

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Буяк Надії Андріївни «ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ БУДІВЛІ В УМОВАХ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси»

**АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ.** Дотримання умов теплового комфорту є одним з найважливіших і найбільш часто порушуваних питань при розв'язанні проблем підвищення ефективності використання енергії у житлово-комунальному секторі України, коли вартість паливно-енергетичних ресурсів вважається більш вагомим фактором за здоров'я людини. І це незважаючи на те, що адаптація вітчизняних стандартів до європейських потребує подальшого посилення вимог не тільки до термічного опору огорожувальних конструкцій, а й до якості мікроклімату у приміщенні.

Автор намагається виявити синергію методів аналізу енергоефективності будівель, які ґрунтуються на енергетичному підході та характеризують процес споживання енергії кількісно, та ексергетичного підходу, який дозволяє оцінити якісну його складову при забезпеченні належного рівня теплового комфорту від різних за якістю джерел теплоти. Для цього, у роботі використовуються енергетичні, ексергетичні та ексерго-економічні показники для вибору джерела теплоти, а також ексергетична модель теплового комфорту людини, що дозволяє комплексно урахувати механізм терморегуляції в процесі оцінювання впливу суб'єктивних та об'єктивних параметрів теплового комфорту на споживання первинного палива. При цьому джерело теплоти, людина та огорожувальні конструкції будівлі розглядаються як складна система, цілеспрямована на розв'язання суперечливої задачі зниження енергоспоживання за умов забезпечення належного рівня теплового комфорту.

Вважаю, що тема дисертаційної роботи Буяк Надії Андріївни, безпосередньо пов'язана з розробкою та розвитком методів оцінювання ефективності енергосистеми будівлі шляхом урахування взаємозв'язку джерел енергії, теплового захисту, показників теплового комфорту і параметрів мікроклімату приміщень є безумовно актуальною. Її наукова та прикладна направленість відповідає напрямку «Енергетика та енергоефективність» Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р.

№ 2623-III зі змінами від 26.11.2015 р, а також ЗУ «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 р. №2118-VIII.

Дослідження за темою дисертаційної роботи Буяк Надії Андріївни виконувались в межах науково-дослідної роботи кафедри теплопостачання та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», зокрема держбюджетних НДР № 2858п «Розробка комплексу науково-технічних рішень для створення системи енергоменеджменту закладів освіти МОН України» (номер державної реєстрації 0115U000313) та № 2009 «Управління енергоспоживанням об'єктів комунальної енергетики» (№ державної реєстрації 0117U000469).

#### НОВИЗНА НАУКВИХ ПОЛОЖЕНЬ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Створено ексергетичну модель аналізу показників енергоефективності системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції», яка у порівнянні з відомими дає змогу враховувати вплив стандартних параметрів теплового комфорту на споживання енергії по ланцюгу до первинного палива;

2. Створено ексерго,-енергетичну регресійну модель розрахунку температури повітря у приміщенні, що визначає впливовість внутрішніх та зовнішніх факторів та у кінцевому підсумку робить можливим регулювання роботи систем теплопостачання відповідно до умов комфортності;

3. Розвинуто метод визначення інтегральної експлуатаційної вартості та показників енергоефективності системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції», побудований на базі енергетичної та ексергоекономічної моделей, які на відміну від існуючих є динамічними, тобто дають змогу враховувати зміну вартості грошей та енергоносіїв в часі.

СУПІНЬ ОБГРУНТОВАНОСІ І ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ базується на системно-повній постановці задачі дослідження, на використанні відповідного, апробованого на практиці математичного апарату, а також на порівнянні одержаних результатів моделювання теплового комфорту із тими що лягли в основу чинних стандартів.

Дисертаційна робота є належним чином апробованою. Основні положення дисертаційної роботи та її окремі результати було висвітлено на міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми енергозабезпечення в АПК

України» (Харків, 2009), «Екологія. Економіка. Енергозбереження» (Суми, 2009), «Проблеми промислової теплотехніки» (Київ, 2009, 2015, 2017); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку академічної та університетської науки» (Полтава, 2015); науково-технічній конференції Інституту енергозбереження та енергоменеджменту «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2009, 2016); VIII та IX Всеукраїнському конкурсі «Молодь – енергетиці України – 2009, 2010. Відкритий конкурс молодих енергетиків».

