

УДК 697.942

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ КЛІМАТИЧНІ ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

Адегов О. В.¹, к. т. н., доц., Ляховецька-Токарєва М. М.², к. т. н., доц.,
Ткачова В. В.³, к. т. н., доц., Прокоф'єва Г. Я.⁴, к. т. н., доц.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
[1adehov.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:adehov.oleksandr@pdaba.edu.ua); [2lyakhovetsky-tokareva@pdaba.edu.ua](mailto:lyakhovetsky-tokareva@pdaba.edu.ua);
[3tkachova.valeriia@pdaba.edu.ua](mailto:tkachova.valeriia@pdaba.edu.ua); [4chornomorets.halyna@pdaba.edu.ua](mailto:chornomorets.halyna@pdaba.edu.ua)

Постановка проблеми. Останніми роками значно зросли вимоги до енергоефективності, експлуатаційних витрат та екологічності кліматичного обладнання під час забезпечення параметрів мікроклімату в приміщеннях житлових будинків, дошкільних і шкільних установ, лікарень. Виконання таких вимог до інженерного обладнання стає особливо важливим під час нового будівництва та модернізації наявних будівель. Кліматичні інженерні системи суттєво впливають на визначення енергоефективності будівель, у яких це обладнання використовується.

Комбінація різних інженерних систем генерації теплоти і холоду, інженерного обладнання споживання теплоти і холоду та використання інтелектуальних систем управління всім інженерним обладнанням призводить до значної економії первинного енергоресурсу – до 30–50 %.

У Європейському союзі було розроблено стратегію підвищення енергоефективності будівель з урахуванням застосовуваного інженерного обладнання та визначення індикатора інтелектуальності будівлі – Директива 2010/31/ЄС EPBD 2 «Щодо Енергетичного забезпечення будівель» та заключний звіт Європейського проєкту з розроблення інтелектуального індикатора будівлі [1–3].

Мета роботи полягає в аналізі та оцінці енергетичної ефективності різних варіантів комбінованих систем генерації теплової енергії та кліматичного обладнання.

Основна частина. Мікроклімат приміщення характеризується такими параметрами: температурою повітря, температурою всіх внутрішніх навколишніх поверхонь, вологістю та швидкістю руху повітря. Найважливішим параметром, що впливає на комфорт, є температура всередині приміщення. Температурна обстановка в приміщенні повинна задовольняти вимогам комфорту. Температура в приміщенні повинна відповідати вимогам комфорту.

У разі порівняння двох кліматичних інженерних систем, що працюють із високою та низькою температурами, найкомфортніші для людини умови створюють саме низькотемпературні системи опалення, які забезпечують невеликий перепад температур у приміщенні та не викликають негативних відчуттів. Сучасні низькотемпературні кліматичні інженерні системи опалення розробляються відповідно до європейського стандарту EN – 422-1/2 на використання теплоносія на вході в опалювальну систему $t_{\text{под}} = 55$ °С, а на виході $t_{\text{звор}} = 45$ °С [4–9]. У сучасних низькотемпературних кліматичних системах температура на вході у теплогенеруюче обладнання може працювати з температурами 30–50 °С. Тепло, яке забезпечує виконання параметрів мікроклімату приміщень, з такими параметрами теплоносія називають «м'яким». Використання низькотемпературного теплоносія в системах опалення різного типу і систем генерації теплоти з температурою до 45 °С має безліч переваг, які впливають на вибір таких систем для забезпечення температурного комфорту в приміщеннях

Треба зазначити, що під час вибору низькотемпературної кліматичної інженерної системи необхідно узгодити роботу елементів системи на кожному кроці, тобто необхідно враховувати:

- якість утеплення огорожувальної конструкції будівлі;
- систему генерації низькотемпературного теплоносія, тобто її здатність генерувати теплоту з необхідною температурою і в необхідному обсязі та в задані періоди року;
- систему транспортування і розподілу теплоносія, з урахуванням зменшення теплових втрат;
- систему споживання низькотемпературного носія.

