

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Бондарчука Анатолія Сергійовича на тему «Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

З кожним роком в Україні стрімко зростає будівництво цивільних об'єктів та нарощування електричного навантаження існуючого житлового сектору через процеси урбанізації, рівень електроспоживання яких досягає електроспоживання промисловістю. Але існуючі методи розрахунку їх навантаження базуються на застарілих даних та моделях розрахунку, що знижує їх точність та техніко-економічні показники розроблених на їх основі об'єктів. Зважаючи на це, актуальним і важливим стає достовірне визначення розрахункового навантаження та передбачення електроспоживання житлових будинків, мікрорайонів, міста на найближчу і подальшу перспективу. Це дозволяє економити матеріальні та енергетичні ресурси на спорудження та експлуатацію систем електропостачання (СЕП).

Мета дисертаційної роботи Бондарчука А. С. полягає у вирішенні важливої науково-практичної проблеми – розроблення методів і моделей підвищення рівня достовірності визначення електричного навантаження цивільних об'єктів, що дозволяє на стадії проектування створювати умови економії енергетичних і матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації СЕП.

Сьогоднішні інформаційні системи вимірювання та обліку електроенергії, розробки прикладних комп'ютерних програм допомагають створенню методів і моделей щодо підвищення точності визначення розрахункового електричного навантаження СЕП цивільних об'єктів. Ці можливості у достатньо повній мірі використано та висвітлено здобувачем у представленій дисертаційній роботі, авторефераті, держбюджетних науково-дослідних роботах, де він був виконавцем окремих розділів, його статтях у вітчизняних та зарубіжних наукових журналах та навчальних посібниках з грифом МОН України.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Представлені наукові положення, висновки і рекомендації, їх достовірність і наукова новизна у дисертаційній роботі є обґрунтованими, логічно завершеними, оскільки базуються на використанні фактичної інформації

автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), отриманої в реальних системах електропостачання цивільних об'єктів, застосуванні теорії ймовірності, методів математичної статистики, теорії сплайнів, графічного і макромодельовання, фрактальних властивостей при аналізі динаміки та прогнозу електричного навантаження.

Висновки дисертації є достатньо повними, логічними та відображають її сутність.

3. Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів полягає у такому:

- розроблено метод розрахунку електричного навантаження цивільних об'єктів на базі графічного синтезу динаміки його складових з використанням моделювання на основі теорії сплайнів, який дозволив у 1,5–3,5 разів підвищити достовірність його визначення, порівняно з обчисленням за чинними нормативними показниками (ДБН), що підтверджено вимірами на реальних СЕП;

- доведена самоафінність структури електричного навантаження цивільних об'єктів та встановлено за методом R/S-аналізу апріорної інформації фрактальний принцип його формування, який дозволив чисельно оцінити за показником Херста наявність довготривалої пам'яті та її глибину, трендовитість часового ряду та передбачення кризових ситуацій;

- застосовано метод макромодельовання як основи прогнозування електричного навантаження об'єктів цивільного призначення на коротко- та довготривалий період, який відрізняється від існуючих методів використанням дискретних автономних макромоделей, що не потребують попередньої обробки апріорної інформації та дозволяє пришвидшити процес моделювання;

- запропоновано метод визначення питомого електричного навантаження жител багатопверхових будинків мікрорайону міста за моделлю математичного сподівання усереднених функцій, який на відміну від чинних нормативних документів, дозволив результати обчислення наблизити до реального значення;

- отримав подальшого розвитку метод оцінки впливу вищих гармонік, які генеруються ЕП з нелінійними характеристиками на електричне навантаження струмовідних частин шляхом моделювання за сплайн-інтерполяцією процесів в електричній мережі цивільних об'єктів, що дозволяє передбачати ситуації небезпечного їх перегрівання під час експлуатації;

- розвинена методика прогнозування ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для енергозабезпечення цивільних об'єктів, що відрізняється від інших урахуванням цін на енергетичному ринку та дозволяє визначити дисконтований прибуток і строк окупності інвестиційного проекту.

