

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Ольга Андріївна ЗАМКОВА, 1999 року народження, громадянка України, освіта вища, має фаховий досвід та належний рівень освітньої, професійної та наукової підготовки. У 2022 році закінчила Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» і отримала повну вищу освіту за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та здобула кваліфікацію магістра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

У 2022 році вступила до аспірантури Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та у період навчання впродовж 2022-2026 років виконала освітньо-наукову програму за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у повному обсязі в НТУ «Дніпровська політехніка».

Здобувач має 4 роки науково-педагогічного стажу за посадою асистента кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Разова спеціалізована вчена рада, утворена рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро від «21» липня 2026 року Протокол №20, Наказ від «21» липня 2026 року № 121 у складі:

Голова разової спеціалізованої вченої ради:

Півняк Геннадій Григорович, академік НАН України, доктор технічних наук, професор, голова Вченої ради НТУ «Дніпровська політехніка», професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Рецензенти:

1. Бешта Олександр Олександрович, PhD, доцент, завідувач кафедри електротехніки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

2. Олішевський Геннадій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Офіційні опоненти:

1. Сегеда Михайло Станкович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетичних систем Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

2. Бориченко Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електропостачання, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ.

На засіданні «26» серпня 2026 року разова спеціалізована вчена рада прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» *Ользі Андріївні ЗАМКОВІЙ* на підставі публічного захисту дисертації «**Підвищення енергетичної ефективності режимів систем електропостачання житлових будівель**» за спеціальністю (спеціальностями) 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради,

«Утрималися» 0 членів ради.

Дисертацію виконано у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро.

Науковий керівник:

Кошеленко Євгеній Валерійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, українською мовою.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні наукової задачі, що представляє собою встановлення закономірностей комплексного впливу класів енергетичної ефективності будівель, рівнів автоматизації їх інженерних мереж, інтеграції об'єктів розподіленої генерації та теплових насосів на формування енергоефективного режиму багатоквартирних житлових будинків, що дозволяє забезпечити вибір раціональних структур систем електропостачання.

Аналіз особливостей формування енергоефективних режимів систем електропостачання багатоквартирних житлових будівель дозволив встановити їх характерну режимну особливість, яка полягає у взаємозалежності електричних навантажень побутових споживачів і систем електроопалення та необхідності їх узгодженого керування. Встановлено, що традиційне формування розрахункового електричного навантаження без урахування фактичного класу енергетичної ефективності будівлі, рівня автоматизації інженерних систем та типу джерела теплопостачання призводить, як правило, до завищення необхідної потужності електротехнічного обладнання. Врахування зазначених чинників дозволяє сформувати раціональний режим роботи системи електропостачання та зменшити встановлену потужність електрообладнання без зниження рівня комфортності теплопостачання.

Встановлено залежність раціональної потужності системи електроопалення багатоквартирної житлової будівлі від класу її енергетичної ефективності, кліматичних параметрів району експлуатації, рівня автоматизації систем управління енергоспоживанням та типу системи кліматизації. Визначено, що для типових житлових будівель раціональне значення потужності електроопалення може бути суттєво нижчим за нормативне значення, яке визначається згідно затвердженої методики розрахунку, що створює передумови

для зменшення потужності вводів, трансформаторного та комутаційного обладнання систем електропостачання.

Обґрунтовано методичний підхід до визначення раціональної потужності систем електроопалення багатоквартирних житлових будинків із урахуванням класу енергетичної ефективності та температурних умов експлуатації. На відміну від існуючих підходів, запропонований метод враховує фактичну потребу будівлі в тепловій енергії та тривалість опалювального періоду, що дозволяє перейти від уніфікованого нормативного значення потужності до диференційованого значення, адаптованого до конкретних енергетичних характеристик будівлі та регіону її розташування.

Обґрунтовано застосування інверсного до базового графіка електроспоживання побутових споживачів закону керування системою електроопалення для формування близького до лінійного профілю сумарного електричного навантаження багатоквартирної житлової будівлі. Запропонований підхід забезпечує перенесення частини електричного навантаження системи опалення з періодів максимального побутового споживання на періоди мінімального навантаження, у результаті чого розрахункова потужність системи електропостачання може бути зменшена на 14-30% залежно від класу енергетичної ефективності та географічного розташування будівлі.

Обґрунтовано ефективність застосування теплонасосного обладнання при переведенні житлового будинку з централізованого енергозабезпечення на електроопалення. На відміну від систем електроопалення прямої дії, застосування теплових насосів типу «повітря-вода» забезпечує зменшення електричної потужності, необхідної для покриття теплового навантаження будівлі, за рахунок використання низькопотенційної енергії навколишнього середовища. Встановлено, що інтеграція теплонасосного обладнання створює передумови для істотного зменшення розрахункових навантажень та підвищення енергетичної ефективності систем електропостачання, а також досягнення показників повної або операційної кліматичної нейтральності будівлі.

Сформульовано та обґрунтовано критерій раціональності режиму системи електропостачання житлової будівлі, відповідно до якого мінімізація розрахункової потужності електротехнічного обладнання здійснюється за умови

забезпечення необхідного теплового комфорту, нормативної надійності електропостачання та допустимого рівня відхилень параметрів електричної енергії. Такий підхід забезпечує компроміс між енергетичною ефективністю, технічною надійністю та економічною доцільністю модернізації систем електропостачання житлових будівель.

Таким чином, отримані результати формують науково-методичну основу визначення раціональних режимів та параметрів систем електропостачання багатоквартирних житлових будівель при переході до електричного та теплонасосного опалення, інтеграції відновлюваних джерел енергії та впровадженні автоматизованого управління електричними навантаженнями.