Найпоширенішими низькотемпературними системами опалення є поверхневі системи опалення: тепла підлога, теплі стіни, тепла стеля. Існує кілька технологій створення поверхневих систем опалення: водяні та електричні. В електричних використовуються електрокабель або електромати, що монтуються в конструкції підлоги, стін і стелі. У водяних системах поверхневого опалення використовуються полімерні труби з діаметрами $\varnothing 8$ мм – $\varnothing 14$ мм та поліпропіленових капілярних матів з діаметром $\varnothing 3$ мм. Крім опалення, ці системи енергоефективно використовуються для охолодження приміщень, тобто створюють температурний комфорт у літній період року. Монтаж трубопроводів здійснюється в конструкції підлоги, стіни, стелі. Поверхні труб у підлозі заливаються бетонною стяжкою, у стінах закриваються штукатуркою або гіпсокартоном, у стелі закриваються гіпсокартоном або декоративними металевими панелями, або використовуються панелі заводського виробництва (рис.1) [8; 9].



Рис. 1. Варіанти облаштування поверхневих систем опалення в підлозі, у стіні, у стелі

Призначення будь-якої кліматичної системи – підтримання комфортних умов перебування людини в приміщенні: температурний режим, швидкість переміщення повітря і вологість. Для виконання цього призначення необхідно узгодити температуру теплоносія після теплогенеруючого пристрою, температуру опалювального приладу, температуру і швидкість повітря в приміщенні. Таке узгодження можна забезпечити правильним підбором основних елементів інженерних кліматичної системи та систему інтелектуального управління.

Температурний режим приміщення визначається температурою повітря в приміщенні та середньою радіаційною температурою приміщення [4–8].

Таблиця 1

Температури води та тепло- і холодопродуктивності при опаленні й охолодженні

Найменування поверхні	Опалення	Охолодження	Теплопродуктивність при температурі теплоносія 27 °С / 32 °С	Холодопродуктивність при температурі теплоносія 14 °С / 18 °С
	діапазон температур, °С	діапазон температур, °С		
Підлога	18–29	14–18	100 Вт/м ² *	35 Вт/м ² *
Стіна	20–35	14–18	85 Вт/м ² *	68 Вт/м ² *
Стеля	20–42	14–18	68 Вт/м ² *	85 Вт/м ² *

* теплопродуктивність/холодопродуктивність залежить від температури води в системі та від площі гріючої/охолоджувальної поверхні.

Спільна дія цих двох температур визначає температуру відчуття людиною в приміщенні (результуюча температура приміщення). За невеликих швидкостей повітря в приміщенні $v < 0,2$ м/с, температура приміщення визначається як середнє арифметичне температури повітря і середньої радіаційної температури. Це означає, що і температура повітря, і середня радіаційна температура однаково важливі для підтримання необхідного рівня теплового комфорту в приміщенні [4; 6; 7].

Суттєву роль у визначенні середньої радіаційної температури відіграє кількість поверхонь, які оточують людину та їхні температури. Поверхнями можуть бути підлоги, стіни, стеля, вікна, двері та фрагменти поверхонь, температура яких можуть відрізнятися більше ніж на 4 °С. У цьому разі виникають проблеми асиметрії (нерівномірності) променистого теплообміну поверхні тіла людини та поверхонь, що його оточують, при цьому виникає тепловий дискомфорт через різницю в температурі між окремими частинами тіла. У цьому випадку виконується темперування таких поверхонь або збільшується температура внутрішнього повітря.

Радіаційна температура t_R - це усереднена температура охолоджених і нагрітих поверхонь, яка отримана для умов променистого теплообміну людини, яка перебуває в середині приміщення, визначається як [4–7]:

$$t_R = \sum t_{opi} \times \varphi_{ч-i}, \quad (1)$$

де t_{opi} – температура і-ої поверхні; $\varphi_{ч-i}$ – коефіцієнт опромінення з поверхні людини в бік оточуючих її і-их поверхонь, що мають температуру t_{opi} .

Дослідження і розрахунок коефіцієнта опромінення людини в кімнаті з площею $A = 6 \times 6 = 36$ м², з висотою стелі 3 м [6; 7]:

- коефіцієнт опромінювання з боку підлоги дорівнює $\varphi_{л-підл1} = 0,4$ для людини в положенні сидячи і $\varphi_{л-підл2} = 0,37$ для людини в положенні стоячи;
- коефіцієнт опромінювання з боку стелі значення коефіцієнта перебуває в діапазоні $\varphi_{л-стеля1} = 0,15$ і $\varphi_{л-стеля2} = 0,2$.

Коефіцієнт опромінювання з боку навколишніх поверхонь залежить від геометричних розмірів приміщень і від площі фрагментів на поверхнях, що гріють або охолоджують.

