

УДК 697.94:681.5

аспірант **Юрій Волох**

volokh_yl-2024@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0000-7599-970X

доцент **Михайло Кириченко**

kyrychenko.ma@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3651-3153

Київський національний університет будівництва та архітектури

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.54.30-38>

ВПЛИВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ СТВОРЕННІ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ

***Анотація.** Поверхнєве охолодження, реалізоване через стелі, стіни або підлоги, розглядається як перспективна альтернатива традиційним системам кондиціювання повітря завдяки поєднанню високого рівня комфорту та знижених енергетичних витрат. У роботі проведено аналіз фізичних процесів, що визначають мікроклімат у приміщеннях з поверхневим охолодженням: теплообміну з повітрям, випромінення від огорожувальних конструкцій та теплопередачі при контакті з поверхнею підлоги. Показано, що ключовим чинником досягнення безпечних і стабільних параметрів є інтегрування сучасних систем автоматизації. Сформульовано основні вимоги до автоматичного керування, серед яких забезпечення роботи в режимах опалення та охолодження; урахування впливу радіаційної температури поряд із температурою повітря; динамічне балансування контурів; контроль параметрів підлоги; моніторинг відносної вологості повітря та запобігання конденсації. Розглянуто приклад впровадження системи, яка реалізує алгоритми самонавчання на основі аналізу інерційності конструкцій, надходжень сонячної радіації і зовнішніх кліматичних умов. Отримані результати підтверджують, що комплексна автоматизація не лише підвищує рівень теплового комфорту, але й забезпечує ефективне використання енергоресурсів, що робить технологію поверхневого охолодження актуальною для житлових і громадських будівель у контексті сталого розвитку.*

***Ключові слова:** поверхнєве охолодження, теплообмін, автоматизація, температура.*

Актуальність роботи. У сучасному будівництві ключовим завданням є поєднання енергоефективності, екологічності та високих стандартів теплового комфорту. Традиційні системи кондиціювання повітря характеризуються значними енергетичними витратами, локальними потоками холодного повітря

та ризиком негативного впливу на здоров'я користувачів. На противагу цьому, поверхнєве охолодження, засноване на принципі випромінювання, забезпечує природний комфорт перебування та знижує експлуатаційні витрати. Поверхнєве охолодження, реалізоване через стелі, стіни або підлоги, розглядається як перспективна альтернатива традиційним системам кондиціювання повітря завдяки поєднанню високого рівня комфорту та знижених енергетичних витрат [1].

Для України, що характеризується помірним кліматом, технологія поверхнєвого охолодження є особливо актуальною, оскільки дозволяє повністю задовольнити потреби в опаленні та кондиціюванні повітря без використання додаткових систем. Проте ефективність і безпечність її застосування безпосередньо залежить від наявності сучасних засобів автоматизації, здатних враховувати інерційність огорожувальних конструкцій, динаміку сонячних теплових надходжень, зміну вологості повітря та інші фактори мікроклімату. Це визначає наукову та практичну значущість дослідження.

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування та систематизація вимог до автоматизованого керування системами поверхнєвого охолодження, спрямованого на забезпечення стабільних умов теплового комфорту та безпеки користувачів при оптимізуванні енергоспоживання. Для досягнення мети передбачено аналіз фізичних процесів теплообміну, що відбуваються в приміщеннях із поверхневими системами, а також дослідження функціональних можливостей сучасних рішень автоматизації.

Основна частина. Розглянемо процеси, що відбуваються при опаленні / охолодженні та їхній вплив на людину. При поверхнєвому охолодженні в спекотний день складається ситуація, коли температура поверхонь підтримується у межах 20-22°C, а температура повітря 25-27°C. Таким чином на людину впливають два процеси: теплообмін з повітрям та випромінення від поверхонь. Дослідження показали, що цей вплив рівнозначний, тому температура, яку відчуває людина – це середнє значення між температурою повітря та температурою випромінення [2]. Це найбільш комфортні та безпечні для здоров'я умови перебування людини влітку, адже ту саму температуру взимку і влітку ми відчуваємо по-різному. Наш організм пристосовується до навколишнього середовища. Взимку у морозну пору +24°C часто відчувається як занадто висока температура, але в спеку – це довгоочікувана прохолода [3].