На захист винесено наступні **наукові положення**:

1. Раціональна потужність електроопалення багатоквартирних будинків, визначена методом цифрового моделювання теплофізичних процесів, прямо пропорційна граничному значенню енергоспоживання будівель стандартних класів енергетичної ефективності з урахуванням місцевих кліматичних умов та знаходиться в діапазоні 0,21–1,00 від нормативного значення.

2. Формування інверсного до побутового електроспоживання режиму роботи системи електроопалення багатоквартирних житлових будинків лінеаризує добовий графік електричних навантажень та знижує їх розрахункову електричну потужність на 14–30 % залежно від класу енергетичної ефективності будівель і місцевих кліматичних умов, що дозволяє підвищити ефективність використання електроенергетичної інфраструктури та збільшити її пропускну здатність без реконструкції.

Здобувач має **14 наукових публікацій** за темою дисертації, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 9 тез доповідей у матеріалах науково-практичних конференцій, що засвідчує апробацію результатів дисертації:

1. Замкова О. А., Кошеленко А. О. (2026). Визначення питомих електричних навантажень багатоквартирних будинків. Електротехнічні та інформаційні системи, (109), 154–162. <https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-18>

2. Замкова, О., Кошеленко, А. (2026). Дослідження річного енергоспоживання житлової будівлі з фотоелектричною станцією.

Електротехніка та електроенергетика, (1), 75–83. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2026-1-8>

3. Є.В. Кошеленко, О.А. Замкова. Аналіз ефективності систем енергозабезпечення багатоквартирних житлових будинків з тепловими насосами. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2025 – № 83. С 209-219. DOI: 10.33271/crpnmu/83.209

4. Є.В. Кошеленко, І.М. Луценко, О.А. Замкова, П.С. Циган, А.О. Кошеленко. Технології створення систем комбінованого живлення об'єктів міст. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2024 – № 79. С 222-230. DOI: 10.33271/crpnmu/79.222

5. А.В. Рухлов, І.М. Луценко, Н.Ю. Рухлова, Є.В. Кошеленко, О.А. Замкова. «Регулювання електроспоживання підприємств для зниження пікових навантажень в енергосистемі». Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2023 – № 74. С 204-212. DOI: 10.33271/crpnmu/74.204

6. Методика оцінки впливу кліматичних змін на сталий енергетичний розвиток територіальних громад / Замкова О.А., Лобода А.Ю. // Міжнародний форум: безпечна, комфортна та спроможна територіальна громада. III Науково-практична конференція. 15-17 жовтня 2025 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. 303 с. <https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/Forum/Zbirnyk2025.pdf>

7. Основні засади кліматичної нейтральності та зеленого переходу України / Замкова О.А., Кошеленко А.О. // «Наукова весна» 2025: матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 26–28 березня 2025 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. 156 с. https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/naukova-vesna-2025/Scientific_Spring_2025.pdf

8. Основні аспекти створення раціональних структур систем електрозабезпечення муніципальних споживачів з використанням відновлюваних джерел енергії/ М. Луценко, А. Кошеленко, О. Запишний, Г. Власенко, Ю. Смирнов, О. Замкова // Міжнародна науково-практична

конференція енергозбереження та енергоефективність. 20 грудня 2024 р. – 2024. Збірник тез. Дніпро. НТУ «ДП». 22-24 с. https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/EE_2024.pdf

9. Вплив значення температури оточуючого середовища на показники енергетичної ефективності будівлі / Замкова О.А., Кошеленко А.О. // Молодь: наука та інновації: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпро, 13-15 листопада 2024 року: у 3-х т. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. Том 2. 43-45 с. <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2024/molod-2024-vol2.pdf>

10. Циган П.С. Замкова О.А. Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність - 2023. «Вплив товщини шару теплоізоляції на теплове значення втрат»; 3-5 с. https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/EE_2023.pdf

11. П.С. Циган, О.А. Замкова, С.А. Пінчук. Молодь: наука та інновації: XI Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22-24 листопада 2023 року. «Заходи з підвищення стійкості децентралізованих систем електропостачання» Том 1 427-428 с. <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2023/molod-2023-vol1.pdf>

12. P.S. Tsyhan, O.A. Zamkova, S.A. Pinchuk . 6rd International Scientific and Technical Internet Conference "Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources" 2023. «The influence of complex building renovation on minimization of heat losses and reduction of greenhouse gas emissions» Petroșani, Romania November 16, 2023. BOOK OF Abstracts edition 6/2023 Universitas Publishing Petroșani 55-56 p. https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2023_Book_of_Abstracts.pdf

13. Є.В. Кошеленко, О.А. Замкова. «Наукова весна» 2023: XIII Всеукраїнська науково-технічна конференція, 1-3 березня 2023 року. «Аналіз впливу підвищення енергетичної ефективності на системи електропостачання» 149-150 с. https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/naukova-vesna-2023/Scientific_Spring_2023.pdf

14. Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко, О.А. Замкова, Д.І. Буртний. Молодь: наука та інновації: X Міжнародна науково-технічна конференція, 23-25 листопада 2022 року. «Розрахунок та проектування ліній електропередач з використанням онлайн сервісу SICAD» 317-318 с. <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2022/molod-2022.pdf>

У дискусії взяли участь (рецензенти, офіційні опоненти, голова).

Рецензенти:

2. Бешта Олександр Олександрович, PhD, доцент, завідувач кафедри електротехніки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, проте окремі положення можуть бути предметом подальшого обговорення:

1. У роботі доцільно було б більш детально проаналізувати економічну ефективність запропонованих технічних рішень залежно від різних тарифів на електроенергію та вартості теплової енергії.

