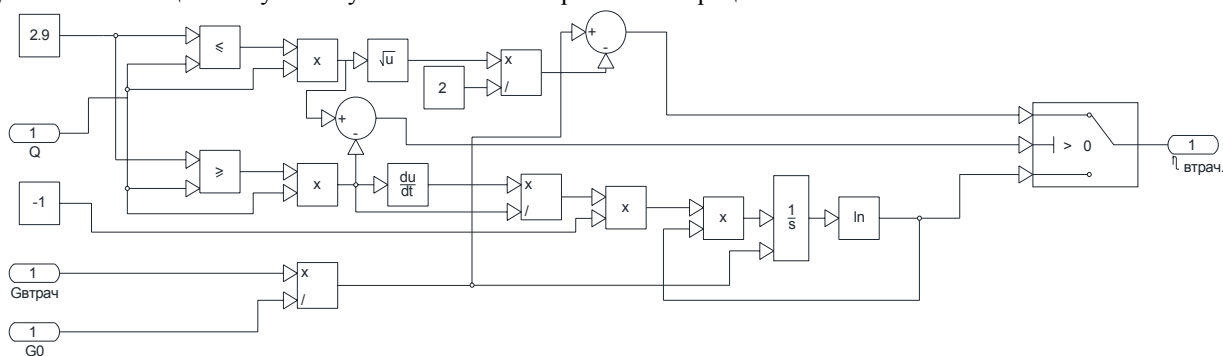


Рисунок 4. Реалізація блоку зміни впливу шару пилу на продуктивність залежно від опадів

V. МОДЕЛЮВАННЯ РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ

Для перевірки роботи запропонованої імітаційної моделі були обрані умови міста Чугуїв (географічні координати 49° 50'07" пн.ш., 36° 40'32" с.д.) для характерного літнього дня року (21 червня).

Як об'єкт моделювання прийнято приватну СЕС. Сонячна батарея побудована на основі поліелектричних модулів ALM-340P-144, 9ВВ. Встановлено гібридний інвертор ІМЕОН 9.12. СЕС не має механізму автоматичної орієнтації сонячної батареї на Сонці.

Вихідними даними для моделювання є метеорологічні дані з бази NASA SSE 2020 для міста Чугуїв. Альbedo земної поверхні приймається стандартним: 0,2 – для трав'яного покриву, та 0,8 – для снігового. Середньодобова температура встановлена на рівні 25,25 °С, амплітуда добової зміни температури – 6,1 °С, середня швидкість вітру – 9 м/с, місцевий час максимуму температури – 16 годин дня.

На рис. 5- рис. 7 зображено часові графіки режимних параметрів ФЕС. На рис. 7 графік побудований з урахуванням впливу пилу і температури поверхні, проте це не змінило кардинально вигляд графіку, оскільки зміна запиленості відбувається відносно повільно.

