№67-72-2511
04.05.2020р.

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Бондарчука Анатолія Сергійовича **"Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромоделювання та фрактальних властивостей",** що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Актуальність роботи

В умовах зростання вартості електроенергії актуальними є проблеми раціонального її споживання та використання відновлюваних джерел енергії. Як правило, ці тенденції пов'язані зі зростанням погіршення якості електроенергії в розподільних мережах. Останнім часом суттєво зросли темпи проєктування та будівництва цивільних об'єктів, що зумовило їх суттєву частку в загальному об'ємі споживання електроенергії країни. У зв'язку з суттєвими змінами характеристик домашніх електроприймачів важливим завданням у цьому аспекті є правильний вибір внутрішніх мереж комунальних об'єктів, що безпосередньо пов'язаний з достовірною прогнозною оцінкою їх навантажень. Як показали дослідження, виконані автором, ця проблема вимагає особливої уваги, оскільки застосовувані на підставі чинних нормативних документів методи оцінки навантажень дають суттєво завищені результати.

Режими комунального електроспоживання характеризуються певною мірою стохастичними показниками, вплив яких на результат розрахунку потужностей живильних трансформаторів і внутрішніх кабельних мереж є часто відчутним. Широкий спектр власних досліджень автора і здійснений ним аналіз спеціалізованої періодичної літератури показав, що відомі теоретичні методи прогнозування дають суттєві розбіжності з реальними значеннями електричних навантажень житлових будинків та об'єктів цивільного призначення.

Тому наукові задачі, які поставлено і розв'язано в дисертаційній роботі в рамках вказаної проблеми й котрі спрямовано на розробку ефективних методів визначення розрахункових навантажень цивільних об'єктів є, без сумніву, актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалася на кафедрі «Електропостачання та енергетичний менеджмент» Інституту електромеханіки та енергоменеджменту Одеського національного політехнічного університету відповідно до пріоритетних напрямів виконання Держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України у 2007–2011 рр. за № 594-55, О107U011227 «Дослідження режимів енергоспоживання промислових і комунальних підприємств, розробка заходів підвищення їхньої ефективності в стратегії сталого розвитку». У 2012–2016 рр. за № 78-53, 0113U001466 «Енергетичний

аналіз і поліпшення енергетичної результативності функціонування підприємств, установ, будинків, устаткування, систем і процесів у концепції сталої енергетики».

Зміст і коротка характеристика результатів дослідження

У *вступі* подано загальну характеристику роботи, обґрунтування її актуальності, розкрито мету і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну й практичне значення отриманих результатів.

У *першому* розділі здійснено аналіз чинних методів визначення та прогнозування електричного навантаження. Обгрунтовано здійснювати обчислення електричного навантаження об'єктів цивільного призначення за методами і моделями з використанням графічного та макромоделювання. Подано характеристику показників для визначення розрахункового навантаження цивільних об'єктів за нормативними документами.

Показано, що проблема точності розрахунків електричних навантажень об'єктів цивільного призначення недостатньо висвітлена у наукових працях, на відміну публікацій щодо електричних навантажень енергосистем та промислових підприємств.

У *другому* розділі наведено результати аналізу технічних характеристик традиційних та альтернативних джерел енергії. Висвітлено проблеми, які супроводжують використання сонячних електростанцій в розподільних мережах.

У *третьому* розділі представлено результати моделювання та аналізу графіків електричних навантажень цивільних об'єктів на базі експериментально отриманих даних вимірювально-інформаційної техніки, з використанням сплайн-інтерполяції, сплайн-апроксимації, поліноміальних інтерполяційних сплайнів 3-го ступеня. Отримані моделі дозволяють з достатньою для практичних цілей точністю визначати параметри графіків навантажень, такі як розрахунковий (півгодинний) максимум навантаження, усереднене навантаження, коефіцієнт заповнення графіка, кількість споживаної електроенергії за вибраний інтервал часу.

У *четвертому* розділі висвітлені результати розробки методів і моделей визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням методу фрактальних множин і фрактальної геометрії. Розроблені моделі електричного навантаження цивільних об'єктів дозволили суттєво підвищити рівень достовірності розрахункових навантажень у порівнянні з результатами, отриманими за чинними нормативами, що підтверджено натурними експериментами на об'єктах мікрорайону міста.

У *п'ятому* розділі розглянуто метод оцінки впливу вищих гармонік на додаткове нагрівання елементів електричної мережі. Здійснено аналіз впливу електроприймачів із нелінійними характеристиками на покази лічильників електроенергії і показано, що певні типи лічильників в умовах гармонічних спотворень струмів і напруг мають значні похибки вимірювання.

У *шостому* розділі викладено результати натурних досліджень режиму роботи мережевої сонячної електростанції. Проаналізовано методи зменшення спотворень синусоїдності напруги.

У *сьомому* розділі представлено результати прогнозування енергетичної, економічної та екологічної ефективності застосування гібридних сонячних колекторів з урахуванням цін на енергетичному ринку. За даними попередніх років здійснено прогноз динаміки «основних» і «зелених» тарифів на енергоносії та вартості обладнання колекторів.