Приблизно величину усередненої температури охолоджених і нагрітих поверхонь t_R визначають як середньозважену за площею окремих поверхонь F_i :

$$t_R \approx \sum (t_{opi} \times F_i) / \sum F_i. \quad (2)$$

Таке значення t_R правомірне в тому разі, коли перепад температур на одній поверхні не перевищує $4\text{ }^\circ\text{C}$. Особливо необхідно звернути увагу на розмір і форму площі або фрагментів поверхні підлоги, або фрагментів поверхні стіни, або фрагментів поверхні стелі відносно всієї площі, що можуть мати суттєві різні температури. Ще треба звернути увагу на місця сполучення підлоги, стелі та внутрішніх перегородок із зовнішньою стіною (це має значення для багатоповерхових будинків старої забудови до 1990 року). У цих місцях існують площі з температурою поверхні, яка значно відрізняється від температури в інших місцях поверхні.

Температура у звичайних приміщеннях з висотою стель до 3-х метрів і з невеликою рухливістю повітря до $0,2\text{ м/с}$ характеризується результируючою температурою $t_{\text{пом}}$, і приймається рівною:

$$t_{\text{пом}} = 0,5 \times (t_{\text{пов}} + t_R), \quad (3)$$

де $t_{\text{пов}}$ – температура повітря у приміщенні.

У разі використання поверхневих систем опалення та охолодження градієнт температур за висотою приміщення при променистому опаленні може становити $\Delta t_{\text{град промен}} = 0,2\text{--}0,3\text{ }^\circ\text{C/м}$, при конвекційному опаленні $\Delta t_{\text{град конвекц}} = 0,7\text{--}1,5\text{ }^\circ\text{C/м}$. Такий невеликий градієнт зміни температури по висоті за низькотемпературного променевого опалення або охолодження дає можливість отримати необхідну температуру приміщення (робоча температура, оперативна температура) за нижчої температури повітря, яка є на $1\text{--}1,5\text{ }^\circ\text{C}$ нижчою порівняно з іншими конвекційними системами опалювання [5–7].

Використання низькотемпературних кліматичних інженерних систем створюють найкращі умови для роботи конденсаційних котлів і теплових насосів, сонячних колекторів, високий рівень енергетичної ефективності та екологічної безпеки. Під час застосування таких систем виокремлюють окремі узгоджені групи інженерного обладнання: системи генерації та акумулювання, розподілу та споживання низькотемпературного теплоносія. Крім цього використовують твердопаливні котли з баком акумулювання гарячої води та з клапанами регулювання температури води на подачі. Ці системи ще називають комбінованими [10]. Важливим елементом таких систем є інтелектуальні системи управління генерацією, акумулюванням, розподілом і споживанням теплоносія для отримання оптимальних параметрів мікроклімату.



Рис. 2. Приклади низькотемпературних кліматичних інженерних систем

Висновок. Використання низькотемпературних інженерних систем для підтримання параметрів мікроклімату приміщень дає змогу заощаджувати щонайменше $40\text{--}50\%$ первинних енергоресурсів і значно знизити викиди CO_2 , порівнюючи з традиційними високотемпературними системами.

Застосування інтелектуальних систем керування низькотемпературними інженерними системами дають змогу забезпечити оптимальні параметри мікроклімату в потрібний час і потрібному обсязі.

Список використаних джерел

1. Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>
2. Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>
3. Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings. European commission. Directorate-General for Energy. Directorate C – Renewables. Research and Innovation, Energy Efficiency. Unit C4 – Energy Efficiency: Buildings and Products. ISBN 978-92-76-19197-1. Published of the European Union Brussels. 2020. P. 487.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 113 с.
5. ДСТУ EN 442-1:2019 (EN 442-1:2014, IDT). Радіатори та конвектори. Ч. 1. Технічні умови та вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 94 с.
6. ISO Standard 7730. Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva : International Organization for Standardization, 1994. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/14567/8b424422c77b49239f1c385829105f0c/ISO-7730-1994.pdf>
7. ANSI/ASHRAE. Standard 55-2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. URL: https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2017_d_20200731.pdf
8. BEKA Capillary Tube Systems. Technical Information. URL: <https://www.beka-klima.de/en/heating-cooling/pdf-technical-data-sheets/>
9. REHAU. Системи обігріву та охолодження поверхонь. Технічний посібник. URL: http://aquaterm.com.ua/rehau/tech/TI_02_FH3%2074-94.pdf
10. BUDERUS Документація типових схем. URL: https://www.buderus.com/ua/media/country-pool/service/technical-documentation/dovidnyk_buderus_ua.pdf