2. Бажано було б доповнити дослідження аналізом режимів роботи систем електропостачання в умовах аварійних відключень електричної енергії та використання накопичувачів електроенергії.

3. У роботі недостатньо уваги приділено аналізу впливу електромобілів та зарядної інфраструктури на зміну розрахункових електричних навантажень житлових будинків у перспективі.

4. Окремі рисунки мають велику інформаційну насиченість, що дещо ускладнює їх сприйняття.

Наведені зауваження не знижують загальної наукової цінності виконаної дисертаційної роботи та мають переважно рекомендаційний характер.

Замкова О.А. відповідь:

По першому зауваженню можна зазначити, що у роботі економічна ефективність запропонованих технічних рішень оцінювалася на основі прийнятих на момент проведення дослідження вартості електричної та теплової енергії. При цьому основна увага була зосереджена на порівнянні базового та

модернізованого варіантів системи електропостачання, зокрема при використанні теплових насосів. Такий підхід був прийнятий з метою уніфікації отриманих результатів. У той час як на електричну енергію в межах України діє єдиний тариф для населення, тарифи на теплову енергію істотно відрізняються залежно від постачальників теплової енергії. В межах одного міста тарифи на теплову енергію можуть відрізнятися у 1,5-2 рази, тому аналіз на основі діючих тарифів значно ускладнює дослідження і не повною мірою забезпечить відтворюваність отриманих закономірностей.

По другому зауваженню можна зазначити, що основна мета роботи полягала у підвищенні енергетичної ефективності режимів систем електропостачання житлових будинків з електроопаленням у штатних умовах експлуатації і за умов впровадження теплових насосів, тому аварійні режими не були основним об'єктом дослідження.

Щодо питання інтеграції систем накопичення електричної енергії, тут виникає ряд задач, які потребують окремих досліджень – це обґрунтування вибору типу систем накопичення енергії, їх раціональна потужність та ємність, ефективні режими експлуатації з урахування швидкості й глибини заряду/розряду. Розвитком даного напрямку може виступати створення комбінованої системи накопичення теплової та електричної енергії. Цей напрямок ми плануємо розвивати у подальших дослідженнях.

Щодо третього зауваження: потужності зарядних станцій електромобілів співставні з потужністю житлових будинків розглянутих типів. Їх інтеграція до електричної мережі відбувається, як правило, на рівні трансформаторних підстанцій паралельно лініям живлення багатоквартирних будинків. Основною задачею роботи є уточнення розрахункової потужності багатоквартирних будинків з електроопаленням, тому вплив зарядної інфраструктури електромобілів не розглядався і може бути врахований у подальших дослідженнях при уточненні підходів вибору обладнання трансформаторних підстанцій розподільних мереж 6-10 кВ.

З четвертим зауваженнями погоджуємося.

Запитання 1:

У чому полягає практичне значення розробленої методики для післявоєнної реконструкції житлового фонду України, та які категорії будівель є найбільш перспективними для її впровадження?

Запитання 2:

Які переваги має запропонований підхід до визначення розрахункових електричних навантажень порівняно з методикою, наведеною у ДБН В.2.5-23, при модернізації та будівництві нових багатоквартирних житлових будинків?

Замкова О.А. відповідь:

Запитання 1:

Практичне значення розробленої методики полягає у можливості обґрунтованого вибору параметрів систем електропостачання при реконструкції багатоквартирних житлових будинків, які переводяться з централізованого теплопостачання на пряме електричне або теплонасосне опалення. В умовах післявоєнного відновлення України значна кількість міст потребує відновлення. При цьому реконструкція довоєнних систем теплопостачання міст може бути недоцільною з урахуванням дефіциту викопного палива та переходу на відновлювані джерела енергії. Тому запропонована методика може бути використана при відбудові зруйнованої житлової забудови з урахуванням переходу на технології використання низькопотенційного тепла, а також проектування кліматично нейтральних будівель і кварталів, що відповідає загальносвітовій концепції декарбонізації. Найбільш релевантними для використання запропонованої методики є 5-9 поверхові житлові будинки, що імовірно будуть відновлюватися в невеликих селищах та містах поблизу сучасної лінії бойового зіткнення, а також на місці пошкоджених будівель в інших містах України.

Запитання 2:

Основна перевага запропонованого підходу полягає в тому, що він визначає електричне навантаження від фактичної енергетичної потреби будівлі, тоді як методика ДБН В.2.5-23 базується на нормативних питомих

навантаженнях, що не враховують поточний стан та режими енергоспоживання будівлі.

У дисертації враховано комплекс факторів, які істотно впливають на режими електроспоживання: клас енергетичної ефективності будівлі, кліматичну зону, тривалість опалювального періоду, рівень автоматизації систем управління та коефіцієнт перетворення теплового насоса. Завдяки цьому розрахункова потужність визначається диференційовано для конкретної будівлі, а не за єдиним нормативним значенням.

Практично це означає, що при модернізації житлових будинків можна зменшити встановлену потужність системи електропостачання до 0,21–1,00 від нормативного значення, уникнути завищення номінальних даних трансформаторів, кабельних ліній та захисної апаратури, а також знизити вартість реконструкції без погіршення надійності чи теплового комфорту.

Саме тому запропонована методика є більш придатною для проєктування енергоефективних багатоквартирних будинків у сучасних умовах та під час післявоєнної реконструкції житлового фонду України.