4. Практична цінність отриманих результатів дисертаційної роботи

Бондарчука А. С. містить у теоретичному і практичному плані нові рішення щодо створення методів і моделей, які дозволили підвищити достовірність визначення та прогнозування електричного навантаження цивільних об'єктів, а це дозволяє економити матеріальні та енергетичні ресурси у процесі будівництва та експлуатації систем електропостачання. Створено електронну базу технічних характеристик основних електроприймачів (ЕП) з нелінійною характеристикою, використання яких у проектній практиці та дослідженнях сприятиме підвищенню рівня достовірності результатів обчислення навантажень. Основні положення, рекомендації та висновки дисертації оприлюднені у наукових журналах, втілюються у навчальний процес кафедру «Електропостачання та енергетичний менеджмент», іншими кафедрами одеського національного політехнічного університету (ОНПУ) під час лекцій, лабораторних та практичних занять, курсового проектування зі спеціальних дисциплін, використовуються у кваліфікаційних роботах бакалаврів, науково-дослідних магістерських, аспірантських роботах. Результати дисертаційної роботи впроваджено у наукові дослідження та проектну практику АТ «Одесаобленерго», Південного РЕМ, ТОВ «С-інжиніринг» такі, як графічне визначення та уточнення питомого електричного навантаження жителів, житлових будинків, мікрорайону міста, позитивно оцінені та рекомендовані до практичного впровадження Центром трансферу технологій ОНПУ, ТОВ «Електротехніка – нові технології», ТОВ «СТАР ЕНЕРЖІ», Науково-виробничою лабораторією «SOLAR PLEX».

5. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 34 наукових праць, з яких: 6 – у журналах, які індексуються у наукометричній базі Scopus, 4 – у періодичних наукових виданнях інших держав, 21 – у наукових журналах, що внесені до переліку наукових фахових видань України, 2 – у навчальних посібниках науково-дослідного характеру з грифом МОН України, патенті на винахід, а також у 12 доповідях на Міжнародних і Республіканських форумах та науково-практичних конференціях, семінарах, в яких достатньо повно викладені наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи.

В авторефераті достатньо повно відображаються сутність дисертаційної роботи, основні результати досліджень, висновки та рекомендації.

рінках та о додатків.

У першому розділі дисертаційної роботи Бондарчука А. С. викладено результати аналізу існуючих методів, які впливають на рівень достовірності визначення та прогнозування електричного навантаження. Як показав аналітичний огляд, існуючі методи базуються на використанні коефіцієнтів розрахункового навантаження за рівнями електропостачання, методу упорядкованих діаграм, статистичного, універсального методів та інших, які використовуються для розрахунку навантажень промислових підприємств. Для визначення розрахункового навантаження цивільних об'єктів за нормативними документами (ДБН) передбачають використання коефіцієнта попиту, питомого навантаження на одиницю площі, кВт/м², або на кількість жител (котеджів), кВт/житло (котедж), чи на одиницю вимірювання, кВт/на місце, кВт/на одного учня, кВт/на ліжко-місце тощо. Вони наведені для попереднього визначення навантаження на вводах до об'єктів із наступним використанням коефіцієнтів участі, розбіжності цих навантажень у максимумі, відповідність яких фактичним електричним навантаженням перевіряються у роботі дослідженням. Разом із тим, розрахунки електричних навантажень, зіставлення теоретичних обчислень і прогнозів з фактичними величинами електричних навантажень об'єктів цивільного призначення, житлових мікрорайонів міста, недостатньо висвітлено у наукових працях, на відміну від численних досліджень щодо електричних навантажень енергосистем та промислових підприємств.

У другому розділі наведено результати дослідження технічних характеристик традиційних та альтернативних джерел енергії для електропостачання цивільних об'єктів, кожний з яких особливо впливає на величину електричного навантаження. Наприклад, традиційна система електропостачання від енергосистеми найбільш поширена, однак у такій системі все більше виявляється спотворення синусоїдності кривої за напругою, струмом з різних причин, яке збільшує величину розрахункового навантаження відносно першої гармоніки. Мережеві сонячні електростанції, що безпосередньо приєднуються до міської електричної мережі цивільного об'єкта, знаходять все більше застосування як відновлювальні джерела живлення, що екологічно «чисті» за виробленням електроенергії. Однак, вони виявляються генераторами вищих гармонік в елементах СЕП через наявність інверторів. Гібридна система, під якою розуміється сумісна робота різних відновлених джерел енергії, теж можуть містити джерела електромагнітного

є новою стратегією розвитку європейських енергетичних мереж за архітектурою, але такі системи не виключають генерацію вищих гармонік, що викликають збільшення розрахункового навантаження, порівняно з основною гармонікою, та ряд інших негативних явищ.

