



УДК 621.3

**ANALYSIS OF VOLTAGE CHANGES IN LOCAL LOW-VOLTAGE GRIDS WITH CONNECTED PHOTOELECTRIC PLANTS AND ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING THESE CHANGES****АНАЛІЗ ЗМІН НАПРУГИ У ЛОКАЛЬНИХ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ПІДКЛЮЧЕНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЯХ ТА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦИХ ЗМІН****Batsala Y.V. / Бацала Я.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

**Fedoriv M. / Федорів М.Й.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

**Zhyvchyn P. P. / Живчин П. П.***student/ студент**Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

**Анотація.** У статті запропоновано використати моделі прогнозування вихідної потужності та продуктивності фотоелектричної станції для аналізу їх впливу на зміну напруги в мережі. При моделюванні роботи енергосистеми з фотоелектричними станціями необхідно враховувати перспективи зростання виробництва енергії, які можуть впливати на режими роботи енергосистеми, а також врахувати періодичність і невизначеність вхідних параметрів. Кількість енергії, яка може бути отримана від фотоелектричної станції залежить від двох ключових випадкових змінних, а саме освітленості та температури. Розуміння стохастичності генерації дозволяє компаніям та операторам електростанцій краще управляти ризиками, пов'язаними з виробництвом коливань, наприклад, плануванням резервних джерел енергії чи оптимізацією потужності сонячних електростанцій.

**Ключові слова:** фотоелектрична установка, прогнозування кількості згенерованої електроенергії, напруга, перетоки електроенергії.

**Вступ.**

Фотоелектричні станції (ФЕС) є джерелами відновлювальної енергії, які стають все більш важливими в світовій енергетиці. Проте, вхідні параметри, що впливають на їхні характеристики, такі як змінна інтенсивність інсоляції, температурні коливання та інші фактори призводять до змін в електропостачанні, що може бути проблематичним для стабільності енергосистем.

Оператори на енергетичних ринках вже зараз активно використовують прогнози для ефективного управління ресурсами та підтримки стійкості енергосистем. Такі прогнози враховують часові залежності та змінність виробництва відновлювальної енергії, дозволяючи оптимізувати використання ресурсів та забезпечувати надійність постачання електроенергії.

**Основний текст.**

Оскільки необмежена інтеграція фотоелектричної енергії в електромережу впливає на зміни в перетоках електроенергії розподільної мережі, відхилення



напруги, коливання напруги тощо, системні оператори зосереджуються на тому, як визначити та покращити інтеграційну здатність ФЕС.

Фотоелектрична енергія генерується залежно від інтенсивності світла, що може змінюватися в реальному часі через погодні умови та інші фактори. Це робить детермінований метод розрахунку потужності менш ефективним, оскільки не може повністю врахувати варіації виробництва електроенергії від фотоелектричних панелей.

Прогнозування продуктивності ФЕС виконують за допомогою простих та складних математичних моделей, нейронних мереж, штучного інтелекту, з використанням моделей авторегресії, гармонічних функцій, а також враховуючи погодні кореляційні коефіцієнти [1-4].

Для оптимального управління та максимізації використання фотоелектричної енергії часто використовують алгоритми та системи, які враховують низку факторів. Наприклад, системи прогнозування погоди можуть використовуватися для передбачення інтенсивності світла вперед на кілька годин або навіть днів.