3. Олішевський Геннадій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Необхідно вказати на декілька недоліків роботи, які потребують уточнення:

1. На рисунку 2 потребує уточнення річний енергетичний баланс будівель: за якими видами енергії його складено.
2. Доцільно уточнити область ефективного застосування теплових насосів класу «повітря-вода».
3. Доцільно обґрунтувати застосування в теплонасосній системі опалення електричних ТЕНів для догрівання теплоносія.
4. Додаткового обґрунтування потребує ствердження, що при переході на низькотемпературний графік 55/45°C діапазон зовнішніх температур, в якому тепловий насос здатний покривати енергоспоживання будівлі, розширюється до -20°C.

Вважаю, що висловлені зауваження не є критичними, не знижують загальну наукову новизну й практичну значимість отриманих результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Замкова О.А. відповідь:

По першому зауваженню можна зазначити, що на рисунку 2 під річним енергетичним балансом розуміється баланс кінцевого енергоспоживання будівлі, сформований за основними видами енергії, які використовуються для забезпечення її функціонування.

Зокрема, враховувалися електрична енергія та теплова енергія на опалення, а в окремих сценаріях – електрична енергія, що споживається тепловим насосом для виробництва необхідної теплової енергії. Тобто наведений баланс дозволяє порівняти не лише кількість спожитої енергії, а й зміну структури енергоспоживання при модернізації системи.

Погоджуємося, що на рисунку доцільно було чіткіше зазначити, за якими саме видами енергії сформовано енергетичний баланс. Це уточнення наведено у поясненні до рисунка.

Щодо другого та четвертого зауваження дозвольте зазначити, що ефективність теплового насоса типу «повітря-вода» безпосередньо залежить від температури зовнішнього повітря та необхідної температури теплоносія.

Найбільш ефективна робота теплових насосів спостерігається в режимах близьких температур середовищ, які охолоджуються та нагріваються. Тому зниження робочих температур системи опалення будівлі при незмінних умовах для зовнішніх температур сприяє підвищенню загальної ефективності теплонасосних систем, зокрема й класу «повітря-вода». У роботі використані дані заводських випробувань сучасних теплових насосів класу «повітря-вода», які здатні працювати при зовнішніх температурах до -20°C , що відповідають мінімальним температурам зовнішнього повітря, які спостерігаються упродовж останнього десятиліття в Україні.

Важливо розмежовувати технічну можливість роботи теплового насоса при температурі -20°C та його здатність повністю покривати теплове навантаження будівлі за такої температури. Тому у роботі виконане погодинне

моделювання режимів споживання теплової й електричної енергії та температурних показників зовнішнього і внутрішнього повітря з урахуванням теплової інерційності будівлі, щоб визначити здатність теплового насоса підтримувати задані мікрокліматичні показники в будівлі. При цьому також визначено сезонний COP, що для найхолоднішого року і для всіх обласних центрів України перевищує значення 3,5, яке вважається критичним з точки зору ефективності використання теплового насоса порівняно з прямим електроопаленням.

Тому перехід на низькотемпературний графік роботи системи опалення 55/45 °C сприяє зменшенню температурного напору теплонасосної системи та розширює діапазон зовнішніх температур, у якому тепловий насос може ефективно покривати теплове навантаження будівлі, а гранична температура повного покриття визначається результатами конкретного моделювання.

По третьому зауваженню можна зазначити, що електричні ТЕНи у запропонованій системі не розглядається в якості основного джерела тепла. Їх функція полягає саме у резервуванні роботи теплового насоса, можливого частковому догріванні теплоносія та покритті дефіциту теплової потужності в найбільш холодні періоди.

Це рішення обумовлене тим, що при зниженні температури зовнішнього повітря теплова потужність теплового насоса «повітря–вода» зменшується, тоді як теплове навантаження будівлі зростає. Збільшення потужності самого теплового насоса для покриття пікових навантажень призвело б до його недовантаження протягом більшої частини опалювального сезону та, відповідно, до погіршення економічних показників системи.

ТЕНи в якості резервного джерела живлення розглядаються з урахуванням легкості їх інтеграції до діючих систем опалення з тепловими насосами, а також з урахуванням їх мінімальної вартості порівняно з іншими джерелами теплової енергії.

Газові котли не розглядаються в якості альтернативних систем опалення, оскільки рішення про переведення будівель на електроопалення приймаються здебільшого там, де немає технічної можливості переведення на газові котельні або недостатньо пропускну здатності газової розподільної системи для покриття

теплових навантажень багатоквартирних будинків.

Тому використання ТЕНів дозволяє реалізувати бівалентну схему опалення: основне теплове навантаження покривається тепловим насосом, а електричний догрів використовується лише тоді, коли теплової потужності насоса недостатньо.

Запитання 1:

Чому в роботі для визначення питомих електричних навантажень використано нормативну середню площу житла 70 м², і як зміна цього параметра впливатиме на результати моделювання систем електропостачання?

Запитання 2:

Як у роботі враховано особливості двох температурних зон України при визначенні раціональної потужності систем електроопалення, та які параметри найбільше впливають на отримані результати?

Замкова О.А. відповідь:

Запитання 1:

У роботі значення середньої площі житла 70 м² прийнято як нормативний розрахунковий параметр, який дозволяє уніфікувати умови визначення питомого електричного навантаження та забезпечити можливість коректного порівняння різних варіантів житлових будинків з діючим нормативним документом. Використання саме нормативного значення є доцільним, оскільки питоме навантаження визначається не лише фактичною встановленою потужністю електроприймачів, а й характеристиками житлового фонду, кількістю квартир та рівнем їх електрифікації.

При зміні середньої площі житла змінюється структура та значення розрахункового навантаження. Зі збільшенням площі, за інших незмінних умов, зростає потенційна кількість електроприймачів та сумарне навантаження будинку. Водночас, залежність не є прямо пропорційною, оскільки значна частина побутових електроприймачів пов'язана не з площею квартири, а з кількістю мешканців.