У третьому розділі представлено результати моделювання та аналізу графіків електричних навантажень електроприймачів, цивільних об'єктів на базі

експериментально отриманих даних вимрювально-інформаційної техніки, з використанням сплайн-інтерполяції, сплайн-апроксимації, поліноміальних інтерполяційних сплайнів 3-го ступеня, регресійного, кореляційного, дисперсійного аналізу. Отримані моделі дозволяють з достатньою для практичних цілей точністю визначати їх параметри, такі як розрахунковий (півгодинний) максимум навантаження, усереднене навантаження, коефіцієнт заповнення графіка, кількість споживаної електроенергії за будь-який період часу та ін.

У четвертому розділі висвітлені результати розробки методів і моделей визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного моделювання і макромоделювання та його фрактальних властивостей. Розроблені моделі електричного навантаження ЕП, жител, окремих цивільних об'єктів та їх синтез за теорією сплайнів, математичного сподівання усереднених функцій, що дозволили суттєво підвищити рівень достовірності розрахункового, питомого електричного навантаження, порівняно з визначенням за нормативними показниками, що підтверджено за натурними експериментами в СЕП об'єктів мікрорайону міста.

Застосований метод побудови макромоделей електроспоживання дозволяє оцінювати його кількісні характеристики у майбутньому, використовуючи апріорні дискретні автономні макромоделі без використання процедур попередньої їх обробки, апробація яких продемонструвала здатність моделей надавати адекватну інформацію і придатність їх для практичного застосування. Аналіз отриманої макромоделі дозволяє наочно оцінити як місячну, так і сезонну динаміку електроспоживання об'єкта протягом року та уникнути кризових періодів шляхом узгодження сумісних управлінських дій суб'єктів енергоринку, направлених на мінімізацію негативного впливу таких періодів на якість електропостачання.

Застосовано метод фрактальних множин і фрактальної геометрії у сфері прогнозування електричних навантажень цивільних об'єктів, оскільки традиційна геометрія з прямими лініями і гладкими поверхнями не завжди підходить для опису будь-якого майбутнього процесу навантаження цивільних об'єктів. При цьому використовуються самоафінні структури – фрактали, кожна частина

навантаження цивільних об'єктів та встановлено фрактальний принцип його формування, який надав можливість чисельно оцінити за показником Херста наявність довготривалої пам'яті та її глибину, трендостійкість.

Дисперсійний аналіз динаміки електроспоживання цивільних об'єктів є одним із методів обробки й аналізу даних з точки зору впливу одного або декількох факторів на ознаку, що спостерігається. Результат дисперсійного аналізу впливу чинників на динаміку електроспоживання об'єктів міста протягом року за показником критерію Фішера показав, що температура довкілля та тривалість денного часу доби впливає на величину електроспоживання протягом року. Результати кореляційного

ного часу доби впливає на величину електроспоживання протягом року. Результати кореляційного аналізу електричного навантаження об'єктів залежно від метеорологічних умов свідчать про тісний зворотний зв'язок між температурою повітря, тривалістю дня та електроспоживанням, а інші природні фактори практично не впливають на динаміку електроспоживання.

У п'ятому розділі наведено удосконалений метод обчислення впливу струму вищих гармонік на навантаження електричних мереж, що ґрунтується на моделюванні за теорією сплайнів режиму роботи ЕП цивільних об'єктів. Електромагнітна сумісність викликає глобальну проблему в СЕП внаслідок широкого застосування ЕП з нелінійними характеристиками, що генерують вищі гармоніки. Математичним моделюванням динаміки спектру струмів у групових мережах об'єктів, дозволило оцінити їх вплив на додаткове нагрівання електричної мережі, порівняно з дією першої гармоніки, та передбачати періоди їх перегрівання. Кореляційний аналіз впливу ЕП із нелінійними характеристиками на комерційні показання лічильників показав, що між ознаками й комерційними похибками лічильників різної конструкції існує високий зв'язок, що віддзеркалюється на фіксації приладами максимального значення електричного навантаження об'єкта.