У випадку охолодження підлогою виникає ще один процес теплопередачі – безпосередній контакт шкіри та холодної підлоги, і він є досить суб'єктивний [4]. Європейські норми обмежують мінімальне значення температури поверхні підлоги рівнем +20 °C [5]. Це значення безпечне для здоров'я, але не для всіх воно є комфортним, тому обов'язково має регулюватися за бажанням. До того ж

є ще один фактор впливу – це відносна вологість повітря. Якщо в зимовий період вона значно знижується, то в літній – підвищується та може призвести до конденсації вологи на холодних поверхнях [6]. Це може пошкодити шпалери або покриття підлоги.

Тож поверхнєве охолодження може бути безпечним, комфортним та енергоефективним варіантом кондиціювання повітря, але тільки при правильному проектуванні й експлуатації, чого досягти без автоматизованого керування та контролю буде дуже важко.

Функціонал автоматики, що керує поверхневим охолодженням має враховувати специфічні чинники та особливості.

1. Автоматика повинна мати як логіку роботи на опалення, так і на охолодження.

За допомогою одного термостату в приміщенні та однієї системи автоматики мають вирішуватися обидві задачі. Тобто система «тепліх підлог / стін / стель» може використовуватися влітку на охолодження без додаткового обладнання та витрат.

2. Автоматика повинна контролювати не тільки зміни температури повітря, але й випромінення.

Як було зазначено вище, температура випромінення огорожувальних конструкцій не менш важливий чинник, аніж температура повітря, тому без її врахування керування системою буде із затримками та відхиленнями [7]. Крім огорожувальних конструкцій, як приклад, можна навести сонячне випромінення, інтенсивність якого в окремо взятій кімнаті змінюється щогодини залежно від орієнтації сторонами світу [8].

Сучасні термостати, наприклад Uponor Smatrix Style, мають спеціальне покриття, що поглинає теплоту випромінення й передає його на вбудований датчик. З іншого боку датчик вільно контактує з повітрям, у результаті чого дисплей показує середню температуру, що максимально наближена до температури, яку відчуває людина [9].

3. Автоматика повинна мати функцію автобалансування контурів системи.

Для прикладу, санвузол потребує найбільшого навантаження в режимі опалення, але найменшого в режимі охолодження. Схожа ситуація може виникати по інших кімнатах, що мають південну та північну орієнтацію [10]. Це вимагає автоматичного балансування системи. Якщо регулятори витрати розподільчого колектора налаштовані на балансування системи опалення, то в режимі охолодження фізично неможливо буде забезпечити необхідний комфорт без зміни вручну положень цих регуляторів. Змінювати двічі на рік балансування на всіх елементах теж не раціонально. Тож функція

автоматичного балансування таких систем є не просто бажаною, а стає необхідністю. При цьому автоматика безперервно вивчає зміну температури в кожному приміщенні, складає відповідну програму роботи і, шляхом зміни положень сервоприводів, балансує систему задля підтримання комфортної температури взимку та влітку. Це забезпечується сервоприводами з широтно-імпульсною модуляцією, які підтримують необхідну на даний момент витрату теплоносія в кожне приміщення [11].

4. Автоматика має контролювати температуру підлоги, щоб уникати перегрівання чи переохолодження.