Тому використання 70 м² у роботі можна розглядати як базовий уніфікований сценарій, що відповідає чинній нормативній методиці. Якщо фактична середня площа житла для конкретного об'єкта відрізняється від цього значення, відповідний параметр може бути змінений у моделі, після чого уточнюються питомі та сумарні електричні навантаження. Це впливатиме на вибір потужності трансформаторів, перерізів кабелів, комутаційної апаратури та оцінку режимів роботи системи електропостачання.

Таким чином, значення 70 м² не є жорстким обмеженням моделі, а використовується як базове нормативне припущення, необхідне для стандартизації розрахунків. Модель при цьому залишається параметричною і може бути адаптована до фактичних характеристик конкретного житлового будинку.

Окрім того, в роботі представлено результати визначення питомої електричної потужності не лише для помешкання площею 70 м², а й на 1 м² кондиціонованої площі з метою забезпечення можливості застосування отриманих результатів для жител різної площі.

Запитання 2:

У роботі вплив температурних умов враховано шляхом моделювання теплового навантаження будівлі з урахуванням параметрів відповідної температурної зони України. Для кожної зони враховувалися розрахункова температура зовнішнього повітря, середня температура опалювального періоду, тривалість опалювального сезону та відповідна потреба будівлі в тепловій енергії.

Основна ідея полягає в тому, що раціональна потужність системи електроопалення не повинна визначатися виключно за максимально можливим тепловим навантаженням. У роботі вона визначається за результатами моделювання зміни теплового навантаження протягом опалювального періоду. Це дозволяє врахувати реальні температурні режими та уникнути необґрунтованого завищення встановленої потужності електроопалення.

Найбільший вплив на результат мають різниця між внутрішньою та зовнішньою температурами, розрахункова температура найбільш холодного періоду, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, площа та

об'єм будівлі, тривалість опалювального періоду, а також внутрішні теплові надходження. Додатково суттєвий вплив має клас енергетичної ефективності будівлі, оскільки покращення теплозахисних характеристик безпосередньо зменшує необхідну потужність джерела опалення.

Для двох температурних зон однакова будівля за однакових умов експлуатації може мати різну раціональну потужність електроопалення. У першій зоні максимальне теплове навантаження буде вищим, однак це не означає необхідності постійної роботи системи на максимальній потужності. Саме тому в роботі промодельовано погодинний характер зміни навантаження, що дозволяє визначити не тільки пікову, а й раціональну потужність джерела.

Отже, врахування двох температурних зон дозволило підвищити універсальність запропонованого підходу та показати, що потужність системи електроопалення повинна визначатися з урахуванням як кліматичних умов, так і енергетичних характеристик конкретної будівлі.

Опоненти:

4. Сегеда Михайло Станкович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетичних систем Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

Незважаючи на високий науковий рівень дисертаційної роботи, її практичну цінність та завершеність, окремі положення викликають дискусію чи потребують додаткового обґрунтування:

1. Здобувачем запропоновано методичний підхід до визначення раціональної потужності систем електроопалення 5-ти та 9-ти поверхових житлових будинків з урахуванням класу енергетичної ефективності. Доцільно навести можливість використання та особливості адаптації запропонованого підходу для будівель іншої поверховості.

2. У роботі значну увагу приділено використанню теплових насосів типу «повітря-вода». Разом із тим заслуговує на увагу питання порівняльного оцінювання ефективності інших типів теплонасосного обладнання («грунт-вода», «вода-вода») для окремих категорій житлових будинків чи специфічних умов забудови, що могло б розширити сферу практичного застосування

отриманих результатів.

3. Під час моделювання режимів роботи систем електропостачання здобувачем враховано широкий спектр факторів, однак доцільно більш детально дослідити вплив зміни тарифної політики та поведінкових факторів споживачів на ефективність запропонованих алгоритмів керування електричним навантаженням.

4. У роботі досліджено ефективність використання дахових фотоелектричних станцій в поєднанні із запровадженням теплонасосних систем опалення для досягнення показників кліматичної нейтральності. Разом із тим, перспективним напрямом подальших досліджень є оцінювання впливу деградації фотоелектричних модулів та теплонасосного обладнання на енергетичні показники системи протягом тривалого періоду експлуатації.

5. Окремі розділи дисертації містять значний обсяг результатів математичного моделювання. Для підвищення наочності сприйняття отриманих результатів доцільно доповнити роботу узагальненими порівняльними діаграмами чи інтегральними показниками ефективності для різних сценаріїв модернізації систем електропостачання.

Висловлені зауваження мають дискусійний характер, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, не впливають на достовірність отриманих результатів і можуть бути враховані під час подальших наукових досліджень.

Замкова О.А. відповідь:

У відповідь на перше зауваження хочу зазначити, що запропонований у роботі методичний підхід не обмежується виключно 5-ти та 9-ти поверховими будинками. Саме ці типи будівель були обрані як базові розрахункові об'єкти для дослідження впливу поверховості та класу енергетичної ефективності на розрахункове значення електричного навантаження будівлі та раціональну потужність системи електроопалення.

Для будівель іншої поверховості чинна методика передбачає визначення мінімальних показників енергетичної ефективності залежно від геометричних параметрів конкретної будівлі, зокрема, коефіцієнту компактності. Що значно

ускладнює процес моделювання, а також відтворюваність отриманих результатів в межах будівель однакової поверховості, якщо казати про будинки понад 10 поверхів. Разом із тим, адаптація запропонованого підходу можлива при визначенні чисельних значень шкали класів енергетичної ефективності для конкретної будівлі в її географічних умовах. При цьому загальна послідовність розрахунку залишається незмінною: визначення теплового навантаження, врахування класу енергетичної ефективності, формування графіка навантаження, визначення раціональної потужності джерела електроопалення й потужності вводу системи електропостачання будівлі з електроопаленням.