Отже, автор, провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень та використовуючи відповідні технічні засоби, досяг поставленої мети – розвинув теорію дослідження та аналізу динаміки режимів споживання об'єктів цивільного призначення і супутніх електромагнітних процесів з метою створення адекватних математичних моделей електричного навантаження для підвищення рівня достовірності його визначення та прогнозування.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.

Обґрунтованість наукових положень і результатів, рекомендацій і висновків підтверджується коректною постановкою задач досліджень, використанням основних положень теорії електроенергетичних систем, методів математичної статистики, кореляційного та регресійного аналізу, експертного опитування, теорії сплайнів, а також коректним використанням апробованих програмних пакетів для аналізу режимів електроспоживання цивільних об'єктів. Достовірність результатів забезпечена коректністю використання математичного апарату та відомих наукових положень. Вона підтверджена чисельними результатами польових вимірювань на чинних комунальних об'єктах та в мережах живлення окремих електроприймачів.

Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

В дисертації Бондарчук Анатолій Сергійович отримав результати, що мають **наукову новизну.** Наукове значення роботи полягає у теоретичному узагальненні та вирішенні важливої науково-практичної проблеми дослідження та аналізу динаміки режимів споживання об'єктів цивільного призначення і супутніх електромагнітних процесів з метою створення адекватних математичних моделей електричного навантаження для підвищення рівня достовірності його визначення та прогнозування. До найважливіших наукових досягнень автора слід віднести:

- Створено концептуально новий метод розрахунку електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом графічного синтезу динаміки його складових з використанням теорії сплайнів, який дозволив суттєво підвищити достовірність його визначення, порівняно з обчисленням за

чинними нормативними показниками, що підтверджено експериментально.

- Встановлено самоафінність структури електричного навантаження цивільних об'єктів та на підставі R/S-аналізу апріорної інформації обґрунтовано фрактальний принцип його формування, який дозволив встановити трендостійкість прогнозування електричного навантаження.
- Показано ефективність застосування методу макромоделювання для швидкої оцінки прогнозу електричного навантаження об'єктів цивільного призначення.
- Запропоновано метод визначення питомого електричного навантаження багатоповерхових будинків на підставі математичного сподівання усереднених функцій.
- Розвинуто метод прогнозування ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для цивільних об'єктів з урахуванням цін на енергетичному ринку, дисконтованого прибутку і строку окупності інвестиційного проєкту.

Практична цінність отриманих результатів

Розроблені в дисертації методи і отримані результати мають значну практичну цінність і уже використовуються в електроенергетичній практиці України. Створено моделі, які дозволили підвищити достовірність визначення електричного навантаження цивільних об'єктів, що стимулюватиме економію матеріальних та енергетичних ресурсів у процесі будівництва та експлуатації систем електропостачання. Оцінка ефективності їх застосування показана в порівнянні з чинними нормативними документами. Основні положення знайшли відображення в лекційних, лабораторних та практичних заняттях, курсовому проєктуванні з дисциплін «Основи електропостачання», «Системи електропостачання», «Особливості електропостачання об'єктів житлово-комунального господарства», «Електропостачання цивільних об'єктів» кафедри «Електропостачання та енергетичний менеджмент» та інших кафедр ОНПУ, а також, у кваліфікаційних та науково-дослідних роботах бакалаврів, магістрів, аспірантів. Результати дисертаційної роботи впроваджено у проєктну практику АТ «Одесаобленерго», Південним РЕМ, ТОВ «С-інжиніринг», рекомендовані до впровадження Центром трансферу технологій ОНПУ, ТОВ «Електротехніка – нові технології», ТОВ «СТАР ЕНЕРЖІ», Науково-виробничою лабораторією «SOLAR PLEX».

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати дослідження **достатньо апробовані.** Наукові положення, висновки і рекомендації, представлені в дисертації і авторефераті, повністю відображено у 34 публікаціях, в тому числі: 21 публікація – у наукових фахових виданнях України, 6 – у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 4 – у наукових періодичних

виданнях інших держав, 2 – у навчальних посібниках з грифом МОН України, 12 публікацій - в матеріалах Міжнародних і Республіканських науково-практичних конференцій, а також патенті України на винахід.

Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень доповідалися і обговорювалися на багатьох міжнародних науково-технічних конференціях.

Автореферат повністю висвітлює основні положення дисертації. У ньому відображено основні ідеї та мету роботи, сформульовано її наукову новизну, подано теоретичне і практичне значення результатів виконаних досліджень.

Зауваження по роботі

1. Назве дисертації сформульовано термінологічно невдало: "Методи і *моделі визначення* електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромоделювання та *фрактальних властивостей* (чого?)".

