

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.536.55

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.316-325](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.316-325)**О. О. Бойко**, доц, канд. техн. наук, **Є. К. Воскобойник**,**Є. В. Кошеленко**, доц, канд. техн. наук,*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна**e-mail: voskoboinyk.ye.k@ntu.one*

Дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку з використанням децентралізованої системи в умовах обмеженого електропостачання

Виконано удосконалення моделі теплового обміну у будинку, та запропоновано ефективний спосіб досягнення бажаних показників мікроклімату у відповідній зоні за мінімізації витрат енергоресурсів. Підтримка мінімально допустимої температури у будинку за рахунок системи водяного опалення та використання окремого джерела тепла з широким діапазоном керування для підтримки у ній теплового комфорту. Запропоновано методи зменшення використання енергоресурсів.

тепловий комфорт, мікроклімат, прогнозована середня оцінка PMV, децентралізована система керування, інтернет речей, двопозиційний регулятор

Постановка проблеми. Опалення приміщень є найбільшим кінцевим споживачем енергоресурсів у світі. За даними Міжнародного енергетичного агентства 2021 року на нього припадає 66 %, 37 % та 54 % в Європі, Сполучених Штатах Америки та Китайській Народній Республіці відповідно [1]. У Федеративній Республіці Німеччина на 2020 рік розподіл енергоресурсів на опалення мав вигляд [2]: природний газ 49,5 %, мазут 25 %, центральне опалення 14,1 %, електроенергія 2,6 %, теплові насоси 2,6 %, інші джерела 6,2 %. Перепис 2022 року підтвердив, що три чверті всіх помешкань у Німеччині опалюються газом або мазутом [3], що також відповідає загальним тенденціям присутнім в Європейському Союзі [4]. Досліди світового ринку опалювального обладнання показують, що такий стан речей буде зберігатися як найменше до 2030 року [5], при цьому з урахуванням продажів електричних, пелетних і біопаливних котлів, сонячних колекторів та теплових насосів найбільш поширеними протягом наступного десятиліття будуть заставатися водяні системи.

Суттєве зменшення витрат приватного домогосподарства може бути досягнуто за рахунок економії енергоресурсів при його опаленні, а найбільш перспективним напрямком у цьому є удосконалення водяних систем. Керування у таких системах відбувається автоматикою котла або зовнішньою автоматикою.

У першому випадку зворотній зв'язок реалізується за температурою теплоносія – води. Недоліком таких систем є відсутність контролю температури у приміщеннях, що може призвести до замерзання системи опалення або зайвих витрат енергоресурсів.

У другому випадку встановлюється кімнатний термостат, регулятор або погодозалежний контролер. Кімнатний термостат забезпечує підтримку температури у заданій точці приміщення, що у загальному випадку зменшує енерговитрати. Недоліком цього рішення є відсутність регулювання потужності котла. Кімнатний регулятор виконує функції термостату однак на відміну від нього формує не дискретний, а безперервний

запит потужності котла. Таке рішення залежить від виробника, має більшу вартість та не має великого попиту серед користувачів. Погодозалежний контролер забезпечує реагування відповідно до зміни зовнішньої температури, що на значних перепадах зменшує енерговитрати та запобігає замерзанню системи опалення. Окрім того у залежності від реалізації такий контролер може виконувати функції як кімнатного термостата так і регулятора.

Безпосередня зміна теплового потоку у конкретному приміщенні багатокімнатного будинку зазвичай забезпечується термостатичними клапанами. В якості пристроїв керування яких використовуються термостатичні головки, приводи термоелектричні або сервоприводи. Головними недоліками такого рішення є низька точність $\pm 2^\circ\text{C}$, необхідність постійного регулювання та надійність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання теплового комфорту людини є предметом численних наукових досліджень, у яких це явище розглядається як багатofакторна функція, що залежить як від зовнішніх фізичних умов, так і від фізіологічних характеристик організму. У науковій літературі запропоновано ряд моделей, які враховують реакцію людини на комплекс зовнішніх впливів, що формують суб'єктивне відчуття комфорту або дискомфорту в середовищі [6,7].