Таким чином, запропонований підхід має універсальний характер і може бути адаптований до будинків іншої поверховості без зміни його принципової структури.

У відповідь на друге зауваження зазначимо, що в роботі основну увагу приділено тепловим насосам типу «повітря–вода», оскільки саме цей тип обладнання має найбільш широкую область потенційного застосування для існуючого житлового фонду та в сучасних військових умовах є швидким рятівним рішенням, що не потребує великих капітальних витрат та необхідності облаштування свердловин або ґрунтових контурів, що суттєво спрощує модернізацію вже існуючих багатоквартирних будинків.

Для багатоквартирної щільної забудови з обмеженою територією застосування теплових насосів класу «повітря–вода» часто є більш практичним рішенням, тоді як для нової забудови або об'єктів із доступною територією для геотермального контуру можуть бути доцільними системи «ґрунт–вода».

Тому порівняння цих технологій є перспективним напрямом подальших досліджень але не змінить запропонованого алгоритму визначення раціональної потужності джерела теплової енергії та розрахункової потужності системи електропостачання.

Щодо четвертого зауваження. У роботі ефективність системи оцінювалася для заданих технічних характеристик обладнання без детального моделювання їх зміни протягом усього життєвого циклу.

Для сучасних фотоелектричних модулів характерне зниження продуктивності до 1% упродовж перших 5 років експлуатації з подальшою

стабілізацією продуктивності упродовж 15-20 років та можливістю виходу з ладу окремих модулів, що підлягають подальшій заміні.

Для теплових насосів періодичне обслуговування компресорного обладнання та теплообмінників у відповідності до технічного регламенту виробника дозволяє підтримувати сталі показники продуктивності упродовж усього терміну експлуатації.

З урахуванням наведених міркувань, було прийнято допущення, що показники продуктивності ФЕС та теплового насосу можуть вважатися сталими упродовж терміну експлуатації, і деградацію обладнання не враховували.

З третім та п'ятим зауваженнями погоджуємося.

Запитання 1:

Що таке клас енергетичної ефективності? Як він впливає на потужність електроенергетичного живлення? Які класи функцій визначають залежність між потужністю та класом енергетичної ефективності?

Запитання 2:

Де в роботі виконано математичне (числове/чисельне) моделювання? Які числові методи використано та який математичний апарат використано при моделюванні?

Замкова О.А. відповідь:

Запитання 1:

Клас енергетичної ефективності визначається як питомий показник річного енергоспоживання будівлею при опаленні та охолодженні в залежності від виду та поверховості будівлі. Чинні нормативні документи з проєктування внутрішньобудинкових мереж встановлюють стале значення питомої потужності електроопалення значення для усіх будівель однакового рівня електрифікації. В дисертаційній роботі проаналізовано та встановлено, що нормативне значення 7,37 кВт/житло відповідає найнижчому класу енергетичної ефективності та не враховує теплофізичні характеристики оболонки будівлі, зовнішні та внутрішні теплонадходження, рівні автоматизації та наявність

систем використання низькопотенційного тепла. Сучасна нормативна база встановлює вимоги до енергетичної ефективності нових та існуючих будівель, виконання яких призводить до істотного зниження енергоспоживання, зокрема систем кліматизації. Тому у роботі вирішено наукову задачу у встановленні закономірностей впливу зазначених факторів на формування енергоефективного режиму багатоквартирних житлових будинків, що дозволяє забезпечити вибір раціональних структур систем електропостачання.

Проведене дослідження дозволило встановити, що врахування класів енергетичної ефективності дозволяє зменшити розрахункові електричні навантаження будинків у 1,5-5,2 рази.

Класи енергетичної ефективності A-G є дискретною порядковою шкалою, однак мінімальні вимоги до енергоспоживання між сусідніми класами змінюються практично з постійним кроком. Тому залежність потужності від класу енергетичної ефективності описується дискретною лінійною функцією.

Запитання 2:

Теплофізичні властивості та режими споживання теплової енергії змодельовані відповідно до чинної методики визначення класу енергетичної ефективності будівель. При цьому в роботі змодельовано середнє та розрахункове споживання систем електроопалення будівель розташованих в усіх географічних умовах країни з урахуванням усереднених фактичних та нормативно установлених розрахункових температур та тривалостей опалювального сезону. Встановлення питомої потужності електроопалення виконано розрахунковим методом.

Також виконано ітераційне моделювання режиму системи електропостачання багатоквартирного будинку з електроопаленням. Встановлено, що мінімізація розрахункової потужності вводу будинку досягається завдяки лінеаризації графіка електричних навантажень та застосування інверсного до побутового електроспоживання закону керування електроопаленням.

У роботі використано методи детермінованого числового моделювання, що базуються на покроковому розрахунку режимів енергоспоживання.

Основними числовими методами є:

- метод погодинного моделювання енергетичних режимів (дискретизація часу $\Delta t = 1$ година);
- метод сценарного моделювання для порівняння різних конфігурацій систем електропостачання;
- числовий розрахунок теплових балансів будівель;
- метод порівняльного аналізу режимів роботи до та після модернізації.

Усі розрахунки виконуються як послідовне обчислення параметрів системи в кожному часовий інтервал без використання стохастичних або імовірнісних моделей.

У дисертації використано детерміноване числове моделювання режимів систем електропостачання на основі дискретних погодинних енергетичних балансів. Математичний апарат поєднує рівняння теплового балансу будівлі, моделі електричних навантажень, балансові рівняння потужності, математичну модель теплового насоса через коефіцієнт перетворення COP. Це дозволило дослідити вплив енергетичної ефективності будівлі, систем автоматизації енергоспоживання, теплових насосів і відновлюваної генерації на режими роботи систем електропостачання.