Мінімальну температуру підлоги власник має встановити для себе сам, залежно від покриття, призначення кімнати та суб'єктивної чутливості ніг [12]. У режимі охолодження це питання постає ще гостріше, бо швидка передача теплоти від ніг до керамічної плитки викликає дискомфорт при типовій температурі поверхні 20-22 °C [13]. Але навіть при обмеженні 24-26 °C ефект кондиціонування повітря відчуватиметься, бо поглинатиметься сонячне випромінювання, що нагріває конструкцію підлоги. Тому охолодження підлоги є доцільним. У приміщеннях з великою площею підлога може покривати більшу половину потреби в охолодженні [14]. Зазвичай датчик підлоги приєднується безпосередньо до термостата, що спрощує проектні та монтажні роботи. У режимі опалення він теж буде корисний для обмеження максимальної температури підлоги, наприклад, при використанні дерев'яних покриттів [15].

5. Автоматика повинна контролювати відносну вологість повітря в кожному приміщенні та запобігати появі конденсату.

Навіть тимчасове підвищення вологості в приміщенні, наприклад через відкрите вікно, може призвести до неприємних наслідків у тому випадку, якщо система охолодження не відреагує вчасно [16]. Якщо автоматика контролює відносну вологість повітря в кожному приміщенні, то при критичному значенні перекриває подачу холодоносія у відповідну кімнату. Проте може бути й більш досконале рішення на два ступені захисту зі зміною температури холодоносія. Проте, для цього інформація про відносну вологість має передаватися вже до автоматики, наприклад, контролера насосно-змішувальної групи. При наближенні значення відносної вологості повітря до точки роси в будь-якій кімнаті, автоматика поступово збільшує температуру теплоносія в контурі, знижуючи ризик випадіння конденсату в приміщенні. Але якщо вологість все ж досягла критичного значення, то перекривається не вся система, а лише контури даної кімнати, і комфорт в інших приміщеннях продовжує підтримуватися.

Реалізація комплексної автоматизації показана на рис. 1. Термогігрометри D контролюють мікроклімат у кожному приміщенні, зокрема вологість і температуру поверхні.