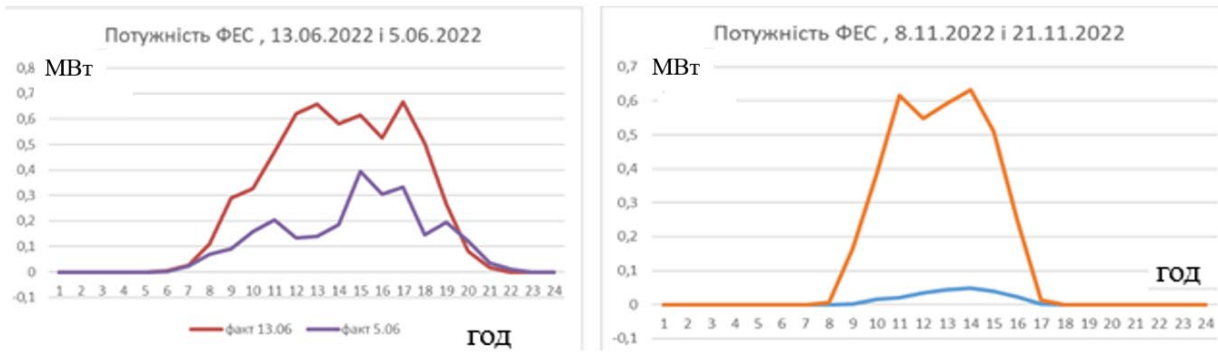
Підключення фотоелектричної станції до мережі головним чином впливає на розподіл потоку електроенергії в мережі, якість електроенергії та динамічні характеристики. Проте вихідна потужність фотоелектричної енергії – це випадкова величина, яка визначається з залежності від сонячної інсоляції в реальному часі. Детермінований метод розрахунку перетоку потужності не може повністю відобразити та оцінити чинники та масштаби впливу.

У традиційному односпрямованому розподільному фідері величина напруги на кінці фідера менша за напругу джерела. Ці величини напруги необхідно підтримувати в певних межах. Регулювання напруги може бути досягнуто двома способами: належним проектуванням системи (наприклад, вибором провідника, налаштуваннями напруги на підстанції за допомогою розподільного трансформатора або пристроїв компенсації), а також пристроями керування, такими як регулювання напруги під навантаженням на трансформаторі (РПН). Часто напруга вузла при генерації ФЕС енергії може зрости, особливо в умовах низького споживання електроенергії.

Коли мережа працює в режимі мінімального навантаження, загальна напруга шин після трансформатора часто не регулюється відповідним чином, тому напруга всієї мережі також зростає. Найважчим станом є варіант з перенапругою більше 10 %. Рівень генерування електростанції залежить від часу (місяця, дня року) та погодних метеофакторів. На рис. 1 показано відмінності між максимальним та мінімальним генеруванням фотоелектричної електростанції потужністю 1 МВт червні та листопаді.

Як видно з графіків на рис.1 в літні місяці збільшується час генерування (тривалість світлового дня зростає) та мінімальна потужність.

Проведемо апроксимацію кривої генерації ФЕС для літнього місяця – липня 2022 (рис. 1). Знайдемо залежність потужності від часу. Використаємо метод підставлення для 5 точок. Використаємо апроксимовану криву для визначення «рівня генерування», який залежно від погоди будемо задавати 25 %, 50%, 75 %, 100 %, дані зведемо в табл.1.



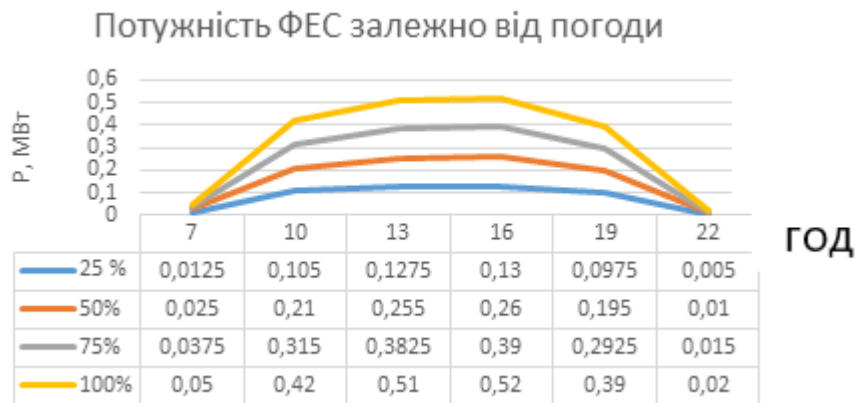
**Рисунок 1 – Зміни потужностей фотоелектричної станції протягом дня в червні та листопаді 2022 року**