5. Бориченко Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електропостачання, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ.

Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, подану до захисту, доцільно звернути увагу на окремі дискусійні положення та зауваження щодо змісту роботи:

1. У роботі запропоновано методику визначення раціональної потужності систем електроопалення для типових багатоквартирних житлових будинків. Разом із тим доцільно було б більш детально висвітлити можливості її адаптації для будівель зі змішаними системами теплопостачання або суттєво відмінними геометричними характеристиками.

2. Під час оцінювання ефективності теплонасосних систем основну увагу приділено технічним аспектам їх використання. Водночас додатковий аналіз

впливу сезонної зміни коефіцієнта перетворення теплових насосів на режими роботи систем електропостачання дозволив би повніше оцінити ефективність запропонованих рішень.

3. Під час дослідження інтеграції фотоелектричних станцій і систем накопичення електричної енергії перспективним було б розглянути сценарії функціонування будівлі в умовах аварійних відключень електропостачання та роботи в ізольованому режимі.

4. Робота містить значний обсяг числових результатів для різних сценаріїв моделювання. Узагальнення окремих результатів у вигляді інтегральних показників або графічних залежностей сприяло б спрощенню їх порівняльного аналізу.

Зазначені зауваження не є принциповими, не нівелюють основні наукові результати роботи та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Замкової О.А.

Замкова О.А. відповідь:

По першому зауваженню – адаптація запропонованого підходу визначення електричних навантажень для будівель іншої поверховості з електроопаленням – відповідь була озвучена раніше. Така адаптація може бути виконана з урахуванням чисельних значень шкали класів енергетичної ефективності для конкретної будівлі.

По другій частині цього зауваження – щодо застосування методики для будівель зі змішаними системами теплопостачання. Запропонований підхід може бути адаптований шляхом розподілу загального теплового навантаження між декількома джерелами. Наприклад, частина навантаження може покриватися централізованою системою теплопостачання, частина – тепловим насосом, а пікове навантаження – електричним догрівом.

У такому випадку критерієм визначення раціональної потужності електроопалення може бути не повне покриття максимального теплового навантаження, а ефективний розподіл навантаження між джерелами тепла з урахуванням доступної потужності та економічних характеристик. При цьому раціональна потужність системи електропостачання буде визначатися за

результатами моделювання імовірного режиму роботи системи з найбільшим електроспоживанням. Для більш точної відповіді потрібні уточнення типів та співвідношення потужностей джерел мультивалентної системи опалення будівлі.

По другому зауваженню. У роботі ефективність теплового насоса розглядалася з урахуванням залежності його роботи від температур зовнішнього повітря та температурних графіків системи опалення. Основна увага приділена здатності теплового насоса покривати теплові навантаження будівлі в широкому діапазоні зовнішніх температур будівлі. Також здійснено оцінку сезонного COP теплового насоса. Цей показник важливий, оскільки підтверджує ефективність використання теплонасосної системи порівняно з прямим електроопаленням та з іншими системами опалення.

За поточних цін на енергоносії, зокрема на природний газ та електричну енергію для населення, тепла енергія, отримана з використанням газового котла, є дешевшою за теплову енергію, отриману від теплового насоса, при значеннях COP нижчих за 3,5. Результати моделювання сезонної ефективності теплових насосів за даними фактичних температур найхолоднішої зими за останні 5 років для всіх обласних центрів України показали, що сезонні значення COP всюди перевищують 3,5 і на півдні України досягають 3,7. У найтепліші роки цей показник доходить до 4, що вказує не тільки на можливість використання теплових насосів в якості джерела теплової енергії для багатоквартирних будинків, але й також на економічну ефективність їх використання порівняно з газовим опаленням (за умов збереження співвідношення тарифів на природний газ та електричну енергію для населення). Разом із тим, застосування теплових насосів в якості джерел системи опалення будівель призводить до зниження емісії CO₂ і завдяки поєднанню теплових насосів та дахових ФЕС в системі енергозабезпечення будівель, що відповідають мінімальним вимогам до енергетичної ефективності, вдається досягти додаткового ефекту, а саме показника кліматичної нейтральності.

З третім та четвертим зауваженнями погоджуємося.

Запитання 1:

Яким чином запропоновані в дисертації методичні підходи до визначення раціональної потужності систем електропостачання та алгоритми керування електричними навантаженнями можуть бути використані при проєктуванні й експлуатації активних (prosumer) житлових будинків із локальною генерацією, системами накопичення електроенергії та тепловими насосами?

Запитання 2:

Які критерії покладено в основу вибору раціональної конфігурації комплексної системи енергозабезпечення «тепловий насос – фотоелектрична станція», і як вони впливають на енергетичну та економічну ефективність будівлі?

Замкова О.А. відповідь:

Запитання 1:

Запропоновані в дисертації методичні підходи є основою для проєктування активних житлових будинків (Active/Prosumer Buildings), оскільки вони дозволяють визначати параметри системи електропостачання не лише за розрахунковим електроспоживанням побутових та загальнобудинкових електропримачів, а з урахуванням режиму роботи системи електропостачання з інтегрованими об'єктами локальної генерації, накопичення енергії та керованого навантаження.