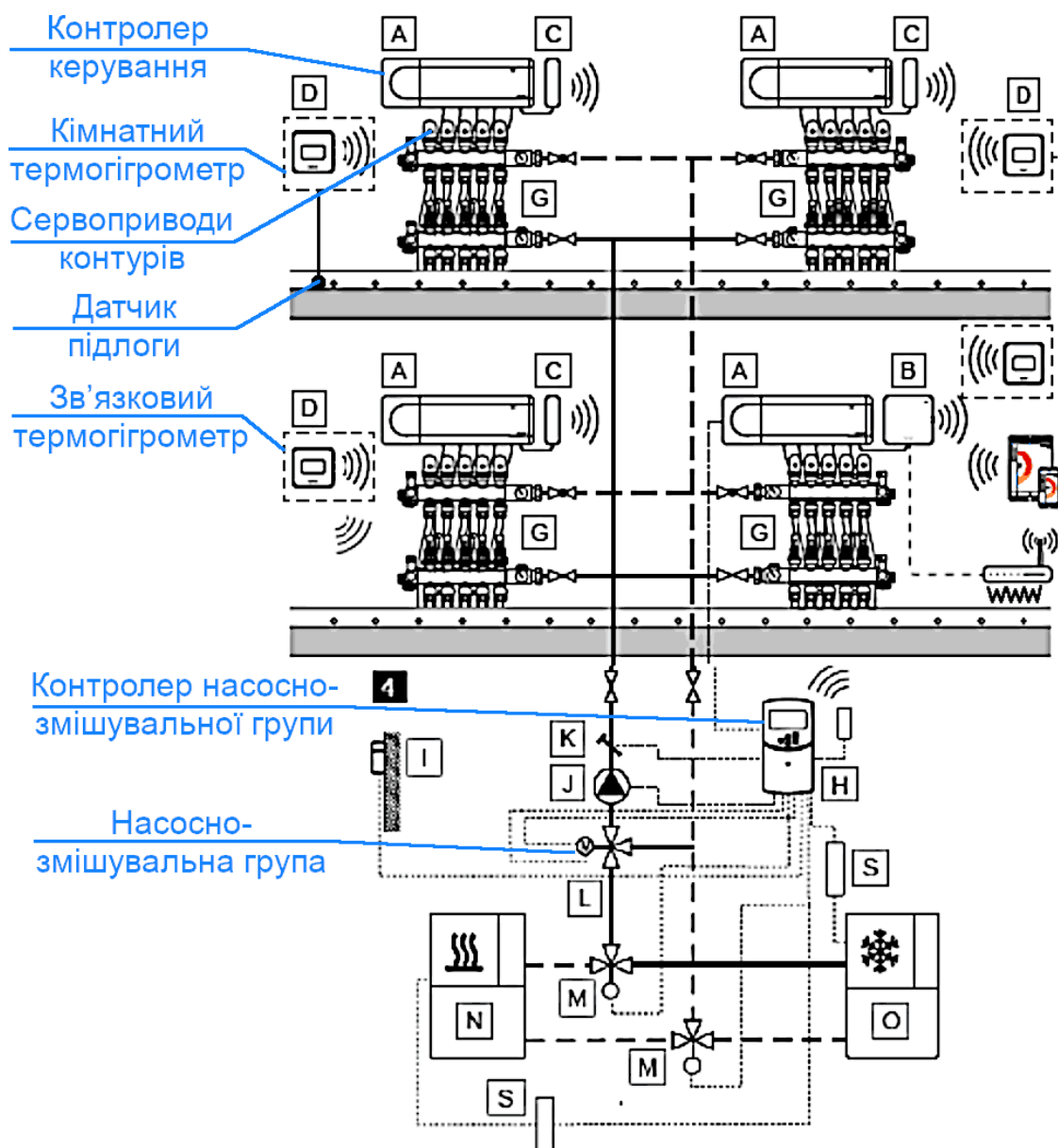


Рис.1 Приклад схеми автоматики Uponor Smatrix Pulse [17]

Інформація з датчиків передається на контролери А, які об'єднані в одну систему радіозв'язком. Завдяки функції автобалансування, система 24/7 вивчає швидкість зміни температури в кожному приміщенні протягом тижня. Таким чином враховується інерційність підлог, зміна положення сонця, тижневий графік користувачів.

За наявності приєднання до інтернету, додатково аналізується прогноз погоди. Далі складається програма роботи сервоприводів так, щоб підтримувалися задані температури у всіх приміщеннях. За наявності датчика підлоги, задаються верхній і нижній ліміти температури стяжки. На час, коли температура стяжки в межах лімітів, підтримується задана температура повітря. Перевищення верхнього ліміту запобігає перегріванню, наприклад, дерев'яних підлог, а нижній ліміт дозволяє підтримувати підлогу завжди комфортною, як у

режимі опалення, так і в режимі охолодження. Дані щодо відносної вологості повітря в приміщеннях теж контролюються системою, але більш того, один з термогігрометрів D' є ланцюжком передавання необхідної інформації від внутрішньої системи на контролер насосно-змішувальної групи Н. Вибір оптимальної температури теплоносія є ключовим елементом будь-яких заходів енергоефективності. Якщо це відбувається автоматично з урахуванням як зовнішньої температури, так і внутрішніх факторів, то отримаємо максимальну ефективність [18]. Крім того, це дозволяє синхронізувати перехід різних контролерів А і Н з режиму опалення, в режим охолодження й навпаки. Далі, залежно від режиму, контролер топкової Н керує запуском джерел теплоти N та «холоду» O, та перемиканням відповідних клапанів M. Додатково за відомими внутрішньою температурою та відотною вологістю повітря, контролер Н насосно-змішувальної групи може корегувати температуру холодоносія так, щоб уникнути точки роси – тобто це ще один ступінь безпеки від появи конденсату [19]. Таким чином, впровадження сучасних рішень автоматизації забезпечує синергійний ефект – підвищення теплового комфорту, енергетичної ефективності та надійності експлуатації систем. Це підтверджує доцільність широкого використання поверхневого охолодження в сучасних будівлях та його значний потенціал у сфері енергоощадного та здорового будівництва [20], зокрема для пасивних будинків [21]. Крім того, подібні радіаційні системи опалення та охолодження через зменшення перепаду температури між теплоносієм і повітрям добре суміщуються з тепловими насосами [22], що додатково підвищує ефективність системи.