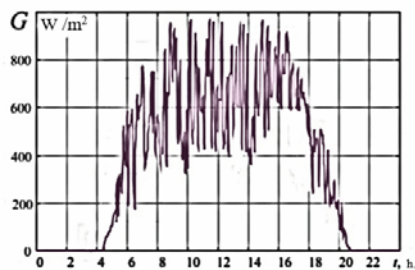


Рисунок 5. Графік добової зміни величини сумарної сонячної радіації

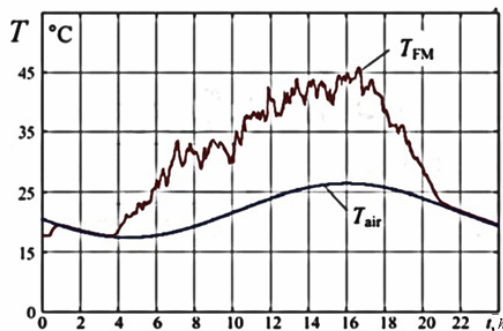


Рисунок 6. Графік нагрівання поверхні ФЕП

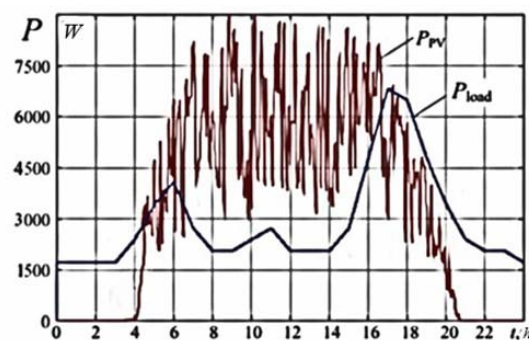


Рисунок 7. Графік створення активної енергії ФЕС

Для кращого розуміння вкладу удосконаленої моделі було проведено моделювання для умов 2020 року та занесено в єдину таблицю два випадки: моделювання без блоку обліку впливу пилу та з ним.

Результат, на перший погляд, не був приголомшливим. У першому випадку було отримано середню генерацію енергії 46,173 кВт*год на день для липня місяця, у другому - 44,17 кВт*год на день. Липень обраний спеціально, оскільки у нас були дані, отримані під час експлуатації СЕС потужністю 9 кВт, в яких

зазначено, що генерація у липні становила 43,91 кВт*год. на день. На основі цього можна стверджувати, що модель сприяє розвитку точності моделювання поведінки фотоелектричних систем в умовах експлуа-

тації. Результати моделювання на 2020 рік наведено на рис. 8.

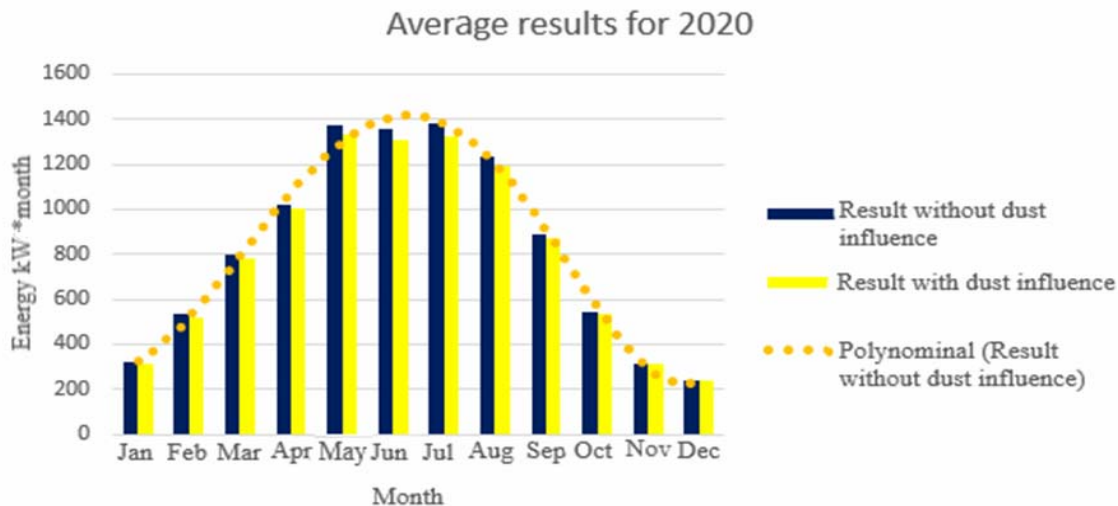


Рисунок 8. Порівняльний графік двох результатів моделювання

VI. ВИСНОВКИ

В роботі було запропоновано математичну модель імітації роботи СЕС в умовах експлуатації та модернізовано шляхом впровадження блок-моделі обліку впливу запиленості поверхні ФЕМ на її продуктивність для середовища Matlab.

Працездатність цієї моделі була перевірена на прикладі реального об'єкта. Ефективність моделі підтверджується підвищенням точності моделювання на 4,34%.