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ полягає у тому, що запропоновані підходи щодо врахування моделі теплового комфорту людини під час проектування та термомодернізації будівлі дозволять знизити енергоспоживання, забезпечуючи при цьому обраний рівень теплового комфорту. Запропонована функція інтегрованої вартості та ексергоекономічний підхід до вибору джерела теплоти в комплексі з огорожувальними конструкціями дозволять врахувати зміну вартості енергоносіїв та грошей в часі.

На розроблену в дисертації концепцію та методичні основи одержано свідоцтва про реєстрацію авторського права № 69784 (дата реєстрації 16.01.2017) та № 69785 (дата реєстрації 16.01.2017).

Основні теоретико-методичні та практичні результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на кафедрі теплопостачання та енергозбереження під час викладання дисципліни «Методи енергомоніторингу та енергоаудиту».

На мій погляд, подальше використання результатів дисертаційної роботи доцільно здійснювати шляхом підготовки та подання до Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України аналітичних записок щодо можливості та доцільності створення і застосування запропонованого в дисертаційній роботі підходу щодо комплексного врахування умов теплового комфорту при розв'язанні проблем підвищення ефективності використання енергії в будівлях.

Створені моделі розрахунку комфортних умов з урахуванням енергетичних та ексергетичних параметрів і показників пропонується передати проектним організаціям.

Доцільним також є поширення використання нових теоретичних підходів в навчальному процесі інших вищих навчальних закладів, які готують спеціалістів за енергетичними напрямками та здійснюють підвищення їх кваліфікації.

**ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ** з необхідною повнотою відображено у 22 наукових працях, у тому числі 9 – у наукових фахових виданнях України, з них 1 – внесена до міжнародної бази Scopus і 3 – Index Copernicus, 2 – за кордоном, з них 1 – внесена до міжнародної бази Scopus, 1 – в Index Copernicus та у одній колективній монографії, 2-х свідоцтвах про реєстрацію авторського права на науковий твір, 8 тезах доповідей у збірниках матеріалів конференцій. Обсяг і рівень публікацій відповідають вимогам до кандидатських дисертацій. Зміст автореферату є ідентичним основним положенням дисертації.

**ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.** Дисертаційна робота Буяк Надії Андріївни складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 169 найменувань та 6 додатків. Загальний обсяг роботи складає 214 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність і важливість вирішення задачі розробки та розвитку методів оцінки ефективності енергосистеми будівлі в умовах теплового комфорту, сформульовано мету і задачі досліджень, підкреслено наукову й практичну цінність отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок автора в реалізацію роботи, її апробацію та публікації.

У *першому розділі* проведено ґрунтовний аналіз праць, у яких висвітлено теоретичні та практичні аспекти аналізу енергоефективності будівель. Встановлено, що за умови комплексного підходу до вибору енергозберігаючих заходів в будівлі доцільно використовувати моделі теплового комфорту, які враховують людський фактор. Проведено аналіз нормативного забезпечення енергоефективності будівель та забезпечення теплового комфорту, який свідчить про доцільність комплексного підходу щодо вирішення наявних проблем.

Проведено аналіз різних моделей теплового комфорту. Доведено доречність застосування ексергетичного підходу до опису складових балансу процесу терморегуляції з поверхні тіла. Описано сучасні моделі, які вирізняють велику кількість вузлів оцінювання стану людини і враховують зміну параметрів

навколишнього середовища. Обґрунтовано взаємозв'язок між споживанням ексергії людським тілом та прогнозованою середньою оцінкою тепловідчуттів людини та показано, що існує необхідність використання ексергетичної моделі людини під час проектування будівлі з високою якістю мікроклімату.

#### Зауваження до розділу 1:

1. На стор. 42 автором зазначено чотири об'єктивних параметри теплового комфорту, а саме температура повітря у кімнаті, середня радіаційна температура, швидкість руху повітря та відносна вологість, однак у розділі 4 в табл. 4.5 такий фактор, як швидкість руху повітря не включено, що певним чином обмежує застосування отриманого рівняння регресії тільки для базового значення цього фактору.

2. На стор. 47–49 автор представляє різні методики розрахунку середньої радіаційної температури приміщення, однак порівняльного аналізу цих методик практично не зроблено.