У шостому розділі викладено результати дослідження режиму роботи мережевої сонячної електростанції, що полягають у виявленні спектру вищих гармонік за напругою і струмом на виході мережевого інвертора, ЕП з нелінійними характеристиками та вплив їх на електричне навантаження цивільних об'єктів. Натурні експериментальні дослідження проводилися на устаткуванні мережевої сонячної електростанції, які показали суттєвий вплив інвертора та ЕП на навантаження електропроводки від протікання вищих гармонік від 2 до 40-ї, що збільшують, залежно від глибини спотворення струму ЕП з нелінійними характеристиками, розрахунковий струм на 7–10 % відносно першої гармоніки.

Моделювання динаміки електричного навантаження за сплайн-інтерполяцією надав можливість, з достатньою для практичних цілей рівнем достовірності, графічно визначити величину зменшення щодобових витрат електроенергії в

навантаження. Графічним методом за сплайн-інтерполяцією, що підвищує точність і пришвидшує процес обчислення показано, що запровадження багатозонних лічильників і тарифів за зонами доби, за одночасним перенесенням роботи окремих електроприймачів на нічні години, є інструментом зрівнювання добового графіка і, як наслідок, зменшення розрахункового електричного навантаження мережі.

ження мережі.

У сьомому розділі представлено за розробленою методикою прогнозування енергетичної, економічної та екологічної ефективності застосування гібридних сонячних колекторів, які спроможні одночасно генерувати як електричну, так і теплову енергію для енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків, що відрізняється від інших урахуванням величини питомого електричного навантаження житла багатоповерхового будинку, наближеного до реального, та цін на енергетичному ринку. За даними попередніх років прогнозовано ймовірнісну динаміку «основних» і «зелених» тарифів на енергоносії, вартості обладнання колекторів, визначено дисконтований прибуток і строк окупності інвестиційного проекту. Це дозволило розрахувати величину вкладень і прибутків мешканців багатоквартирних будинків за «зеленим» і «основним» тарифом за період експлуатації гібридного сонячного колектора введеного у дію за відповідний рік. Попередні розрахунки показали, що за «основним» тарифом – інноваційний проєкт буде вигідний тільки за умови подальшого здешевлення сонячних колекторів на світовому енергоринку.

У висновках наведено основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлено результати натурних вимірювань електричних параметрів у системах електропостачання цивільних об'єктів, вхідні апріорні дані для графічного і макромодельовання, фрактального R/S-аналізу електричного навантаження, база даних щодо технічних характеристик нелінійних електроприймачів, акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати кандидатської дисертації Бондарчука А. С. не винесені на захист докторської дисертації.

Отримані в дисертації результати, а саме методи розрахунку електричного навантаження шляхом графічного синтезу динаміки його складових на основі теорії сплайнів, визначення питомого навантаження жител багатопверхових житлових будинків за моделлю математичного сподівання усереднених функцій, метод оцінки впливу вищих гармонік на теплове навантаження струмовідних частин, метод макромодельовання, як основу прогнозування на коротко- та довготривалий період, фрактальний аналіз часових рядів, що дозволяє передбачати кризові ситуації, можуть бути використані під

установах, відділах і конструкторських бюро відповідного спрямування, енергогенерувальними та енергопостачальними компаніями, експлуатаційними організаціями для проєктування й аналізу режимів і процесів у системах електропостачання цивільних об'єктів.

7. Зауваження

1. Розділі 1 дисертації перевантажений загальновідомою інформацією, яка доступна для ознайомлення в підручниках, навчальних посібниках, Державних будівельних нормах і яка не є необхідною для обґрунтування мети та завдань дослідження.

2. Автором недостатньо висвітлена актуальність дисертаційних досліджень та вирішення завдань, що постали перед дисертантом, нечітко прописані Висновки та відповідність їх завданням дисертації

3. З огляду на те, що дисертація виконана за спеціальністю 05.14.02. – «Електричні станції, мережі та системи», автором недостатньо уваги приділено безпосередньо електричним мережам та системам, в роботі не розкрито схеми та режими електричних мереж, що досліджувались, їх структура та зв'язок із системами вищого та нижчого рівней, і особливості розрахунку навантаження на них.

