

ВІДГУК

**офіційного опонента, професора кафедри автоматизації,
електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національного університету водного господарства та
природокористування, доктора технічних наук,
професора Васильця Святослава Володимировича
на дисертаційну роботу Цигана Павла Сергійовича на тему
«Енергетична ефективність режимів розподільних мереж
фотоелектричних станцій», представлену на здобуття
ступеня доктора філософії за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

1 Актуальність теми дисертаційної роботи

Бурхливий розвиток відновлюваної енергетики, намагання знизити використання корисних копалин для генерації електроенергії, досягти енергетичної незалежності та кліматичної нейтральності обумовлюють актуальність пошуку шляхів підвищення ефективності функціонування фотоелектричних станцій. Основною проблемою електричних мереж з фотоелектричними потужностями є нестабільний характер генерації, що вимагає застосування додаткових заходів. Зокрема, можуть бути застосовані накопичувачі електроенергії (акумуляторні, гравітаційні тощо) для узгодження генерації та попиту. Також відомо про використання керованих споживачів, дає змогу досягнути суттєвого ефекту. Проте такі заходи не дозволяють повною мірою забезпечити прийнятні показники електромагнітної сумісності напівпровідникових інверторів фотоелектричних станцій та раціональне використання силового електрообладнання. Вказані обставини обумовлюють актуальність теми дисертаційної роботи.

Це дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота Цигана П.С. виконана з актуальної теми, яка є важливою для забезпечення енергетичної незалежності України.

2 Структура та зміст основних положень дисертаційної роботи

Дисертаційна робота структурно вибудована логічно та послідовно. Матеріали викладено професійно і на високому науковому рівні. Результати та висновки роботи цілком відповідають її темі, сформульованій меті та поставленим завданням.

У **вступі** до дисертації Цигана П.С. обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання досліджень, наведено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано впровадження результатів роботи, наведено інформацію щодо апробації матеріалів дисертації.

У **першому розділі** «Проблеми та особливості режимів розподільних мереж ФЕС» розкрита проблематика та тенденції розвитку систем електрозабезпечення в Україні. Критично проаналізовано особливості розвитку та проблематика роботи сонячних станцій в електричних мережах. Розглянуто режими генерації електричної енергії та завантаження електрообладнання розподільних мереж ФЕС. Намічені шляхи підвищення енергоефективності режимів розподільних мереж ФЕС.

У **другому розділі** «Електромагнітна сумісність режимів роботи ФЕС» Циган П.С. досліджує електромагнітну сумісність мережевих інверторів у складі фотоелектричної станції. Запропоновано спосіб підвищення рівня завантаження мережевих інверторів. Розроблено технічне рішення та алгоритм роботи системи довантаження інвертора.

У **третьому розділі** «Підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу ФЕС» описано особливості вибору обладнання розподільних мереж ФЕС. Здійснено оцінювання завантаження та ресурсу силових трансформаторів. Розроблено методику вибору раціональної потужності силових трансформаторів для фотоелектричних станцій. Обґрунтовано методологію ефективного вибору ліній електропередачі за фактичним режимом роботи ФЕС.

У **четвертому розділі** «Техніко-економічне обґрунтування рішень підвищення енергоефективності режимів розподільних мереж ФЕС»

здійснено оцінювання електромагнітних збитків в системі електропостачання ФЕС, а також наведена техніко-економічна оцінка потенціалу прийняття трансформаторів раціонального типорозміру.

У загальних висновках здобувач узагальнив отримані результати, а також навів рекомендації щодо їхнього практичного застосування.

Список використаних джерел та посилань на них у тексті дисертації свідчить, що під час роботи було проаналізовано достатню кількість сучасних результатів наукових досліджень за темою дисертації.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в наукових публікаціях автора, які наведено у вступі дисертаційної роботи. Отже, за змістом, структурою та оформленням розглянута дисертаційна робота повною мірою відповідає вимогам МОН України.

