

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

**ШРАМА** Олександра Анатолійовича

на дисертаційну роботу КУЗНЕЦОВА Дмитра Сергійовича

«Підвищення енергоефективності електричних мереж

з відновлюваними джерелами живлення

за рахунок використання організаційних та технічних заходів»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### **Актуальність теми**

У сучасних умовах трансформації енергетичної системи, зумовленої активною інтеграцією відновлюваних і децентралізованих джерел генерації, особливої ваги набувають наукові дослідження, спрямовані на підвищення гнучкості та надійності роботи електричних мереж. Враховуючи змінність режимів генерації і споживання електроенергії, актуальними завданнями залишаються зниження втрат, забезпечення стабільних рівнів напруги та підтримання якості електропостачання.

У дисертації Кузнецова Д. С. обґрунтовано та реалізовано підходи до оптимізації конфігурації електричних мереж з урахуванням енергоефективності, зокрема визначення раціональних точок розмикання мереж та розміщення компенсуючих пристроїв. Особливу увагу приділено особливостям функціонування мереж з ВДЕ в динамічних умовах.

У роботі використано математичні моделі та алгоритми, що дозволяють оптимізувати структуру мережі із застосуванням комп'ютерного моделювання. Запропоновані рішення перевірено на прикладах реальних розподільних мереж з урахуванням ВДЕ, що підтвердило їх ефективність щодо зниження технологічних втрат і покращення режимних параметрів.

Комплексний характер дослідження, поєднання теоретичних положень з практичною реалізацією, а також адаптованість методів до сучасних викликів розвитку електроенергетичних систем свідчать про високу наукову та прикладну цінність дисертаційної роботи.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Передача електричної енергії» НТУ «ХП». Здобувач брав участь в наступних науково-дослідних роботах: «Дослідження інтелектуальної системи електропостачання на основі залучення активних споживачів» (ДР № 0122U001313, 2022–2023 рр.), «Система сталого електропостачання громад з можливістю забезпечення автономного режиму роботи на основі віртуальних електричних станцій» (ДР № 0124U000669, 2023–2025 рр.). Участь здобувача – виконавець окремих розділів.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

У дисертаційній роботі Кузнецова Д. С., застосовано системний підхід до проведення теоретичних і прикладних досліджень, що ґрунтується на базових принципах теорії електричних кіл, загальної теорії оптимізації та техніки високих напруг. Математична обробка результатів здійснювалася із використанням сучасного програмного середовища DiGSILENT PowerFactory. Достовірність отриманих результатів підтверджується як правильністю вибору методів дослідження, так і результатами комп'ютерного моделювання та впровадженням розроблених рекомендацій щодо поетапної стратегії модернізації електричних мереж з урахуванням зростаючої ролі відновлюваних джерел енергії.

Положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертації Кузнецова Д. С. достатньо обґрунтовані як з наукової, так і з технічної точки зору.

### **Достовірність результатів досліджень**

Достовірність результатів дослідження забезпечується чіткістю постановки наукових завдань, обґрунтованим використанням математичних методів, статистичного аналізу та відповідних фундаментальних положень теорії електричних кіл, загальної теорії оптимізації, техніки високих напруг. Робота виконана з використанням сучасного математичного апарату та комп'ютерного моделювання. Надійність отриманих результатів підтверджується їх валідацією на основі даних реальних об'єктів електричних мереж, що засвідчує обґрунтованість сформульованих у дисертації висновків, положень і практичних рекомендацій.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

– отримав подальший розвиток метод систематичного аналізу топологічних конфігурацій електричних мереж на основі комп'ютерного моделювання в PowerFactory, що відрізняється від існуючих використанням зваженої цільової функції для інтегральної оцінки альтернативних конфігурацій мережі. Запропонований метод дозволяє одночасно враховувати декілька критеріїв оптимізації, для вибору енергоефективної топології мережі;

– отримав подальший розвиток метод динамічного програмування для визначення оптимальних місць встановлення КУ в ЕМ, який відрізняється від існуючих підходів використанням комбінаторних задач на основі комп'ютерного моделювання ЕМ в PowerFactory, що дозволяє більш детально оцінити можливі варіанти розміщення КУ в мережі;

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання**

Практична значимість дисертаційної роботи Кузнецова Д. С. полягає у розробці та вдосконаленні низки методичних підходів, спрямованих на оптимізацію функціонування електричних мереж в умовах інтеграції ВДЕ. Зокрема, заслуговують на увагу: методика аналізу топологічних конфігурацій із застосуванням зваженої цільової функції для вибору оптимальної структури мережі за багатьма критеріями; підхід до визначення ефективних точок підключення відновлюваних джерел з урахуванням індексу чутливості та технічних обмежень; методика вибору розташування конденсаторних установок на основі динамічного програмування і комп'ютерного моделювання; а також запропонований алгоритм реалізації послідовної стратегії модернізації мереж, який охоплює технічні й організаційні заходи для забезпечення стабільної та енергоефективної роботи розподільчих електричних систем.