Отримані при моделюванні дані дозволяють підвищити точність прогнозування генерації електричної енергії з тим, давати рекомендації щодо ефективної експлуатації СЕС і відкриває можливості для розширення моделювання поведінки пилу на поверхні ФЕМ і його впливу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ярмухаметов У. Р., Ахметшин А. Т. Имитационное моделирование режимов работы солнечных установок с фотоэлектрическими преобразователями в зависимости от внутренних и внешних факторов в среде Matlab/Simulink. Вестник КрасГАУ. - 2014. - №8 – С. 195-200
- [2] Иванчура В. И., Краснобаев Ю. В., Пост С. С. Имитационная модель автономной системы электропитания. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies – 2014.
- [3] S. Shevchenko Modernization of a Simulation Model of a Photovoltaic Module, by Accounting for the Effect of Snowing of Photovoltaic Panels on System Performance with Correction for Panel Cleaning for Matlab Simulink / S. Shevchenko, D. Danylchenko, S. Dryvetskyi, A. Potryvai // 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2021, pp. 670-675, DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570030
- [4] Рубаненко О.О. Визначення генерування ВДЕ з використанням штучних нейронних мереж / Рубаненко О.О., Данильченко Д.О. Тептя В.В. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність: зб. наук. пр. - Харків: НТУ «ХПІ», 2020. - № 1 (1) 2020. – С. 70-77.
- [5] Обухов С.Г., Плотников И.А. Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. 38–51
- [6] Liu B.Y.H., Jordan R.C. Daily insolation on surfaces tilted towards the equator //ASHRAE Journal. – 1961. – V. 3. – P. 53–59.
- [7] Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
- [8] Tremblay O., Dessaint, L.A., Dekkiche, A.I. A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles. Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. pp. 284–289.
- [9] Alaa Khasawneh Methodology For Accounting For The Influence Of Dust Cover On The Performance Of A Photovoltaic System For Matlab Simulink / Alaa Khasawneh; Mohamed Qawaqzeh; Oleksandr Miroshnyk; Dmytro Danylchenko; Kseniia Minakova; Andrii Potryvai // 2021 IEEE 20th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems

(MEES), 2021 pp. 1-6, DOI: 10.1109/MEES52427.2021.9598611

- [10] Tremblay O., Dessaint, L.A. Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications. World Electric Vehicle Journal, 2009, vol. 3, pp. 1–10.
- [11] Коломиец Ю.Г., Тарасенко А.Б., Тебуев В.В., Сулейманов М.Ж. Исследование влияния различных видов загрязнений на эффективность эксплуатации солнечных энергоустановок // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018;(04-06):12-24.
- [12] D. Danylchenko Modeling the influence of dustiness of photovoltaic modules on their performance in Matlab / D. Danylchenko, K. Minakova, A. Potryvai // Energy. Series: “Modern problems of power engineering and ways of sloving them”. - Georgia, Tbilisi. - № 2 (98). – Part 1.- 2021. – С. 126-131.
- [13] Коломиец, Ю.Г. Исследование влияния затенения на эффективность эксплуатации солнечных энергоустановок в условиях плотной городской застройки // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 19–21. – С. 16–25.
- [14] Sarver, T. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches [Text] / T. Sarver [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 22. – P. 698–733.
- [15] Goossens, D. Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance [Text] / D. Goossens, E. Van Kerschaever // Solar Energy. – 1999. – Vol. 66. – P. 277–289.
- [16] S. Shevchenko Accounting For The Effect Of PV Panel Dustiness On System Performance With Correction For Panel Cleaning For Matlab Simulink / S. Shevchenko, O. Dovgalyuk, D. Danylchenko, O. Rubanenko, S. Fedorchuk A. Potryvai // 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021, pp. 373-378, DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575747
- [17] Danylchenko D. Optimization of accumulation units in a mobile, autonomous cottage settlement as a part of maneuvering system / Danylchenko D., Potryvai A. // Energy. Series: “Modern problems of power engineering and ways of sloving them”. - Georgia, Tbilisi. - № 4 (96). – Part 1.- 2020. – С. 120-123.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2021

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ НА ГЕНЕРАЦИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ СТАНЦИЕЙ С ПОМОЩЬЮ MATLAB