Джерело: Авторська розробка

**Таблиця 1 – «Рівень проникнення ФЕС» згідно апроксимації**

час, година	Потужність, МВт	Рапрокс	25%	50%	75%	100%
7	0,05	0,05	0,0125	0,025	0,0375	0,05
10	0,3	0,42	0,105	0,21	0,315	0,42
13	0,65	0,51	0,1275	0,255	0,3825	0,51
16	0,55	0,52	0,13	0,26	0,39	0,52
19	0,3	0,39	0,0975	0,195	0,2925	0,39
22	0,05	0,02	0,005	0,01	0,015	0,02

На рис. 2 показано зміну потужності ФЕС залежно від рівня сонячної інсоляції або («рівня сонячності»). Цей графік враховує зменшене значення сонячної інсоляції протягом дня.



**Рисунок 2 – Крива зміни потужності ФЕС у відсотках**

Джерело: Авторська розробка

Важливо також отримати криві зміни продуктивності ФЕС (Y(X)) для різних місяців року (рис.3)

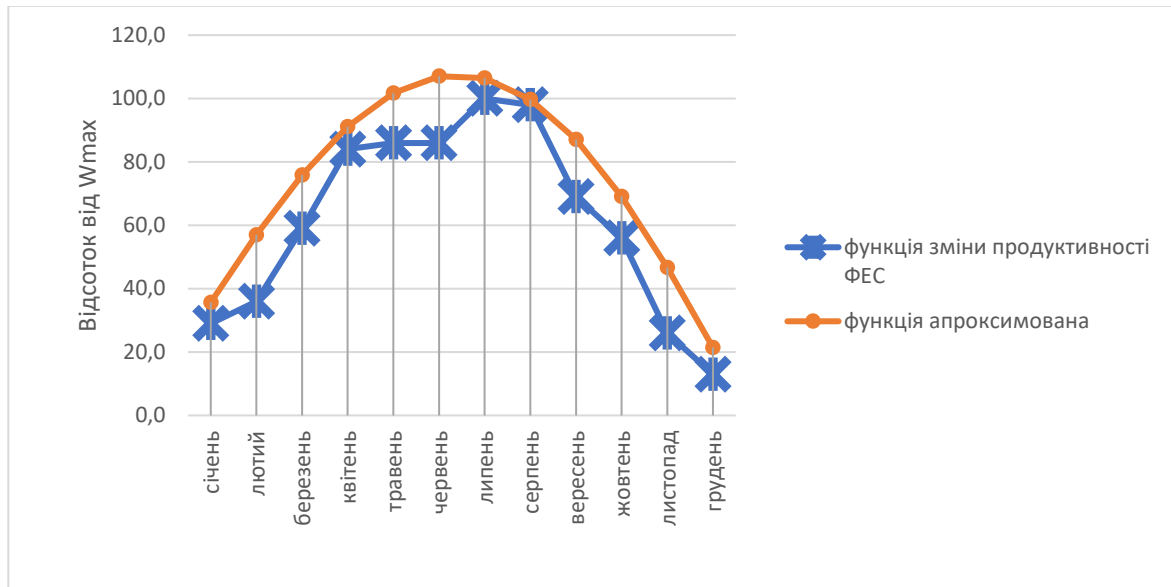
$$Y(X) = 22,85 \cdot X - 0,215 \cdot X^3 + 0,00042 \cdot X^5 + 13, \tag{1}$$

де X – порядковий номер року, тобто X=1 (січень).