Висновки. Проведений аналіз засвідчив, що ефективність систем поверхневого охолодження безпосередньо залежить від інтегрування високотехнологічної автоматики. Встановлено, що контроль як повітряної, так і променевої складових теплового середовища є необхідною умовою для відтворення параметрів, наближених до реальних відчуттів людини. Реалізація функції автобалансування дозволяє автоматично адаптувати систему до змінних теплових навантажень у приміщеннях з різною орієнтацією та експлуатаційними режимами, що усуває потребу в ручних перенаштуваннях. Важливим аспектом є захист від локального дискомфорту та пошкодження оздоблювальних матеріалів шляхом контролю температури поверхні підлоги, а також запобігання конденсації завдяки інтегрованому моніторингу вологості. Досвід застосування системи Uponor Smatrix Pulse продемонстрував можливість використання прогнозних алгоритмів, що враховують зовнішні кліматичні фактори та поведінкові сценарії користувачів. Таким чином, впровадження сучасних рішень автоматизації забезпечує синергійний ефект – підвищення теплового комфорту, енергетичної ефективності та надійності

експлуатації систем. Це підтверджує доцільність широкого використання поверхневого охолодження в сучасних будівлях та його значний потенціал у сфері енергоощадного та здорового будівництва.

References

1. Abedin, Tarek, et al. "Advancing Comfort and Efficiency: Radiant Heating and Cooling Systems for Sustainable Architecture." *Building and Environment*, vol. 282, Aug. 2025, p. 113234. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113234>.
2. "ANSI/ASHRAE Standard 55-2020. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." ASHRAE, 2020.
3. "EN 16798-1:2019. Energy Performance of Buildings – Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance." CEN, 2019.
4. "ISO 11855-1:2021. Building Environment Design – Embedded Radiant Heating and Cooling Systems – Part 1: Definitions, Symbols and Comfort Criteria." ISO, 2021.
5. "ISO 11855-2:2021. Building Environment Design – Embedded Radiant Heating and Cooling Systems – Part 2: Determination of the Design Heating and Cooling Capacity." ISO, 2021.
6. "ANSI/ASHRAE 55 Addendum e-2021. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." ASHRAE, 2021.
7. "ANSI/ASHRAE 55 Addendum h-2022. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy." ASHRAE, 2022.
8. "EN ISO 52016-1:2022. Energy Performance of Buildings – Energy Needs for Heating and Cooling." CEN/ISO, 2022.
9. "Uponor. Smatrix Style – Room Thermostat." Uponor, 2020.
8. Duarte, Carlos, et al. "Optimizing Radiant Systems For Energy Efficiency and Comfort." Presentation. CBE, <https://cbe.berkeley.edu/wp-content/uploads/2021/11/Duarte-Nov-2021-CBE-radiant-systems.pdf>.
11. "EN 1264-3:2021. Water-Based Surface Embedded Heating and Cooling Systems – Part 3: Dimensioning." CEN, 2021.
12. "ISO 11855-5:2021. Building environment design – Embedded radiant heating and cooling systems – Part 5: Installation." ISO, 2021.
13. Lim, J.-H., and Kwang-Woo K. "ISO 11855 - The International Standard on the Design, Dimensioning, Installation and Control of Embedded Radiant Heating and Cooling Systems." *REHVA Journal*, vol. 53, no. 1, Jan. 2016, <https://web.archive.org/web/20250210040328/https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/iso-11855-the-international-standard-on-the-design->

dimensioning-installation-and-control-of-embedded-radiant-heating-and-cooling-systems, pp. 46–53, <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/iso-11855-the-international-standard-on-the-design-dimensioning-installation-and-control-of-embedded-radiant-heating-and-cooling-systems>.