4. За рис. 2.2 (стор. 55) дисертаційної роботи стверджується, що зазначене спотворення напруги не виходить за межі нормально допустимого, але не вказано дату і період доби коли це зафіксовано, адже в інші моменти відхилення може бути більшим за допустиме. Відсутні такі уточнення й до інших рисунків (рис. 2.11, 2.17).

5. У формулу наведеної на стор.145, за якою визначається розрахункове навантаження всіх електроприймачів житла $P_{p.\Sigma} = \sum_1^{11} P_{p.i}$, варто було б ввести коефіцієнт, що враховує розбіжності максимумів.

6. З дисертації не ясно, чому «початкове значення змінних стану $\vec{x}^{(0)}$ визначалося у вільно вибраному часі, а саме о 8, 13 та 22-й годині» (стор. 195) для побудови реакції макромоделі на вхідні апріорні дані електроспоживання житлового багатоповерхового будинку

7. В дисертації відсутні дослідження режимів реактивної потужності в системах електропостачання цивільних об'єктів та її компенсації в умовах наявності вищих гармонік.

процесу, навіть на найближчу перспективу через введення ринкових відносин і запропонований метод надає тільки орієнтовну прогносту динаміку ефективності інвестиційного проекту запровадження гібридних сонячних колекторів для енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків.

9. Викладені автором положення наукової новизни отриманих результатів не в повній мірі відображають зроблене автором і не в усьому відповідають вимогам Міністерства Освіти щодо визначення рівня новизни, її суті, відмінності та позитивного ефекту. У п.1 новизни відсутні дані щодо рівня новизни та її відмінності, у п.2 відсутні відмінні особливості метода, у п.4 відсутні визначення рівня новизни, її відмінності та позитивного ефекту, у п.5 не визначено відмінності метода та його позитивного ефекту, у п.6 позитивного ефекту методики. Крім того, п.4, п.5 наукової новизни в представленому вигляді не є переконливими, оскільки ймовірнісні методи визначення навантаження та методи оцінки впливу на них вищих гармонік є відомими, а наведені автором відмінності не розкривають суті зробленого.

10. В роботі має місце ряд неточностей або невизначеностей, а саме:

- в які моменти значення Н-траєкторії і R/S-траєкторії електроспоживання багатоквартирного будинку приймають критичні значення за рис. 4.37 (стор. 208);

- які критерії трендовості часового ряду, задовольняють достовірності прогнозування електричного навантаження за результатами R/S-аналізу;

- який тип використаного приладу та яка величина його допустимої похибки вимірювання RMS -струму 1-ї гармоніки за фазами A , B , C та нейтралі N живильного кабелю будинку, які за вимірами становлять 104,5, 124,8, 106,1, 65,6, відповідно, оскільки вона суттєво може вплинути на точність кінцевого результату обчислень.

- за якого режиму роботи кондиціонера серії SENSEI ECO-і FTE-23MR наведено на рис. 6.7 (стор. 265) амплітудний спектр гармонік струму навантаження, який впливатиме на величину втрат потужності в мережі.

11. В роботі мають місце не коректні або не виважені формулювання та твердження («метод оцінювання електричного, теплового навантаження», «ефективність застосування результатів розроблених методів», «методика прогнозування ефективності застосування...», «підвищити процес моделювання», «наванта-

ження жител», «математичне сподівання», «результати обчислення наблизити до реального значення», «енергозабезпечення», тощо)

Зазначенні зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати проведених досліджень та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи здобувача Бондарчука А. С.

8. Висновки

В цілому дисертаційна робота Бондарчука А. С. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що вирішують актуальну науково-прикладну проблему – створення методів і моделей підвищення рівня достовірності визначення та прогнозування електричного навантаження цивільних об'єктів.

Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам п. п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015 р., а її автор, Бондарчук Анатолій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри світлотехніки і джерел світла
Харківського національного університету
міського господарства ім. О.М. Бекетова



Говоров П. П.

Підпис професора Говорова П. П.

ЗАСВІДЧУЮ:

Учений секретар

Харківського національного університету
міського господарства ім. О.М. Бекетова



Тугай Д.В.