Розрахуємо кілька варіантів зміни напруги на приєднаннях електромережі з підключенням ФЕС. Задаємося умовами, що до низьковольтної локальної



мережі підключено споживачі (житлові будинки) за допомогою СПу перерізом  $35 \text{ мм}^2$ . Змоделюємо підключення приєднань споживачів на різних відстанях один від одного (від 10 до 200 м) та від знижувального трансформатора. Напругу на виході трансформатора приймаємо 235 вольт, але вона може коливатися залежно від первинної напруги і регулюється РПН. Споживання змінюється динамічно залежно від місяця року та часу доби.



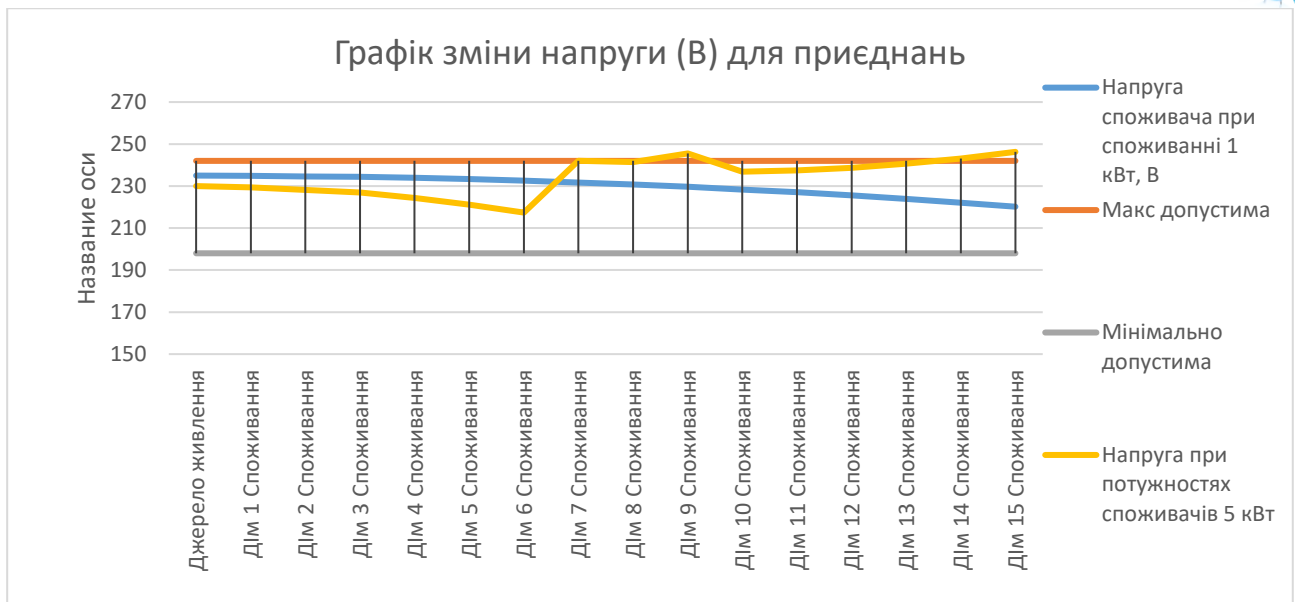
**Рисунок 3 – Ілюстрація відповідності річної кривої генерування продуктивності ФЕС у відсотках**

*Джерело: Авторська розробка*

Коли будинки вмикають електрообладнання (освітлення, електрочайники, холодильники і т.д.), вони починають споживати електричний струм. Моделюємо варіант навантаження в всіх будинках рівний 5 кВт. На початку лінії РПН підніме напругу трансформатора.

Критичними варіантами для відповідності напруги нормам може бути варіант приєднання кількох джерел генерування (ФЕС) в кінці або середині лінії (потужність нових ФЕС приймаємо 30 кВт). Власники нових ФЕС в договорах на приєднання оплачують збільшення дозволеної потужності до 30 кВт, відповідно підрядні організації зобов'язуються провести заміну проводу на провід СП  $4 \times 70 \text{ мм}$ . На рис. 4 показано варіант зміни напруги в точках приєднання. Зниження напруги на початку лінії відбулося через менші втрати напруги в проводі з більшим січенням.