- ШЕВЧЕНКО С.Ю.** доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: Sergii.Shevchenko@khpі.edu.ua;
- ДАНИЛЬЧЕНКО Д.А.** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: dmytro.danylchenko@khpі.edu.ua;
- БЕЛИК С.Ю.** канд. техн. наук, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: Serhii.Bilyk@khpі.edu.ua;
- ПОТРЫВАЙ А.Э.** студент, кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: potryvai.andrew99@gmail.com;
- КОВТУН Г.А.** студент, кафедры промышленной и биомедицинской электроники Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: georgij.kovtun@gmail.com;

Цель работы. Совершенствование имитационной модели солнечной электростанции посредством создания блок-модели учета запыленности поверхности фотоэлектрических модулей при расчете эффективности генерации электрической энергии солнечной станцией. способы исследования.

Методы исследования. Использование методов статистической обработки данных и моделирование в структуре средств Matlab.

Получены результаты. Создана математическая модель, позволяющая учитывать влияние запыленности поверхности фотоэлектрических модулей на эффективность генерации электрической энергии солнечной станцией. Модель проверена на реальном объекте и доказана точность моделирования.

Научная новизна. Научная новизна заключается в создании математических моделей, описывающих влияние запыленности поверхности фотоэлектрических модулей на эффективность генерации солнечной станции на основе закона Бугера-Ламберта-Бера, разработаны блоки воздействия осадков на пыль и скорректирована скорость накопления пыли путем учета влажности воздуха.

Практическая ценность. Полученные результаты помогут повысить точность моделирования всех типов фотоэлектрических систем. Эти модели могут использоваться как формирование коммерческих предложений с более точными графиками генерации электрической энергии, что может значительно повысить точность выбора установленной мощности оборудования.

Ключевые слова: активная мощность; реактивная мощность; нормальное распределение; эксцесс; асимметрия; математическое ожидание; среднее квадратическое отклонение.

CONSIDERING THE EFFECT OF DUSTINESS OF A PHOTOVOLTAIC MODULE SURFACES ON SOLAR POWER GENERATION BY MATLAB SOFTWARE

- SHEVCHENKO S.Y.** Doctor of Science (Engineering), professor, head of department of electric power transmission of National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: Sergii.Shevchenko@khpi.edu.ua
- DANYLCHENKO D.O.** Candidate of Science (Engineering), associate professor, associate professor of electrical power transmission department of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: Dmytro.Danylchenko@khpi.edu.ua
- BILYK S.Y.** Candidate of Science (Engineering), associate professor of internal combustion engines department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: Serhii.Bilyk@khpi.edu.ua
- POTRYVAI A.E.** student, Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: potryvay.andrew99@gmail.com;
- KOVTUN G.A.** student, Department of Industrial and Biomedical Electronics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: georgij.kovtun@gmail.com

Purpose. Improving the simulation model of a solar power plant by creating a block model for accounting for dustiness of the surface of photovoltaic modules when calculating the efficiency of electric power generation by a solar power plant.

Methodology. Use of statistical data processing methods and modeling in the structure of Matlab tools.

Findings. A mathematical model was created, which made it possible to take into account the influence of dustiness of the surface of photovoltaic modules on the efficiency of electric power generation by a solar power station. The model was tested on the real object and the accuracy of modeling was proved.

Originality. The scientific novelty is to create mathematical models that describe the effect of dust on the surface of photovoltaic modules on the efficiency of solar station generation based on the Bouguer-Lambert-Beer law, the blocks of precipitation influence on dust were developed, and the rate of dust accumulation was corrected by taking into account the air humidity.

Practical value. The obtained results will help to improve the accuracy of modeling of all types of photovoltaic systems. These models can be used as the formation of commercial proposals with more accurate schedules of electric power generation, which can significantly increase the accuracy of the choice of rated capacity of equipment.

Key words: active power; reactive power; normal distribution; kurtosis; asymmetry; mathematical expectation; standard deviation.