14. Do, Hung Q., et al. “Development and Thermal Performance Testing of Radiant Conditioning Ceiling Panels.” *Architectural Science Review*, vol. 68, no. 3, May 2025, pp. 175–86. <https://doi.org/10.1080/00038628.2024.2381715>.
15. “BS 8203:2017. Resilient Floor Coverings – Code of Practice for the Installation of Resilient Floor Coverings.” BSI, 2017.
16. Simsek, Eylul, et al. “Dropwise Condensation Reduces Selectivity of Sky-Facing Radiative Cooling Surfaces.” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 198, Dec. 2022, p. 123399. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123399>.
17. “Uponor. Smatrix Pulse – System Overview.” Uponor, 2020.
18. “ANSI/ASHRAE 55 Addendum j-2023. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.” ASHRAE, 2023.
19. “ISO 11855-6:2018/Amd 1:2021. Building Environment Design – Control of Dynamic Systems.” ISO, 2021.
20. Zheng, Xinyao, et al. “A Thermoelectric Device with Flexible Convective and Radiant Cooling in Built Environment.” *Cell Reports Physical Science*, vol. 6, no. 3, Mar. 2025, p. 102472. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.102472>.
21. Pohosov, O. Et al. “Passive individual residential building overview and concept for a continental temperate climate”. *Architectural Studies*, Vol. 2, Iss. 10, 2024, pp. 14-24. <https://doi.org/10.56318/as/2.2024.14>.
22. Shapoval, O., Chepurna, N., & Kirichenko, M. “An analysis of effectiveness of air heat pump operation dependent on change of external air temperature”. *Ventilation, Illumination and Heat Gas Supply*, Vol. 37, 2021, pp. 24–30. <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.24-30>

УДК 697.94:681.5

postgraduate student **Yuri Volokh**

volokh_yl-2024@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0000-7599-970X

associate professor **Mykhailo Kyrychenko**

kyrychenko.ma@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3651-3153

Kyiv National University of Construction and Architecture

<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.54.30-38>

INFLUENCE OF CONTROLS ON THE EFFICIENCY OF RADIANT COOLING IN ACHIEVING THERMAL COMFORT

Abstract. *Radiant cooling implemented through ceilings, walls or floors is considered a promising alternative to conventional air-conditioning systems due to its combination of high comfort levels and reduced energy consumption. This study analyzes the physical processes that determine the indoor microclimate in spaces with radiant cooling: heat exchange with air, radiation from building envelopes, and heat transfer through floor contact. It is shown that the efficiency of surface cooling systems directly depends on the integration of high-tech automation. It has been established that control of both the air and radiation components of the thermal environment is a necessary condition for reproducing parameters close to real human sensations. The auto-balancing function allows the system to automatically adapt to variable thermal loads in rooms with different orientations and operating modes, eliminating the need for manual adjustments. An important aspect is protection against local discomfort and damage to finishing materials by controlling the floor surface temperature, as well as preventing condensation through integrated humidity monitoring. Experience with the Uponor Smatrix Pulse system has demonstrated the potential of using predictive algorithms that take into account external climatic factors and user behaviour scenarios. Thus, the implementation of modern automation solutions provides a synergistic effect – increased thermal comfort, energy efficiency and operational reliability of systems. This confirms the feasibility of widespread use of surface cooling in modern buildings and its significant potential in the field of energy-efficient and healthy construction.*

Keywords: radiant cooling, heat exchange, controls, temperature.

Received/Надійшла до редакції 15.09.2025

Reviewed/Рецензована 04.11.2025

Accepted/Прийнята 26.11.2025