

## ЦИФРОВА МОДЕЛЬ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ

**В.О. Пилюк<sup>1</sup>, О.В. Круглякова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> магістрантка кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

Valeriia.Pyliuk@ieee.khpi.edu.ua

Зростання вимог до енергетичної ефективності житлового фонду, посилення екологічних стандартів і курс України на гармонізацію законодавства з директивами ЄС формують потребу у швидких і прозорих методах кількісної оцінки результатів енергоефективних заходів. Одним із ключових напрямів модернізації систем теплопостачання є впровадження індивідуальних теплових пунктів (ІТП), що забезпечують погодозалежне регулювання подачі тепла, автоматичне керування насосним обладнанням і дистанційний моніторинг. Для обґрунтування ефективності таких рішень необхідні цифрові моделі, які поєднують розрахунок енергоспоживання з функціями автоматизації та моніторингу.

Актуальність дослідження визначається положеннями переглянутої Директиви (EU) 2024/1275 щодо енергетичних характеристик будівель (EPBD) [1], яка посилює вимоги до цифровізації даних, енергетичної сертифікації та стимулює створення цифрових двійників будівель. У межах методології Smart Readiness Indicator (SRI) [2] держави-члени ЄС упроваджують підходи, що дозволяють оцінювати рівень автоматизації, адаптивності та здатності будівель до «розумного» керування енергоспоживанням. Для українського контексту це особливо актуально з огляду на потребу підвищення ефективності централізованих систем теплопостачання.

Постановка задачі полягає у створенні спрощеної цифрової моделі багатоквартирного житлового будинку, що дозволяє оцінювати ефект від упровадження ІТП з погодозалежним керуванням. Метою роботи є розроблення табличного інструменту, який поєднує стандартні методи розрахунку теплового балансу з відображенням функцій автоматизації відповідно до логіки SRI. Правове підґрунтя забезпечує чинна редакція Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [3].

Методичною основою роботи є стандарт ДСТУ EN ISO 52016-1:2022 [4], який регламентує методики розрахунку енергетичних потреб на опалення, охолодження та внутрішніх температур. У дослідженні реалізовано табличну версію моделі в середовищі Microsoft Excel для забезпечення прозорості обчислень і можливості повторного використання. Вхідні дані охоплюють кліматичні ряди (нормативні або фактичні температури й сонячну радіацію), геометрію будівлі, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, параметри вентиляції, профілі зайнятості та внутрішніх теплопоступлень із можливістю зонування за типами приміщень. Калібрування моделі виконується на основі даних вузла обліку теплової енергії, що дозволяє уточнити параметри інфільтрації, ефективної теплоємності зон і налаштування автоматики ІТП.

Параметри ІТП враховують нахил і зсув кривої погодозалежного регулювання, мінімальні та максимальні температури подачі, нічні зниження уставок і алгоритми керування насосами. Для порівняння передбачено два сценарії: базовий, який відтворює поточний режим опалення, та модернізаційний, що моделює роботу ІТП з

погодозалежним керуванням. Аналіз проводиться за питомими потребами в тепловій енергії (кВт·год/м<sup>2</sup>·рік) з нормуванням на погодні умови (градусо-доби опалення або погодинні кліматичні ряди).

Результати моделювання показали, що впровадження ІТП із погодозалежним керуванням дає змогу адаптувати роботу системи опалення до реальних кліматичних коливань, зменшуючи надлишкові витрати тепла в перехідні періоди. Для типових багатоквартирних будівель зменшення питомої потреби в тепловій енергії становить у середньому 10–20 %, залежно від герметичності, теплової інерції та налаштувань регуляторів. Окрім енергетичної економії, досягається покращення температурного комфорту та зниження температури зворотного теплоносія, що підвищує ефективність джерел тепла й теплових мереж. Розроблений підхід узгоджується з сучасними тенденціями використання цифрових двійників для підвищення енергоефективності будівель і точнішого прогнозування їх енергоспоживання [5].

Функції ІТП включають погодозалежне регулювання, дистанційний моніторинг, нічні зниження температур і керування насосами, які інтерпретуються у доменах SRI «Опалення» та «Моніторинг і керування» з подальшим віднесенням до відповідних рівнів функціональності. Модель також формує криві тривалості теплового навантаження, регресії «споживання – градусо-доби» та інтервали невизначеності для основних параметрів, що робить її корисним інструментом для оцінки потенціалу енергозбереження.

Отже, розроблена цифрова модель поєднує теплотехнічний розрахунок із логікою автоматизації у відтворюваній, відкритій формі, придатній для практичного використання в енергетичній сертифікації, аудитах і системах енергоменеджменту. Запропонований підхід відповідає вимогам оновленої Директиви EPBD і методології SRI, що дозволяє інтегрувати його у процеси цифровізації житлового сектору. Подальші дослідження передбачають автоматизацію калібрування на основі фактичних погодинних даних і розширення моделі для аналізу систем вентиляції та гарячого водопостачання.

### **Список літератури:**

1. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast) / European Parliament and of the Council // EUR-Lex. – 2024. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng> – Назва з титул. екрану.

2. European Commission. Smart Readiness Indicator: Overview and methodology / European Commission // Energy – European Commission. – 2024. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/smart-readiness-indicator\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/smart-readiness-indicator_en) – Назва з титул. екрану.

3. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII. Поточна редакція станом на 03.08.2025 / Верховна Рада України // База даних «Законодавство України». – 2025. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> – Назва з титул. екрану.

4. ДСТУ EN ISO 52016-1:2022. Енергоефективність будівель. Енергопотребности для опалення та охолодження, внутрішні температури і навантаження за явною та прихованою теплою. Частина 1. Методики розрахунку. – Чинний з 01.06.2024 // Online.budstandart.com. – 2024. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=105085](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=105085) – Назва з титул. екрану.

5. Arsecularatne, B., Rodrigo, N., Chang, R. Digital Twins for Reducing Energy Consumption in Buildings: A Review // Sustainability. – 2024. – Т. 16, № 21. – Стаття 9275. – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9275> – Назва з титул. екрану.