Тема дисертаційної роботи, її зміст, об'єкт та предмет дослідження відповідають спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

3 Наукова новизна положень, висновків та результатів дисертаційної роботи

Метою дисертаційної роботи є підвищення енергоефективності режимів роботи фотоелектричних станцій шляхом раціонального вибору параметрів обладнання їх розподільних мереж з урахуванням особливостей процесів генерації електричної енергії та показників електромагнітної сумісності мережевих інверторів ФЕС.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язано такі завдання:

- проаналізовано поточний стан та визначені основні проблеми експлуатації фотоелектричних станцій;
- оцінено відповідність параметрів обладнання розподільних мереж діючих ФЕС за показниками фактичних режимів роботи з позицій забезпечення їх ефективного вибору та експлуатації;

– проаналізовано режими роботи мережевих перетворювачів ФЕС за показниками їх електромагнітної сумісності;

– встановлено закономірності зміни показників якості електричної енергії в мережах з ФЕС та їх вплив на енергоефективність режимів роботи обладнання розподільних мереж;

– обґрунтовано спосіб довантаження мережевих інверторів для підвищення їх енергоефективності за показниками електромагнітної сумісності, розроблено технічну реалізацію та алгоритм роботи системи;

– обґрунтовано заходи щодо удосконалення методики й алгоритму вибору раціональних номінальних параметрів силових трансформаторів та ліній електропередачі для ФЕС з урахуванням комплексу факторів впливу та показників режимів їх експлуатації;

– оцінено потенційний економічний ефект від впровадження розроблених заходів для електротехнічного комплексу ФЕС щодо підвищення енергетичної ефективності його режимів роботи.

Об'єктом дослідження є режими роботи електротехнічних комплексів фотоелектричних станцій.

Предмет дослідження – параметри енергоефективності процесів генерації та розподілу електричної енергії з урахуванням показників електромагнітної сумісності перетворювачів фотоелектричних станцій.

Ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи Цигана П.С. дало можливість встановити ключові положення, які характеризують наукову новизну отриманих здобувачем результатів, а саме:

1. Раціональне значення розрахункової потужності силових трансформаторів електротехнічного комплексу фотоелектричної станції з урахуванням особливостей генерації електричної енергії протягом року при зміні інсоляції знаходиться на інтервалі, обмеженому коефіцієнтами теплової інерції та електромагнітної обстановки в діапазоні 0,6...0,9 від нормативного значення.

2. Амплітуди вищих гармонік струму мережевих інверторів ФЕС у динамічному режимі роботи із завантаженням до 50% від номінального змінюються гіперболічно, обернено рівню завантаження перетворювача.

4 Методи дослідження, використані в дисертаційній роботі

Дослідження виконано з використанням теоретичних та експериментальних методів досліджень, а також математичного моделювання об'єктів фотоелектричних станцій з використанням програмних продуктів, методів математичної статистики та оброблення експериментальних даних, математичного апарату перетворення Фур'є.

5 Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі електроенергетики НТУ «Дніпровська політехніка». Дослідження за темою дисертації виконано відповідно до планів науково-дослідних робіт: «Оцінка електромагнітної сумісності систем електропостачання шахт в умовах потужних нелінійних навантажень та діагностика технічного стану і підвищення ефективності шахтних вентиляторних та підйомних установок» (госпдоговір № 984-ПУ-ШУГК/030101-19 від 02.05.2019р.); «Компенсація реактивної потужності в шахтних електричних мережах» (госпдоговір № 808-ПУ-ШУП/030102-19 від 01.07.2019р.), ГП-508 «Методи та засоби енергоефективного розподілу та споживання електроенергії на основі концепції «Smart grid» (2021-2022 рр.) (№ держреєстрації 0115U002296), госпдоговори «Дослідження поточних та аналіз очікуваних параметрів режиму роботи системи електропостачання водовідливної установки за умови її живлення від дизельного генератора: оцінка необхідної структури, параметрів, вимог, умов для ВСП «Шахтоуправління ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»» (2023 р., №072266-23); «Дослідження поточних та аналіз очікуваних параметрів режиму роботи системи електропостачання водовідливної установки за умови її живлення від дизельного генератора: оцінка необхідної структури, параметрів, вимог, умов для ВСП «Шахтоуправління Тернівське» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»» (2023 р., №072267-23); «Дослідження поточних та аналіз очікуваних параметрів режиму роботи системи електропостачання водовідливної установки за умови її живлення від дизельного генератора: оцінка необхідної