Однією з найпоширеніших і визнаних моделей є модель прогнозованої середньої оцінки – PMV (Predicted Mean Vote), яка використовується для кількісного оцінювання теплового стану людини в конкретних мікрокліматичних умовах. У межах цієї моделі тепловий комфорт визначається шістьма основними параметрами:

- температурою повітря,
- середньою радіаційною температурою,
- швидкістю руху повітря,
- відотною вологістю повітря,
- теплоізоляційними властивостями одягу,
- рівнем фізичної активності (метаболічною теплопродукцією).

Вказані чинники лягли в основу міжнародних і національних стандартів [8-10], що регламентують мікрокліматичні вимоги до житлових і робочих приміщень. Врахування цих змінних дозволяє забезпечити більш об'єктивну та адаптивну систему керування умовами теплового середовища.

Проте аналіз існуючих апаратних засобів контролю мікроклімату свідчить про те, що більшість із них орієнтовані лише на вимірювання температури повітря та відотної вологості. Як приклад, у роботі «Автоматизація процесів керування мікрокліматом житлових приміщень» З. Микитюк, О. Шимчишин, А. Зворський, Д. Марків [11] розглядається актуальне завдання підвищення ефективності та оптимізації процесів керування мікрокліматом у житлових приміщеннях. Основною метою дослідження є розроблення автоматизованої системи, що забезпечує точне налаштування та стабільний контроль основних параметрів мікроклімату. Реалізація такої системи сприятиме покращенню умов теплового комфорту для користувачів, а також підвищенню енергоефективності функціонування інженерних мереж житлових об'єктів. Але таке обмежене уявлення про стан мікроклімату є недостатнім для повноцінної оцінки теплового комфорту людини. Зокрема, параметри метаболізму та теплоізоляції одягу, які мають суттєвий вплив на теплове самопочуття, часто ігноруються. Подібний підхід може бути виправданий у випадках регулювання умов для неживих об'єктів, таких як продукти чи рослини, однак у контексті забезпечення комфортного середовища для людини є неприпустимим. Ігнорування цих чинників може призводити до зниження ефективності терморегуляції, погіршення самопочуття та зменшення продуктивності.

Постановка завдання. Метою роботи є синтез та дослідження автоматизованої системи керування тепловим комфортом у багатозонному житловому середовищі, яка дозволить забезпечити зниження енерговитрат на опалення при обмежених енергетичних ресурсів, за рахунок використання інноваційного підходу керування мікрокліматом на підставі прогнозованої середньої оцінки PMV та децентралізованого керування.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні одним із найпоширеніших рішень у сфері опалення багатокімнатних житлових будинків є використання систем з водою як теплоносієм. Однак такі системи мають суттєвий недолік – необхідність підтримки однакової температури у всіх приміщеннях, що унеможливорює індивідуальне керування тепловим комфортом для кожної зони. Існуючі засоби автоматичного регулювання, такі як термостати, термостатичні клапани, погодозалежні контролери тощо, забезпечують лише часткову адаптацію до змін зовнішніх та внутрішніх умов і не гарантують високої точності підтримки індивідуального теплового комфорту.

В умовах зростання вимог до енергоефективності та комфорту постає необхідність у створенні більш гнучких систем керування мікрокліматом, здатних адаптуватися до змін навантаження та енергоресурсів, зокрема в умовах обмеженого електропостачання. Актуальним є дослідження можливості поєднання водяної системи опалення із локальними електричними обігрівачами, керованими децентралізовано, з урахуванням пріоритетів зон та поточних відхилень температури.

Модель для дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку побудована на підставі прикладу “House Heating System” математичного пакету MATLAB R2024b [12]. Будинок поділено на чотири однакові кімнати загальною площею 100 м² та висотою 2,5 м. У кожній кімнаті знаходиться по вікну площею 2,25 м² та радіатору площею 5 м². Дах будинку плоский. Температура навколишнього середовища 5 °С, початкова температура у будинку 10 °С, уставка температури системи водяного опалення 16 °С. Замість двопозиційного регулятора у системі використано пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор). У кожен кімнату додано зону теплового комфорту з електричним обігрівачем (табл. 1). Вплив температури у зоні комфорту на загальну температуру повітря у кімнаті складає 20 % від перепаду. Остання використовується для розрахунку середньої температури у будинку.