3. У висновку п.5 стор. 51 автор наголошує на необхідності використання функції інтегральної вартості, однак обґрунтування такого висновку не приводить.

4. Окремі формули, наведені у розділі 1, а саме (1.8), (1.10) є загальновідомими і не потребують опису.

У *другому розділі* представлено методику техніко-економічного, енергетичного та ексергетичного аналізу системи «джерело теплоти – огорожувальні конструкції» та «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції». Запропоновано функцію інтегрованої вартості для вибору джерела теплоти в комплексі з огороженнями, описано застосування теорії нечітких множин для врахування невизначеності вартості енергоносіїв в часі. Описано методику для аналізу потоків енергії/ексергії від джерела теплоти до огорожувальних конструкцій та ексергетичний/енергетичний підхід до аналізу терморегуляції з поверхні людського тіла, запропоновано методику розрахунку середньої радіаційної температури, а також ексергоекономічних критеріїв.

#### Зауваження до розділу 2

1. На стор. 60–62 описано застосування теорії нечітких множин для врахування зміни вартості енергоносіїв в часі, однак у подальших дослідженнях цей апарат не застосовується. При цьому використовується трикутна форма функції належності, яка у свою чергу обмежує практичне застосування даної

пропозиції.

2. На стор. 83-87 описано методику розрахунку середньої радіаційної температури на базі ефективних потоків внутрішніх поверхонь огорожень (формули (2.72–2.90)), однак у формулі (2.87) для визначення температури вікна автор не враховує коефіцієнт прогнозованої площі теплового потоку, що обмежує застосування запропонованої методики.

3. У розділі 2.1 (стор. 54) представлена формула (2.1), яка визначає інтегральну вартість системи «джерело теплоти – огорожувальні конструкції», однак не обґрунтовано, чому застосовані тенденції зміни цін на енергоносії мають лінійний характер, що призводить до штучного звуження невизначеності щодо зміни даного параметру.

4. На стор. 77–81 автором представлено детальний опис складових ексергетичного балансу терморегуляції поверхні людського тіла (формули (2.61–2.71)), які не враховують накопичення ексергії в ядрі та оболонці, що призводить до обмеження використання моделі при змінних параметрах середовища перебування людини.

У *третьому розділі* представлено практичні результати застосування функції інтегрованої вартості для аналізу системи «джерело теплоти – огорожувальні конструкції». Розроблено три сценарії зміни цін на енергоносії на базі ретроспективного аналізу. Проведено вибір економічно доцільного теплового захисту будівлі з різними джерелами теплоти, проаналізовано вплив глибини розрахунку на оптимальний термічний опір додаткового теплоізолюючого шару.

#### Зауваження до розділу 3

1. У п.3.1. стор. 92-94 не обґрунтовано, яким чином обираються коефіцієнти  $A_1$  та  $B_1$  для світлопрозорих конструкцій, зокрема незрозуміло, чи входять у вартість роботи з демонтажу, висотні роботи, улаштування відкосів, що впливають на капітальні витрати по термомодернізації будівель.

2. Під час вибору економічно доцільного теплового захисту будівлі стор. 99–103 автором обрано ставку дисконтування без урахування ризику, що у свою чергу, в умовах нестабільної економічної ситуації є необхідним і певним чином завищує значення інтегральної вартості.

3. На стор. 103-104, де здійснено вибір оптимального термічного опору теплоізоляційного матеріалу, автор припускає, що капітальна вартість джерела

енергії має лінійну функцію від потужності (формула (2.15)), що у свою чергу вносить похибку під час проведення оптимізації.

У *четвертому розділі* автор представляє результати розрахунків потоків ексергії та енергії від джерела теплоти до огорожень. Проведено апробацію ексергетичної моделі теплового комфорту та її порівняння з енергетичною. Проведено чисельний експеримент, на базі якого створено регресійну модель для визначення комфортної температури відповідно до енергетичного та ексергетичного підходів. Запропоновано алгоритм інтегрування моделі теплорегуляції людини у складну систему «джерело тепла – огорожувальні конструкції будівлі», що дозволило оцінити вплив суб'єктивних та об'єктивних параметрів теплового комфорту на потребу в опаленні будівлі.