Вбачається, що при проєктуванні активних будинків потрібно визначитися з характерним режимом максимального споживання та максимальної генерації, що може не відповідати традиційному моделюванню режимів електроспоживання для зимової та літньої доби. Для об'єктів розподіленої генерації, зокрема дахових фотоелектричних станцій, режим максимальної потужності генерації, як правило, формується у міжсезоння – у квітні-травні та вересні-жовтні, коли спостерігається висока сонячна активність, сприятливі температурні умови та внутрішньобудинкові системи кліматизації (опалення та охолодження) не працюють, що обумовлює істотне зниження власного споживання будівлі. Тому для активних будівель важливою складовою стане

обґрунтування вибору обладнання систем електропостачання будинка з урахуванням режимів максимального споживання та максимальної генерації і це може стати предметом подальшого дослідження.

Запитання 2:

У дисертації вибір раціональної конфігурації комплексної системи енергозабезпечення здійснюється на основі багатокритеріального підходу, який поєднує енергетичні, технічні та економічні показники.

Першим критерієм є забезпечення теплового навантаження будівлі. Потужність теплового насоса визначається не за нормативною питомою потужністю, а за фактичною потребою будівлі, що враховує клас енергетичної ефективності, температурну зону, тривалість опалювального періоду та формування ефективного режиму роботи внутрішньобудинкових систем.

Другим критерієм є економічний, що досягається завдяки запропонованому алгоритму керування навантаженням та зменшенню необхідної потужності системи електропостачання й вартості електрообладнання.

Додатково враховано екологічний ефект, який полягає у забезпеченні споживання електричної енергії даховою ФЕС в річному розрізі, що відповідає вимогам показника кліматичної нейтральності об'єкта.

Отже, раціональною вважається така конфігурація системи, яка забезпечує нормативний тепловий комфорт, мінімальне пікове навантаження на електричну мережу, максимальне використання локальної сонячної генерації та найкращі техніко-економічні показники протягом усього життєвого циклу будівлі.

Голова ради:

1. Півняк Геннадій Григорович, академік НАН України, доктор технічних наук, професор, голова Вченої ради НТУ «Дніпровська політехніка», професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Зауважень немає.

Запитання 1:

Які види припущень були прийняті і як оцінювався рівень припущень під час проведення дисертаційного дослідження? Як оцінювалась точність і строгість оцінки режимів?

Запитання 2:

Як запропоновані в дисертації рішення сприяють забезпеченню гнучкості функціонування енергетичної системи?

Замкова О.А. відповідь:

Запитання 1:

Основні припущення, які були прийняті у роботі:

1. Клас енергетичної ефективності будівель визначається енергоспоживанням системи опалення, часткою енергоспоживання системи охолодження – знехтувано.

2. Прийнято, що усі складові енергоспоживання опалення пропорційні різниці температур.

3. Розрахункове значення потужності електроопалення визначається пропорційно граничному максимальному значенню розрахункового енергоспоживання для кожного класу енергетичної ефективності будівель.

Межі допустимості характеризуються точністю та строгістю, які встановлені при моделюванні. Точність результатів моделювання забезпечується точністю вирішення прийнятих рівнянь які вибудовували модель. Строгість моделювання оцінювалася відповідно до поставленої задачі з співставленням отриманих результатів моделювання режимів роботи систем кліматизації реальної будівлі з фактичними обсягами енергоспоживання даної будівлі при її фактичній експлуатації. Відхилення результатів моделювання від фактичних показників не перевищують 10%, що відповідає вимогам до строгості інженерних розрахунків і свідчить про коректність прийнятих припущень та адекватність отриманих результатів. Запропонована модель використовується на практиці ТОВ «Електал» при проєктуванні систем електроопалення багатоквартирних будинків, що підтверджується актом впровадження результатів дослідження.

Запитання 2:

Запропоновані в дисертації рішення сприяють забезпеченню гнучкості функціонування енергетичної системи за рахунок керування режимом електричних навантажень будівлі й інтеграції об'єктів розподіленої генерації. При цьому будівля переходить від пасивного споживача до активного гнучкого споживача (flexible consumer), здатного адаптувати власний режим електроспоживання до стану електричної мережі.

Основним механізмом адаптації режиму електроспоживання до режиму роботи енергосистеми є реалізація запропонованого інверсного алгоритму керування системою електроопалення. Це дозволяє перерозподілити частину споживання електроенергії теплонасосною системою опалення з періодів ранкових і вечірніх максимумів електроспоживання на години мінімального навантаження упродовж доби. Під час розроблення алгоритму керування системою опалення враховується теплова інерційність будівлі та акумулюючі властивості самої системи опалення. Це створює можливість короткочасно змінювати режим роботи системи опалення без погіршення теплового комфорту мешканців, що фактично є формою керованого попиту (Demand Side Management). У результаті реалізації запропонованого алгоритму досягається зменшення коефіцієнта одночасності навантажень і зниження максимальної потужності електроспоживання будівлі на 14–30 %.

Додатковим елементом забезпечення гнучкості є дахова фотоелектрична станція, яка забезпечує покриття частини навантаження, сприяє зменшенню електроспоживання у години пікового споживання.

Таким чином, гнучкість досягається завдяки трьом взаємопов'язаним процесам:

- часовому зміщенню навантаження (load shifting);
- локальному балансуванню генерації та споживання;
- зменшенню пікової потужності, що необхідна від зовнішньої електричної мережі.

Саме це відповідає сучасній концепції Smart Grid, де споживач бере участь в управлінні режимом електроспоживання, а не лише споживає електроенергію.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

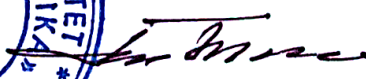
«Проти» 0 членів ради,

«Утрималися» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує *Замковій Ользі Андріївні* ступінь доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Голова разової
спеціалізованої
вченої ради




Геннадій ПІВНЯК

м.Дніпро, 26 серпня 2026 р.