**Грицак Роман Ігорович**, аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

м. Івано-Франківськ

ORCID: 0009-0005-7220-1690

**Яворський Андрій Вікторович**, кандидат технічних наук,

доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

м. Івано-Франківськ

ORCID: 0000-0002-5970-4286

**ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗГЕНЕРОВАНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

Сучасна енергетика активно інтегрує відновлювані джерела енергії (ВДЕ) для зменшення викидів парникових газів і боротьби з глобальним потеплінням. Міжнародна агенція з ВДЕ (International Renewable Energy Agency, IRENA) підкреслює важливість цих джерел для досягнення кліматичних цілей. Звіти, такі як [1], вказують, що країни ЄС можуть перевищити свою ціль у 34% ВДЕ до 2030 року. У звіті 2023 року [2] обговорюється потреба у потроєнні ВДЕ та подвоєнні енергоефективності до 2030 року для вирішення енергетичних викликів і відповідності Паризькій угоді [3]. Незважаючи на різницю в регіонах, важливо враховувати, що у 2022 році спостерігався рекордний зріст ВДЕ.

Досить цікавими є результати порівняння розвитку ВДЕ в Україні та країнах Європи у розрізі фотоелектричної енергетики за останні 10 років. (рисунок 1). Дане порівняння було виконано на основі оприлюднених статистичних даних щодо розвитку відновлюваних джерел енергії за 2023 рік [4]. Згідно наведеної діаграми Україна займає 8 місце по величині загальної встановленої потужності фотоелектричних станцій (ФЕС) станом на 2022 рік при чому, порівнюючи із 2021 роком, вона поступилась однією позицією, що спричинено пошкодженням частини встановлених потужностей у результаті воєнних дій.

Рисунок 1 – Зведені дані щодо зміни обсягів встановленої потужності фотоелектричних систем в розрізі країн за 10 років

Проте для забезпечення здійснення будь-якого прогнозу, щодо розвитку ВДЕ, необхідним є проведення модернізації енергетичних систем. Це зумовлено тим, що при збільшенні частки ВДЕ у наявній системі виникнуть значні проблеми. Серед яких згідно [1] постають питання необхідності колосального збільшення маневрових потужностей і покращення якості електричної енергії, а також наведена у [2] інформація, про стрімке зростання об'єму змінної електричної енергії (від ВЕС і СЕС) до 2030 року (з 23% до 62%). Вирішення даних проблем є надзвичайно важливим.

Розглядаючи в цьому плані фотоелектричні станції, як домінуючу систему сонячної енергетики, можна відмітити, що основною проблемою їх масової інтеграції в існуючу структуру енергопостачання є неспівпадіння графіків генерації та споживання, негативний вплив на якість електричної енергії.

Щодо впливу фотоелектричних станцій на якість електричної енергії в мережі, більшість дослідників зосереджують свою увагу на питаннях взаємодії роботи інвертора, як основної складової ФЕС [ 5- 9].

Проте, на нашу думку, проблему зниження якості електричної енергії за умови приєднання ФЕС необхідно розглядати ширше в плані впливу зовнішніх чинників на роботу усього обладнання ФЕС, а не тільки мережевого інвертора.

Відповідно до наявних на даний час досліджень можна виділити зовнішні чинники, які будуть мати вплив на ПЯЕ в точці приєднання ФЕС. Проаналізувавши різні дослідження, виділено: рівень інсоляції, температуру навколишнього середовища та обладнання (фотоелектричних модулів, інверторів), забрудненість фотомодулів та термін експлуатації.

Як відомо, інсоляція, температура навколишнього середовища та обладнання, забрудненість фотоелектричних модулів та інші фактори прямолінійно впливають на об’єми генерації електричної енергії. А з експериментальних досліджень [5], [6] та [7], в яких проводилось визначення ПЯЕ на ФЕС із різними потужностями, випливає, що якість погіршується саме при зміні потужності. Тому є підстави вважати, що всі зовнішні фактори, які впливають на генеровану потужність будуть впливати і на ПЯЕ.

При цьому дослідження [14; 15] додатково підтверджує наявність значного впливу зовнішніх факторів, що впливають на зміну генерованої потужності, на ПЯЕ від ФЕС. Було визначено, що навіть невеликі ФЕС здатні спричиняти коливання напруги та появи явища флікера, які спричинені різкою зміною рівня інсоляції (мерехтіння), через який в більшості випадків поступають скарги до операторів систем розподілу. Та наявність спотворень гармонічних складових при зміні інсоляції , яка відбувається регулярно.

Розглядаючи в цьому плані вплив інсоляції, одразу варто зауважити, що її рівень суттєво змінюється протягом дня і року та сильно залежить від погодних умов і місця розміщення. Тому можна зробити припущення, що у зв’язку із такими сильними коливаннями рівня інсоляції неминуче буде відбуватись і зміна ПЯЕ, адже змінюватиметься генерована потужність та відповідно режим роботи фотоелектричних модулів та мережевого інвертора. Підтвердженням цього може бути проведене дослідження [10], щодо впливу сонячного випромінювання на ПЯЕ. Його проводили на дослідній ФЕС, в якій одночасно були встановлені фотомодулі різного типу. Результатом цієї роботи було формування висновку про суттєву залежність якості від інсоляції та необхідність подальших досліджень. При цьому недоліком даного дослідження є те, що одночасно були встановлені модулі різного типу, які могли спотворювати кінцеві результати по різному.

