

## ВІДГУК

*офіційного опонента на дисертаційну роботу Комара Вячеслава Александровича «Оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи*

### Актуальність теми

Сучасний рівень електрифікації зумовлює підвищення вимог до якості електропостачання, тому все більшої актуальності набувають задачі раціональної організації експлуатації і управління функціонуванням та розвитком електроенергетичних систем. Розв'язання цих задач ускладнюється інтенсивним впровадженням відновлювальних джерел енергії. Особливо це стосується розподільних електричних мережах, які в наслідок своїх особливостей є непристосованими до появи нестабільних джерел енергії в наслідок відсутності достатнього рівня автоматизації мереж.

Отже, тема дисертаційної роботи Комара В. О., що присвячена пошуку шляхів розв'язання протиріч, які виникають під час розв'язання проектних і експлуатаційних задач в електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії шляхом розроблення методів вибору стратегій їх розвитку за інтегральним критерієм якості функціонування, є актуальною.

Методологія розв'язання поставлених в дисертації задач базується на застосуванні методів теорії подібності й моделювання, теорії марковських та напівмарковських процесів, методів статистичного аналізу на основі Гауссових сумішей, методів лінійного й нелінійного програмування. Розроблені автором методи та засоби визначення інтегрального показника якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії ґрунтується на застосуванні сучасної обчислювальної техніки та інформаційних технологій.

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертація виконана в плані наукових досліджень кафедри електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету. Починаючи з 2000 року й по теперішній час автор постійно брав участь у наукових дослідженнях за держбюджетними та госпдоговірними темами, як відповідальний виконавець, зокрема за темами: «Інтегрування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в електричні мережі для підвищення їх енергоефективності з використанням SMART GRID технологій» (№ держреєстрації 018U000206), «Програмно-апаратний комплекс прогнозування режимів функціонування фотовольтаїчних електричних станцій» (№ договору 2162), «Розроблення системи прогнозування виробітку електричної енергії фотоелектричними станціями» (№ договору 2163). Крім того, за участі

автора розроблялися програмні засоби оптимізації функціонування електричних мереж з розосередженим генеруванням.

### **Зміст і коротка характеристика результатів дослідження**

У першому розділі виконано методами кваліметрії аналіз різних чинників, що впливають на забезпечення необхідного рівня якості електропостачання і зроблено висновок про необхідність визначення функціональної готовності електричних мереж. Для цього запропоновано визначати інтегральний показник готовності електричних мереж забезпечити якісне електропостачання за математичною моделлю, отриманою як поєднання теорії марковських процесів та теорії подібності. Поставлені задачі, розв'язання яких дозволить розробити методи оцінювання складових інтегрального показника та методи його використання для розв'язання задач розвитку та експлуатації електричних мереж.

Другий розділ присвячено розробленню методів оцінювання складових інтегрального показника якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії. При цьому складові враховуються шляхом визначення імовірностей знаходження відповідних характеристик функціональної готовності електричних мереж в певних межах по відношенню до «ідеального» режиму, який визначається виходячи з принципу найменшої дії та теорії подібності. Використання такого підходу дозволяє виконувати порівняння електричних мереж різних за конфігурацією та набором споживаних та генерувальних потужностей без виконання техніко-економічних розрахунків.

У третьому розділі показано, що запропонований підхід у визначенні інтегрального показника якості функціонування електричної мережі дозволяє не лише аналізувати готовність існуючих мереж, а й враховувати індивідуальні вподобання споживачів під час розв'язання проектних задач.

Показано методика переходу від відносних оцінок складових якості функціонування до вартісних з подальшим переходом до техніко-економічного розрахунку. Це дозволяє визначити напрямки для подальшого планування заходів з метою підвищення рівня якості функціонування електричних мереж та електропостачання споживачів.

Четвертий розділ присвячений вдосконалення методів розв'язання задачі оптимального розвитку електричних мереж за критерієм якості функціонування. Розглянуто проблеми розмірності таких задач при формуванні динамічної моделі розвитку електричних мереж.

Показано можливість застосування засобів динамічного програмування для розв'язання задачі оптимального розвитку електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії. Для зменшення розмірності задачі оптимізації розроблені принципи вибору конкурентоспроможних стратегій розвитку електричних мереж.

У п'ятому розділі висвітлені особливості відновлюваних джерел енергії особливо фото- та вітро-електричних станцій і проблеми розбудови пов'язані з цим. Розглянуто перспективи використання ВДЕ як засобу для підвищення рівня

якості функціонування електричних мереж.

Вдосконалено метод визначення оптимальної встановленої потужності та точки приєднання фотоелектричних та вітрових електричних станцій шляхом врахування їх нестабільності генерування як протягом доби так і року.

Розглянуті питання накопичення енергії відновлюваних джерел енергії для зменшення негативних наслідків їх нестабільності. Показано доцільність групового балансування таких джерел.