Значення параметрів для розрахунку дійсної прогнозованої середньої оцінки PMV відповідають: тип одягу 1,05 кло, швидкість обміну речовин 1,20 мет, середня температура випромінювання 25 °С, відносна швидкість повітря 0,1 м/с, початкова відносна вологість 40 %. Для обмеженої прогнозованої середньої оцінки PMV тип одягу становить 1,00 кло.

Таблиця 1 – Налаштування зони теплового комфорту

Кімната 1		Кімната 2		Кімната 3		Кімната 4	
Уставка PMV	Потужність обігрівача, Вт	Уставка PMV	Потужність обігрівача, Вт	Уставка PMV	Потужність обігрівача, Вт	Уставка PMV	Потужність обігрівача, Вт
-0,1	1600	-0,2	1500	-0,1	1100	-0,2	500

Джерело: Розроблено авторами

Удосконалена модель теплового обміну у будинку наведена на рисунку 1.

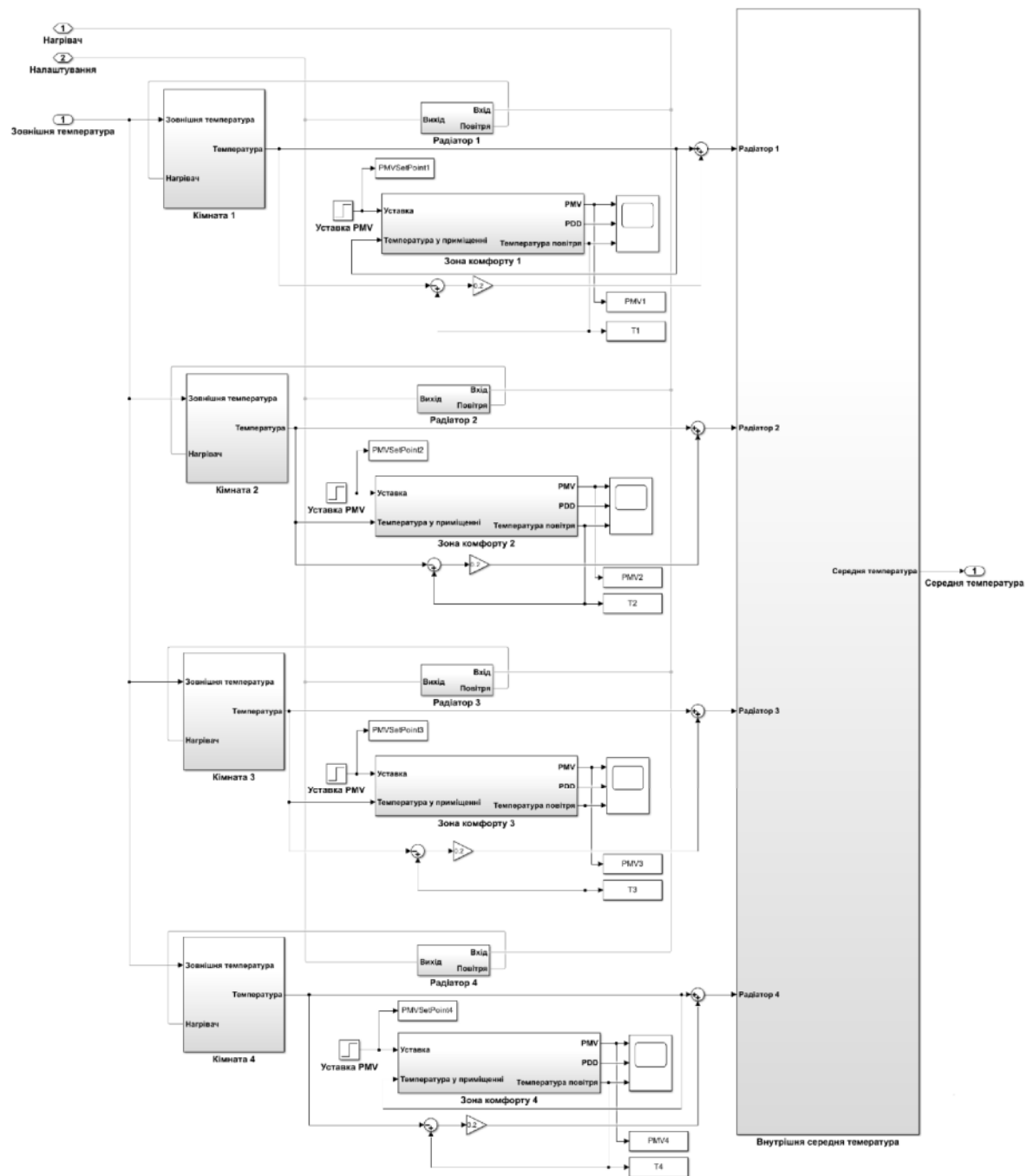


Рисунок 1 – Удосконалена модель теплового обміну у будинку

Джерело: розроблено авторами

Перевірка функціонування моделі для дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку показала (рис. 2), що початкова температура становить 10 °С. Система керування водяним опаленням на базі ПІ-регулятора підіймає загальну температуру до 16 °С. Через годину від початку прогріву будинку