#### Зауваження до розділу 4

1. У формулах (4.2 – 4.4) стор. 151-152 представлено моделі розрахунку комфортної температури повітря у приміщенні для певного рівня теплового комфорту, однак у цих моделях не враховується сумісний вплив факторів.

2. Для оцінки адекватності рівняння регресії та статистичної значущості коефіцієнтів регресії автор застосовує критерії Фішера та Стьюдента стор. 151-152, формули (4.2–44). Однак не представлені результати перевірки нормального закону розподілення вхідних даних (за допомогою критерію Пірсона), що є обов'язковою умовою застосування вище зазначених критеріїв.

3. Для аналізу впливу термомодернізації на середню радіаційну температуру приміщення стор.154 та зміну умов комфортності автором вибраний рівень середньої температури за опалювальний період ( $t_0 = -1^\circ\text{C}$ ), що не зовсім відповідає усередненим даним (відповідно до кліматології для умов Києва  $t_0 = -0,1^\circ\text{C}$ ) і певним чином завищує вплив термомодернізації.

4. На стор. 162–164 у моделях не описано динамічну складову впливу людини, пов'язану з її діяльністю і з вимогами до мікроклімату, що може серйозно впливати на теплове навантаження будівлі.

У *додатках* представлені комп'ютерні моделі розрахунку середньої радіаційної температури приміщення, енергетична модель теплового комфорту, ексергетична модель терморегуляції людини.

*До загальних зауважень щодо змісту та оформлення дисертації й автореферату*, крім наведених вище, можна віднести наступні:

1. У дисертації не висвітлено екологічних впливів енергетичної системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції».

2. У загальних висновках до роботи не знайшли відображення результати економічних переваг застосування моделі теплового комфорту при визначенні потреби енергоресурсів на опалення будівлі.

3. У тексті автореферату та дисертації використовуються русизми, наприклад, значимість, та нестандартні терміни (сухий теплообмін, глибина розрахунку тощо).

*Щодо оцінки змісту дисертації у цілому*, то на мою думку, слід особливо відмітити значну наукову і практичну значимість результатів проведених досліджень щодо комплексного вибору джерел теплоти та огорожувальних конструкцій на основі функції інтегральної вартості системи, використання енергетичних та ексергетичних показників для оцінки енергоефективності системи, моделювання впливу різних факторів на потребу в опаленні під час застосування енергетичної та ексергетичної концепції забезпечення комфортних умов.

У цілому, дисертаційна робота написана грамотно, добре ілюстрована, відзначається цілісністю та внутрішньою органічністю, матеріали викладено послідовно й логічно на високому науковому й методичному рівні, висновки достатньо продумані і чітко сформульовані. Автореферат вірно та повно відображає зміст дисертаційної роботи, результати якої достатньо доповідалися та обговорювалися на конференціях і семінарах. Наукові положення, висновки та рекомендації досить повно відображені в фахових джерелах. Зауваження, які висловлені, стосуються окремих моментів дисертаційної роботи і не зменшують наукову та практичну цінність результатів роботи та її загальну позитивну оцінку.

## **ВИСНОВОК**

Ознайомлення зі змістом дисертації та автореферату дозволяє зробити висновок, що завдання наукового дослідження відповідають обраній спеціальності 05.14.01 – «Енергетичні системи та комплекси» та профілю спеціалізованої вченої ради Д26.002.20.

Дисертаційна робота Буяк Надії Андріївни «Оцінювання ефективності енергетичної системи будівлі в умовах теплового комфорту» є завершеною



науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні результати з удосконалення та подальшого використання методів оцінювання енергоефективності системи «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції будівлі», які в сукупності є суттєвими для розвитку методів і засобів підвищення ефективності теплоенергетичних систем.

Дослідження має наукову новизну і практичну значимість, що дозволяє оцінити роботу як таку, що відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, а її автор, Буяк Надія Андріївна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси».

**Офіційний опонент,**

Член-кореспондент НАН України,

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник відділу теплотехнічних  
основ енергоощадних технологій

Інституту технічної теплофізики НАН України



**О.В. Новосельцев**

Підпис Новосельцева Олександра Вікторовича засвідчую

*Вчений*

*секретар*  
*ІТТФ*



*Чайка О.І*