структури, параметрів, вимог, умов для ВСП «Шахтоуправління Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»» (2023 р., №0722268-23); «Визначення електромагнітної сумісності елементів приводу головної вентиляційної установки ВРПД - 4.5 СМ шахти ім. Героїв Космосу ВСП "Шахтоуправління імені Героїв Космосу" ПрАТ "ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ"» (2023 р., №0722272); «Дослідження поточних та аналіз очікуваних параметрів режиму роботи системи електропостачання підйомної установки ЦР6ч3,2/0,5 за умови її живлення від дизельного генератора через підвищуючий трансформатор: оцінка необхідної структури, параметрів, вимог, умов та обмежень і технічних рішень в системі електропостачання щодо забезпечення стабільної роботи установки для ВСП ШУ «Тернівське» шахта Західно-Донбаська» (2023 р., №0722281); «Дослідницькі послуги щодо вимірювання показників якості електричної енергії для об'єкта системи електропостачання» (2023 р., №0722283), у яких Циган П.С. брав участь як виконавець.

6 Повнота викладу положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи в опублікованих наукових працях

Наукова новизна наявна та достатня для дисертації доктора філософії. Основні наукові і практичні результати, що отримані автором в ході дисертаційного дослідження, опубліковані з необхідною повнотою у 19 друкованих працях, з них 9 – у фахових виданнях України (з яких 1 наукова праця – у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus), 10 – матеріали і тези доповідей на конференціях.

Отже, в опублікованих дисертантом наукових працях у повному обсязі висвітлено головні положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи. Результати проведених досліджень отримали апробацію на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях. Кількість друкованих робіт за темою дисертаційної роботи та їх обсяг відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

7 Зауваження до дисертаційної роботи та дискусійні положення

Позитивно оцінюючи результати виконаних здобувачем Циганом П.С. досліджень, варто зауважити таке:

1. Аналіз стану питання має робитися у 1 розділі. На основі такого аналізу формулюється існуюча проблема та, відповідно, мета роботи. Тому незрозуміло, чому принцип роботи інвертора аналізується у п. 2.1, аналіз способів вибору обладнання здійснюється у п. 3.1. Після того, як мета поставлена, очікується викладення результатів дослідження автора.

2. На стор. 78-79 умови проведення та результати експериментів описуються вкрай стисло, відсутній аналіз результатів, що не дозволяє оцінити ефективність запропонованого технічного рішення.

3. Твердження у висновках на стор. 80: «Запропоновані ... спосіб, схемотехнічне рішення та алгоритм ... дозволяють знизити рівні електромагнітних завад та ... додаткові втрати електроенергії ... на 30-50%...» недостатньо підкріплено викладеними в розділі 2 результатами.

4. У висновках до р. 3 необхідно не просто констатувати факт обґрунтування певної методики, а розкрити її сутність та характерні відмінності від відомих методик.

5. Зауваження щодо оформлення: для статистичних даних (стор. 23, 24) не вказані літературні джерела; на стор. 36 помилково використано термін «фотогальванічний» замість «фотоелектричний»; немає потреби одні і ті самі дані подавати в табл. 1.1 та на графіках, рис. 1.8, необхідно вибрати один з варіантів представлення; незрозуміло, що означає напис «Аналіз останніх досліджень та публікацій.» на стор. 62; деякі креслення виконані в низькій якості (наприклад, рис. 2.17), що ускладнює сприйняття інформації; весь перелік посилань має бути оформлений відповідно до ДСТУ 8302:2015, APA або інших стилей згідно з наказом МОН №40 від 12.01.2017 р.; в переліку посилань зустрічаються застарілі та некоректні джерела [38, 42]; не всі URL в переліку посилань працюють, зокрема [2, 10].

Висловлені зауваження жодним чином не піддають сумніву наукову та практичну цінність отриманих здобувачем Циганом П.С. результатів.

8 Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність існуючим вимогам та висновки

Дисертація Цигана Павла Сергійовича на тему «Енергетична ефективність режимів розподільних мереж фотоелектричних станцій» є завершеною науковою працею з логічно вибудованою структурою. Зміст дисертації відповідає визначеній меті та поставленим завданням, які повністю розв'язано в процесі дослідження. Основні положення роботи, які виносяться на захист, містять наукову новизну. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року №261 (зі змінами), «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 (зі змінами), а її автор – Циган Павло Сергійович – заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор, професор
кафедри автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національного університету водного
господарства та природокористування



Василець Святослав Володимирович