Запропоновано метод корегування графіків електроспоживання для максимального використання енергії виробленої відновлюваними джерелами енергії. Метод ґрунтується на застосуванні алгоритму транспортної задачі і дозволяє врахувати економічну сторону цієї задачі.

У шостому розділі розглянуто питання інформаційного забезпечення в електричних мережах України і перспективи впровадження технологій Smart Grid. Запропонована архітектура системи моніторингу та керування, яка є першим етапом на шляху впровадження Smart Grid технологій. Така система дозволяє забезпечити оцінювання якості функціонування за сучасного рівня засобів інформаційного забезпечення.

Проведений аналіз інформаційного забезпечення в розподільних електричних мережах показав, що найкращим джерелом інформації є автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Аналіз впливу точності вихідної інформації на результати оцінювання рівня якості функціонування електричних мереж показав, що з достатню точність забезпечує імітація режимів за графіками генерування та навантаження.

Розглянуто проблему врахування технічних обмежень в задачі оптимального розвитку електричних мереж та запропоновано метод її вирішення.

Отже, Комар В. О., провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень та використовуючи відповідні технічні засоби, досяг поставленої мети – розвинув теорію оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії, що дозволило перейти від векторного аналізу функціональної готовності електричних мереж до скалярного.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна**

В дисертації Комар В. О. отримав результати, що мають **наукову новизну**. Вона полягає в розробленні методів і засобів оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії для розбудови їх з більшою енергоефективністю та інвестиційною привабливістю.

Вперше розроблено принципи побудови інтегрального показника якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії, що дозволило оцінити готовність мереж забезпечувати необхідний рівень електропостачання.

Розроблено методи оцінювання складових інтегрального показника якості

функціонування електричних мереж, які ґрунтуються на застосуванні принципу найменшої дії і дозволяють визначати відхилення показників від оптимального їх значення, завдяки чому можуть порівнюватись електричні мережі з відновлюваними джерелами енергії різних конфігурацій та особливостей об'єктів генерування і споживання;

Вперше використано інтегральний показник якості функціонування електричної мережі для розпізнавання конкурентоспроможних стратегій їх розвитку, що дозволяє розробити методи пошуку оптимальних стратегій розвитку електричних мереж, придатних для розв'язання практичних задач.

Вдосконалено метод визначення оптимальних встановленої потужності та точки приєднання відновлюваних джерел енергії шляхом застосування інтегрального показника якості функціонування електричної мережі та аналізу його чутливості до зміни параметрів електричних мереж, що, на відміну від існуючих, дозволяє забезпечити оптимальний розв'язок за декількома критеріями;

Вдосконалено метод визначення оптимальної стратегії розвитку електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії шляхом зменшення кількості станів, які розглядаються під час оптимізації, завдяки розробленим принципам розпізнавання конкурентоспроможних стратегій.

Положення та висновки стосовно сутності науково-прикладної проблеми, принципів і методів побудови математичних моделей є достатньо обґрунтованими. Вони базуються на базових фізичних принципах, принципах системного аналізу, теорії математичного моделювання, теорії оптимізації нормальних режимів електричних мереж. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації й є об'єктивними. Наведені в дисертаційній роботі Комара В. О. висновки та рекомендації щодо використання результатів досліджень є **достатньо обґрунтованими** й відповідають дійсності. Їх **достовірність** досягається коректністю використання математичного апарату та наукових положень. Вона підтверджується зіставленням результатів застосування розроблених моделей, методів і програмних засобів з результатами натурних та обчислювальних експериментів, а також впровадженням практичних результатів у виробництво.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони доповідались на багатьох науково-технічних конференціях і опубліковані в 2 монографіях, 24 статті у наукових фахових виданнях України й 10 статей у періодичних виданнях іноземних держав, серед яких 6 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus, Web of Science та Index Copernicus, 2 у наукових періодичних виданнях України, 6 публікацій у збірниках матеріалів та тез наукових конференцій. Крім того, отримано 1 патент на корисну модель, 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на програмні продукти, які розроблені за результатами досліджень. Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них у повному обсязі представлено матеріали дисертації. Автореферат дисертації відображає її зміст, ідеї та висновки. У авторефераті розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкриті

новизна розробок, теоретичне та практичне значення результатів виконаних досліджень.

### **Значення отриманих результатів для теорії і практики**

Теоретичне та практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що в роботі, використовуючи поєднання теорії подібності та марковських процесів, розроблено сукупність математичних моделей та методів, які можуть використовуватися для комплексного оцінювання готовності забезпечувати необхідний рівень якості електропостачання електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії. Використання узагальнених моделей, а також методів, що розроблені на єдиній методологічній та інформаційній базі, спрощує процес пошуку оптимальних рішень та створює передумови для підвищення ефективності функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії.