2. Помилка у формулі (2.1) – обидві частини формули не дорівнюють одна одній. (стор. 52)

3. Розділ 2 має назву "Дослідження особливостей характеристик традиційних та альтернативних джерел електропостачання цивільних об'єктів", хоча як за текстом і висновками до цього розділу це просто перелік характеристик цих джерел.

4. Дуже невдалий переклад *Хрест-фактор*?! (**crest factor** – коефіцієнт максимального значення, а не коефіцієнт хреста). В українській технічній літературі має назву коефіцієнта амплітуди, як це у 1 абзаці зазначає сам автор. Для чого далі використовувати цей некоректний вираз? (стор. 267)

5. З наведеного у підрозділі 4.1 прикладу визначення розрахункового навантаження житла з газовою плитою на стор.146 наведено значення гармонік струму. Проте не вказано, які це значення – середні чи максимальні за вибраний період, та яким чином їх отримано – в результаті вимірювань чи з використанням вибраних методів еквівалентування.

6. Розділ 4.2 присвячено методу графічного визначення розрахункового електричного навантаження. Проте з тексту дисертації незрозуміло в чому ж полягає оригінальність цього методу і чому він названий графічним? Як правило, викладаючи суть нового методу формулюють певні його принципи, а в тексті дисертації цей підрозділ починається словами: "*Як приклад, визначається розрахункова потужність жител…*" і далі за текстом викладено приклад розрахунку за тривіальними формулами (4.1)…(4.30). Водночас на стор. 164 автор декларує: "*Моделювання графіків навантаження характерних 12 квартир здійснено за розробленою прикладною програмою в середовищі MathCAD*" і наводить фрагменти програми без пояснень.

7. В додатку Б наведено таблицю Б.1, котра викладена на 13 сторінках тексту (стор.338-351) і в якій згруповано "Вхідні апріорні дані щодо макромоделювання, фрактального R/S аналізу…". Проте незрозуміло, що це за

величини? Чи є сенс у тексті дисертації для демонстрації наукового методу наводити таку кількість числових даних?

8. В списку літератури є повторення, наприклад пп. 49 і 57.

9. Сумнівною є коректність системи диференційних рівнянь (5.11)…(5.13) для "…отримання *динаміки електричного навантаження* від дії вищих гармонік…". (стор. 251-252)

10. Важко погодитися з твердженням автора викладеним у висновках до 5 розділу: "п.1 - Електромагнітна сумісність викликає глобальну проблему в системах електропостачання об'єктів цивільного призначення, оскільки вищі гармоніки в електричних мережах призводять до ряду негативних явищ, які *недостатньо висвітлені в науковій літературі*".

11. На стор.268 в останньому абзаці йдеться, очевидно, про *втрати*, а не про *витрати* електроенергії.

12. В тексті дисертації зустрічаються некоректні вислови:

- "… *моделі визначення* електричного навантаження…" (назва дисертації і далі у тексті),
- "*Моделі диференційних рівнянь*… процесів в електропроводці житла за дією вищих гармонік"(стор.4, назва підрозділу 5.3),
- "Режими електроспоживання, як відомо, є результатом підсумовування значної кількості складових, наслідком яких (*режимів чи складових*?) *виявляється* нормальний розподіл цих випадкових процесів…" (стор. 9 – 1 абзац),
- "Розроблено *теоретичну* і *реальну математичну* модель їхньої динаміки…?!" (стор. 9 – 3 абзац),
- "*Поза достатньої наукової уваги* залишаються питання договірного визначення розрахункових навантажень…?!" (стор. 10 – 2 абзац),
- "*Експериментально зазначені* коефіцієнти…?!" (стор. 54 – 1 абзац)
- "…коефіцієнт спотворення напруги *в місті приєднання* МСЕС..." (стор. 70 – рис.2.11 та абзац 2),
- "Спостерігаються *сплески симетричного струму* за фазами живильного кабелю тривалістю 1−2 с ..." (стор. 157, останній абзац),
- "Під час вибору форми моделі *може стати* математичне макромоделювання із використанням дискретних автономних макромоделей..."(стор. 192, 5 абзац),
- "…величина *діючого значення активної потужності*..."(стор. 249, 2 абзац).

Проте зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Бондарчука А. С.

Висновок

За характером і результатами виконаних досліджень дисертація Бондарчука Анатолія Сергійовича є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі запропонованих підходів, методів і моделей здійснено вирішення актуальної наукової проблеми дослідження та аналізу динаміки режимів споживання об'єктів цивільного призначення і супутніх електромагнітних процесів з метою створення адекватних математичних моделей електричного навантаження для підвищення рівня достовірності його визначення та прогнозування.

Дисертаційна робота "Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромоделювання та фрактальних властивостей " 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). Її автор, Бондарчук Анатолій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 - електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент, професор
кафедри електричних систем і мереж
Національного університету
"Львівська політехніка", д.т.н., професор Ю.О. Варецький

Підпис проф. Ю.О. Варецького засвідчую
Вчений секретар
Національного університету
"Львівська політехніка" Р.Б. Брилинський

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ • НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА" • ЗКПО 02071010