REFERENCES

- [1] Yarmukhametov, U. R., Akhmetshin, A. T. (2014) Imitatsionnoye modelirovaniye rezhimov raboty solnechnykh ustanovok s fotoelektricheskimi preobrazovatelyami v zavisimosti ot vnutrennikh i vneshnikh faktorov v srede Matlab/Simulink. *Vestnik KrasGAU*. No 8.
- [2] Ivanchura, V. I., Krasnobayev, YU. V., Post, S. S. (2014) Imitatsionnaya model' avtonomnoy sistemy elektropitaniya. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*.
- [3] Shevchenko, S., Danylchenko, D., Dryvetskiy, S., Potryvai, A. (2021). Modernization of a Simulation Model of a Photovoltaic Module, by Accounting for the Effect of Snowing of Photovoltaic Panels on System Performance with Correction for Panel Cleaning for Matlab Simulink. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 670-675, DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570030
- [4] Rubanenko, O.O. Danylchenko, D.O. Teptya, V.V. (2020). Opredeleniye generirovaniya VIE s ispol'zovaniyem iskusstvennykh neyronnykh setey. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta "KHPI"*. Seriya: Energetika: nadezhnost' i energoefektivnost': sb. nauk. pr. Khar'kov: NTU «KHPI», No 1 (1) 2020, 70-77.
- [5] Obukhov, S.G., Plotnikov, I.A. (2017). Imitatsionnaya model' rezhimov raboty avtonomnoy fotoelektricheskoy stantsii s uchetom real'nykh usloviy ekspluatatsii Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. *Inzhiniring georesursov*. Vol 328, No 6, 38–51
- [6] Liu, B.Y.H., Jordan, R.C. (1961) Daily insolation on surfaces tilted towards the equator. *ASHRAE Journal*. Vol 3, 53–59.
- [7] Duffie, J.A., Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 910.
- [8] Tremblay, O., Dessaint, L.A., Dekkiche, A.I. (2007) A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles. *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 284–289.
- [9] Khasawneh, A., Mohamed Qawaqzeh, Miroshnyk, O., Danylchenko, D., Minakova, K., Potryvai, A. (2021) Methodology For Accounting For The Influence Of Dust Cover On The Performance Of A Photovoltaic System For Matlab Simulink. 2021 IEEE 20th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 1-6, DOI: 10.1109/MEES52427.2021.9598611
- [10] Tremblay, O., Dessaint, L.A. (2009) Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications. *World Electric Vehicle Journal*, Vol. 3, 1–10.
- [11] Kolomiyets, YU.G., Tarasenko, A.B., Tebuyev, V.V., Suleymanov, M.ZH. (2018) Issledovaniye vliyaniya razlichnykh vidov zagryazneniy na effektivnost' ekspluatatsii solnechnykh energoustanovok // *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Al'ternativnaya energetika i ekologiya» (ISJAE)*. 04-06, 12-24.
- [12] Danylchenko, D., Minakova, K., Potryvai, A. (2021) Modeling the influence of dustiness of photovoltaic modules on their performance in Matlab / D. Danylchenko, *Energy. Series: "Modern problems of power engineering and ways of solving them"*. Georgia, Tbilisi, No 2 (98). Vol 1, 126-131.
- [13] Kolomiyets, YU.G. (2017) Issledovaniye vliyaniya zatneneniya na effektivnost' ekspluatatsii solnechnykh energoustanovok v usloviyakh plotnoy gorodskoy zastroyki. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Al'ternativnaya energetika i ekologiya» (ISJAE)*. No 19-21, 16-25.
- [14] Sarver, T. A (2013) comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches [Text]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, 698-733.
- [15] Goossens, D., Kerschaefer, E. Van., (1999) Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance [Text]. *Solar Energy*, Vol. 66, 277–289.
- [16] Shevchenko, S. Dovgalyuk, O., Danylchenko, D., Rubanenko, O., Fedorchuk, S. Potryvai, A. (2021) Accounting For The Effect Of PV Panel Dustiness On System Performance With Correction For Panel Cleaning For Matlab Simulink. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 373-378, DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575747
- [17] Danylchenko, D. Potryvai, A. (2020) Optimization of accumulation units in a mobile, autonomous cottage settlement as a part of maneuvering system. *Energy. Series: "Modern problems of power engineering and ways of solving them"*. Georgia, Tbilisi, No 4 (96). Part 1., 120-123.