Отримані результати впроваджено в навчальний процес кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП» в рамках освітніх та освітньо-наукових програм за спеціальностями «Електроенергетика» та «Комп'ютерні інформаційні технології цифрової трансформації енергетики».

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні наукові результати, отримані Кузнецовим Д.С., у процесі виконання дисертаційної роботи, знайшли відображення в 11 наукових публікаціях, серед яких 5 статей опубліковано у фахових наукових виданнях України, включених до категорії «Б», та 6 – у матеріалах наукових конференцій і семінарів апробаційного характеру, зокрема 1 робота індексована в міжнародних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

#### **Оцінка змісту дисертації та відповідність встановленим вимогам**

Дисертація Кузнецова Д. С. є завершеним самостійним науковим дослідженням, що відповідає встановленим вимогам. Структура дисертації включає анотації українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел, який налічує 110 найменувань, а також 3 додатки.

У вступі дисертаційної роботи Кузнецова Д. С., чітко визначено актуальність теми, сформульовано мету й завдання дослідження, обґрунтовано його наукову новизну та практичну значущість, наведено дані про апробацію та публікації.

У першому розділі автором проведено аналіз структури технологічних втрат електроенергії та чинників, що на них впливають, зокрема в контексті впровадження ВДЕ. Підкреслено доцільність оптимізації топології мереж та компенсації реактивної потужності для зменшення втрат.

Другий розділ присвячено удосконаленню методів оптимізації топології мереж із застосуванням зваженої цільової функції та комп'ютерного моделювання. Запропонована методика довела свою ефективність на прикладі реальної мережі.

У третьому розділі автором було розглянуто вплив ВДЕ на роботу ЕМ, розроблено методику визначення оптимальних місць їх підключення з урахуванням індексу чутливості. Проведене моделювання показало зниження втрат електроенергії навіть за змінних умов генерації.

У четвертому розділі запропоновано вдосконалений метод визначення розміщення конденсаторних установок на основі динамічного програмування. Методика дозволяє підвищити енергоефективність мережі та поліпшити якість електропостачання.

У п'ятому розділі сформовано поетапну стратегію модернізації розподільчих електромереж, яка об'єднує результати попередніх розділів у єдину концепцію технічного розвитку, адаптовану до умов широкого використання ВДЕ.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 110 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

#### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків здобувача. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

#### **По дисертаційній роботі Кузнецова Д.С. є зауваження:**

1. З тексту дисертації не зрозуміло, яку залежність мають між собою рис. 4.1 та 4.2.

2. У розділі 5 сформульована комбінована модель для оптимізації. Але не зазначено, яким чином вирішувалася задача узгодження критеріїв, що мають різну фізичну природу, наприклад, втрати та стійкість.

3. З тексту дисертації не зрозуміло, який саме тип конденсаторних установок використовувався в моделюванні.

4. У розділі 2 наведено приклад оптимального місця розмикання лінії без зазначення, чи була перевірена стійкість такого розмикання при зміні топології живлення або підключення нових навантажень.

5. З тексту дисертації не зрозуміло, як саме обиралась потужність ВДЕ для моделювання.

6. Автор не зазначив в тексті дисертації, чи проводився аналіз сценарію, коли генерація від ВДЕ перевищує локальне споживання ПС.

7. При розгляданні варіанту з оптимізацією точки розмикання у розділі 2 не вказано, який алгоритм обчислення використовувався для пошуку глобального, а не локального екстремуму при мінімізації втрат.

8. У тексті дисертаційної роботи наявні поодинокі друкарські, пунктуаційні та орфографічні помилки, які не мають істотного впливу на загальне сприйняття змісту.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

## **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота Кузнецова Дмитра Сергійовича «Підвищення енергоефективності електричних мереж з відновлюваними джерелами живлення за рахунок використання організаційних та технічних заходів» є завершеним науково-дослідним дослідженням, яке розв'язує актуальну науково-практичну проблему. Вона спрямована на підвищення енергоефективності електричних мереж із ВДЕ через застосування комплексного підходу, що поєднує організаційні та технічні рішення. У роботі успішно розв'язані ключові завдання: здійснено детальний аналіз втрат електроенергії, досліджено вплив ВДЕ на параметри електричної мережі, удосконалено методи оптимізації топології

мережі та вибору оптимальних точок підключення ВДЕ і конденсаторних установок, а також розроблено поетапну стратегію модернізації мереж із застосуванням багатокритеріальної цільової функції. Запропоновані підходи підтверджені комп'ютерним моделюванням і експериментальними дослідженнями, що засвідчує їх наукову новизну і практичну цінність для підвищення ефективності та стабільності роботи розподільчих електричних мереж в умовах зростання частки ВДЕ.

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та наявну практичну значимість вважаю, що дисертаційна робота Кузнецова Дмитра Сергійовича «Підвищення енергоефективності електричних мереж з відновлюваними джерелами живлення за рахунок використання організаційних та технічних заходів» відповідає спеціальності 141 – Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам 6, 7, 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44, а здобувач Кузнецов Дмитро Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри

електропостачання промислових підприємств

Національного університету

«Запорізька політехніка»

канд. техн. наук, доцент

Олександр ШРАМ