Для того щоб передати 60-120 кВт (більше ніж споживання) потужності будинків, інвертору необхідно підняти напругу вище 262 В. Ще «важчим для системи» є ситуація, коли споживання мінімальне. В такому режимі роботи мережі, напруга може зрости до 277 В, а це означає, що інвертор, який за налаштуваннями за замовчуванням відмикається при напрузі 264 В, буде багато часу простоювати без генерації і власник станції буде недотримувати значні кошти. Напруга також підвищується на інших приєднаннях, які не мають фотоелектричного генерування.



**Рисунок 4 – Зміна напруги в магістральній лінії з навантаженням після генерування електроенергії ФЕС в кінці лінії та в середині лінії**

*Джерело: Авторська розробка*

Важливо також розробляти технології для зберігання енергії, оскільки вони дозволяють зберігати надлишкову електроенергію, що генерується в періоди високої продукції, і використовувати її в періоди низької продукції. Це може сприяти забезпеченню стабільності в енергетичних системах та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

### **Висновки.**

1. Проаналізовано, як впливає величина потужності, а також точка доступу фотоелектричної станції при підключенні до мережі на зміни параметрів мережі та перевищення межі дозволених норм якості електроенергії.
2. Висвітлено можливості застосування механізму узгодження прогнозування генерування енергії фотоелектричною станцією та споживання в мережі залежно від режимів та змін напруги.

### **Література:**

1. Batsala, Y., Hlad, I. (2023). Power Quality Issues of Photovoltaic Stations in Electric Grids and Control of Main Parameters Electromagnetic Compatibility. In: Pawelczyk, M., Bismor, D., Ogonowski, S., Kacprzyk, J. (eds) Advanced, Contemporary Control. PCC 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 708. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35170-9\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35170-9_25)
2. Irina Meghea. Comparison of Statistical Production Models for a Solar and a Wind Power Plant, Mathematics, MDPI, 2023. vol. 11(5), pages 1-16, February.
3. Yaroslav Batsala, Ivan Hlad, Iryna Yaremak. Forecasting day-ahead of power generation from photovoltaic stations and use weather apps. „Journal of New Technologies in Environmental Science”. №4. 2021. Pp.143-149. Doi: 10.53412/jntes-2021-4-3
4. Leva, S. & Dolara, Alberto & Grimaccia, F. & Mussetta, Marco & Ogliari, Emanuele. (2015). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network



forecasting of photovoltaic output power. Mathematics and Computers in Simulation. 131. 10.1016/j.matcom.2015.05.010.

5. Ya.V.Batsala, I.V.Hlad, I.I.Yaremak, O.I.Kiianiuk Mathematical model for forecasting the process of electric power generation by photoelectric stations Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021, (1): 111 - 116.

6. Alsafasfeh, Qais, Omar A. Saraereh, Imran Khan, and Sunghwan Kim. 2019. "Solar ΦEC Grid Power Flow Analysis" Sustainability 11, no. 6: 1744. <https://doi.org/10.3390/su11061744>

7. Yang G, Marra F, Juamperez M (2015) Voltage rise mitigation for solar PV integration at LV grids. J Mod Power Syst Clean Energy 3(3):411–421.

**Abstract.** *The article proposes to use models for forecasting the output power and productivity of a photovoltaic plant to analyze their impact on the change in voltage in the network. When modeling the operation of the power system with photovoltaic plants, it is necessary to take into account the prospects for the growth of energy production, which can affect the modes of operation of the power system, as well as take into account the periodicity and uncertainty of the input parameters. The amount of energy that can be obtained from a PV plant depends on two key random variables, namely illumination and temperature. Understanding the stochasticity of generation allows companies and power plant operators to better manage the risks associated with fluctuating production, for example planning backup energy sources or optimizing the capacity of solar power plants.*

**Key words:** *photovoltaic installation, forecasting the amount of generated electricity, voltage, electricity flows.*

Стаття відправлена: 16.01.2024 р