Практична цінність отриманих результатів підтверджується їх впровадженням на енергетичних підприємствах України різних форм власності та підпорядкування. Всі результати пройшли досліду експлуатацію в електричних мережах України, а окремі – тривалу промислову експлуатацію, що підтверджується актами про впровадження. Вони використовуються в ПАТ «Вінницяобленерго», ТОВ «Енергоінвест» та ТОВ «Подільський енергоконсалтинг». Крім того, окремі результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі.

Подальше використання результатів роботи полягає у розвитку та вдосконаленні методології оптимізації розбудови відновлюваних джерел енергії з поетапною реконструкцією електричних мереж. Позитивні результати впровадження розробок автора свідчать про можливість їх використання в проектній практиці для розроблення нових і вдосконалення діючих методик вибору стратегій реконструкції електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії.

### **Зауваження**

1. Не зовсім зрозуміло у чому принципова різниця між 1 та 2 пунктами наукова новизни:

“п1 - розроблено *теоретичні основи і принципи оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії, що дозволило отримати інтегральний показник якості функціонування...*;

п.2 - запропоновано *методологічний підхід для математичного опису функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії ..., що дозволило отримати інтегральний показник якості функціонування ...;*”.

2. Не зрозуміло, який сенс автор вкладає у поняття об'єктивної “об'єктивної оцінки відхилення показників від оптимального їх значення ” (п.3 наукової новизни).

3. Не коректне формулювання речення: “Поєднання принципів теорії марковських процесів та теорії подібності дозволило побудувати математичну модель (чого), *які* поєднують імовірнісну складову під час визначення якості функціонування електричних мереж і зміну режимних параметрів в процесі їх функціонування.” (стор.10 автореферату)

4. Як зрозуміти речення: “Інтегральний показник якості функціонування в формі (5) дозволить перейти від векторної? задачі оцінювання якості функціонування до скалярної?”(стор.11 автореферату)

5. Сумнівним є твердження: “Поява в розподільних електричних мережах джерел енергії може забезпечити режим *близький* до режиму замкненої мережі за перетоками струмів і, як наслідок, за втратами електричної енергії (рис. 3, б).?” (стор.13 автореферату)

6. Не зрозуміло, чому у формулі (2.12) автор визначає втрати потужності у 4 вітках, посилаючись на рис.2.8 де є тільки 3 вітки?

7. Автор стверджує, що “Під час оцінювання складової забезпечення якості електричної енергії в роботі основна увага приділялась забезпеченню *нормативних відхилень напруги у вузлах та спотворення кривої напруги* оскільки найбільший вплив ВДЕ мають саме на ці показники”. Відомо, що однією з проблем, зокрема під час роботи вітрових електростанцій є коливання напруги.

8. Як зрозуміти таке некоректне твердження: “Короточасні порушення показників якості, як правило, не ведуть до серйозних наслідків. Тому не має причин висувати *надмірні вимоги* до показників якості електроенергії.” (стор.70)

9. Некоректне речення: “Значення показників якості електроенергії встановлюються під час використання *вимірювального методу*, з використанням вимірювальних приладів установленої точності.” (стор.69)

10. Як зрозуміти таке некоректне твердження: “Основна *вимога до норм якості електроенергії* полягає в їхній *оптимальності*, тобто при заданих вимогах споживача витрати енергопостачальної організації повинні бути прийнятними”.

11. Як зрозуміти твердження: “Крім того, *норми повинні бути динамічними*, тобто необхідне їх періодичне коректування.!? ”

12. Некоректне твердження: “Припустимі (чи допустимі?) відхилення показників якості продукції визначаються зіставленням фактичного й *номінального (а може допустимого)* значень цього показника, тобто значення показника якості, від якого відраховується припустиме відхилення.”

13. Як зрозуміти твердження: “ Система диференційних рівнянь матиме вид (1.5)... ” але ж це не є система диференційних рівнянь”!? (стор.78)

14. Чим відрізняється кількість можливих станів досліджуваної системи і кількість робочих станів у формулі (1.5).(стор.78)

15. Як зрозуміти твердження: “Оскільки *якість функціонування є векторною*, то задача її оцінювання є достатньо складною”? Висновки (стор.89)

Проте зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Комара В. О.

### **Висновок**

Дисертація Комара Вячеслава Олександровича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії оцінювання функціональної готовності електричних мереж в умовах інтенсивної розбудови відновлюваних джерел енергії.

Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною та практичною цінністю результатів досліджень відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами), а її автор, Комар Вячеслав Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Професор кафедри електроенергетики та систем управління  
Національного університету «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України,  
доктор технічних наук, професор



Ю.О. Варецький

Підпис проф. Ю.О. Варецького засвідчую  
Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Р.Б. Брилинський