Відповідно до дослідження [11] створено віртуальні моделі у середовищі Matlab впливу інсоляції на 2 та 3 рівневі інвертори. Які вказали також на погіршення ПЯЕ і зокрема наявність гармонічних спотворень. Відповідно, в розрізі впливу інсоляції на ПЯЕ дослідження активно проводяться, проте всі вони лише на початковому етапі.

Щодо впливу температури навколишнього середовища та нагріву обладнання, то доведено, що її збільшення негативно впливає на коефіцієнт корисної дії фотоелектричних модулів та прискорення процесів деградації, а при нагріві компонентів електричних інверторів, які є нелінійними, і на показники якості. Це описано у роботі [12], в якій зведені всі основні отримані результати досліджень та наведені визначені рівняння впливу температури на генерацію електричної енергії. Хоча безпосередньо впливу температури на ПЯЕ не наведено у цій роботі, але він з високою ймовірністю наявний. Тому даний фактор є цікавим, а його дослідження є досить важливим.

Схожий вплив на роботу ФЕС має і рівень забрудненості фотоелектричних модулів. Так при значних нашаруваннях пилу на поверхні фотомодулів відбувається її затінення і перехід у неробочий режим. А оскільки найбільше погіршення якості відбувається при різких змінах у системі, як це було висвітлено у попередніх дослідженнях, то важливо розуміти зміну ПЯЕ в процесі очищення підключених модулів. Тобто в момент, коли буде доволі різко наростати генерація електричної енергії.

З іншої сторони розуміння процесів зміни ПЯЕ під час роботи ФЕС дозволять покращити прилади обліку електричної енергії. Оскільки дослідження [13], де було проведено визначення якості електричної енергії на СЕС Ізмаїльського енерговузла вказує, що при несинусоїдальних режимах роботи ФЕС наявна значна похибка у приладів обліку електричної енергії.

Ґрунтуючись на результатах проведених попередніх досліджень впливу ФЕС на ПЯЕ та розумінні, що їхнє погіршення відбувається при зміні рівня генерації, приходимо до висновку, що проведення комплексного дослідження зовнішніх чинників впливу і можливості на базі цієї інформації дозволяє розробити керування обладнанням ФЕС для дотримання ПЯЕ на належному рівні є надзвичайно важливим.

Виходячи з вище наведеного, можна констатувати, що питання впливу зовнішніх чинників на якість електричної енергії в точці підключення фотоелектричних станцій є недостатньо досліджене, що вимагає комплексного опрацювання цієї проблеми з розробленням відповідних засобів та методик автоматичного керування фотоелектричними станціями з метою не допущення понаднормової зміни показників якості електричної енергії за умови суттєвого впливу зовнішніх чинників.

**Література:**

1. Renewable Energy Prospects for the European Union [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/plclu.
2. NDCs and renewable energy targets in 2023: Tripling renewable power by 2030 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/plcmp.
3. Паризька угода [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/iqiaj.
4. Renewable energy statistics 2023 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/plcny.
5. Бацала Я. В. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції [Електронний ресурс] / Я. В. Бацала, І. В. Гладь, У. М. Николин. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/download/pdf/80561077.pdf>.
6. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС [Електронний ресурс] / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/plcqd.
7. Power Quality Analysis of Photovoltaic Systems [Електронний ресурс] / [M. M.Barreto, A. A. Guananga, A. A. Barragán та ін.]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.icrepq.com/icrepq23/451-23-barreto.pdf>.
8. Nascimentoa M. Power Quality Evaluation of a Photovoltaic System on an Electric Grid [Електронний ресурс] / M. Nascimentoa, V. Mendesa, R. Melíciob. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/pktow>.
9. Дерев’янко Д. Г. Інтегральний показник якості електричної енергії в системах електропостачання з відновлювальними технологіями [Електронний ресурс] / Д. Г. Дерев’янко, О. С. Масло, О. М. Загорський. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/5477/1/16.pdf>.
10. The Effect of Solar Irradiance on the Power Quality Behaviour of Grid Connected Photovoltaic Systems [Електронний ресурс] / [M. Patsalides, D. Evagorou, G. Makrides та ін.]. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: http://surl.li/plcsq.
11. Gada S. Improving Power Quality in Grid-Connected Photovoltaic Systems: A Comparative Analysis of Model Predictive Control in Three-Level and Two-Level Inverters [Електронний ресурс] / S. Gada, A. Fekik, M. Mahdal. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/18/7901>.
12. Klugmann-Radziemska E. The Influence of Elevated Temperature on the Efficiency of Photovoltaic Modules [Електронний ресурс] / Ewa Klugmann-Radziemska. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/pktpe>.
13. Савич С. П. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції [Електронний ресурс] / С. П. Савич, В. О. Панiн. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/3773/1/193-198-Савич.pdf>.
14. Pakonen P. Grid-Connected PV Power Plant Induced Power Quality Problems – Experimental Evidence [Електронний ресурс] / P. Pakonen, A. Hilden, T. Suntio – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7695656>.
15. Phannil N. Power Quality Analysis of Grid Connected Solar Power Inverter [Електронний ресурс] / N. Phannil, C. Jettanasen, A. Ngaopitakkul – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7992269>.