вмикається система керування тепловим комфортом у першій кімнаті з уставкою -0,1. Ще через півгодини вмикаються системи керування тепловим комфортом у другій та четвертій кімнатах з уставками -0,2. Після чого вмикається остання система керування з уставкою -0,1. Усі системи керування тепловим комфортом підтримують прогнозовану середню оцінку PMV на рівні уставки або близько до нього. В останньому випадку статична помилка пов'язана з триразово меншою потужністю нагрівача за однакових

налаштувань двопозиційного регулятора в усіх зонах комфорту. Таким чином отримана модель багатокімнатного будинку може бути використана при дослідженні процесу керування тепловим комфортом.

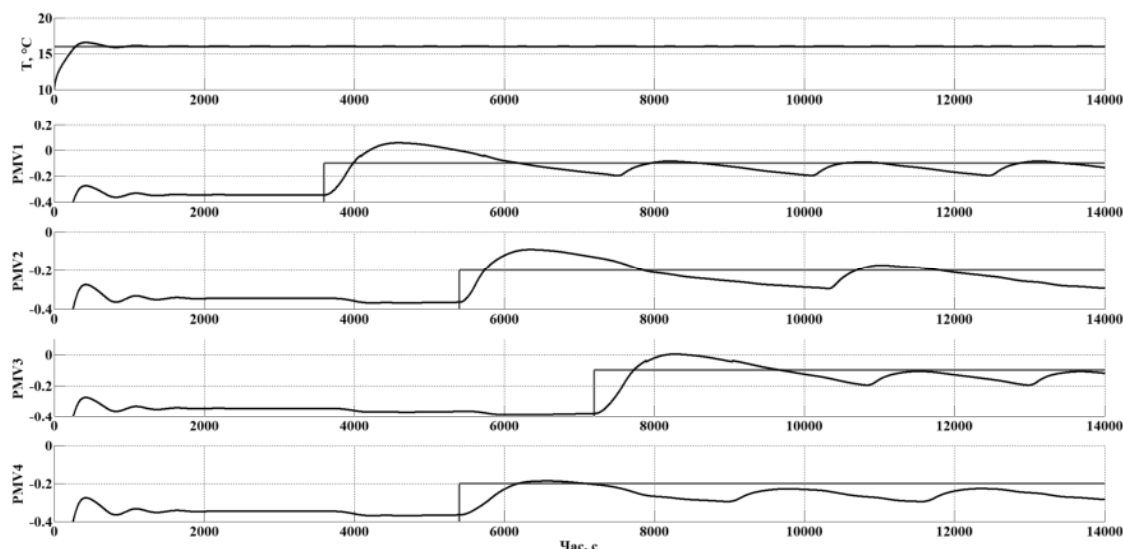


Рисунок 2 – Результат перевірки функціонування моделі для дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку

Джерело: розроблено авторами

Для визначення можливості зменшення енергетичних витрат за рахунок керування тепловим комфортом у заданих зонах необхідно встановити обсяг останніх:

$$Q_{3K} = Q_{TPMV} - Q_{PMV}, \quad (1)$$

де Q_{3K} – витрати енергії на підтримку зон комфорту, Вт; Q_{TPMV} – витрати енергії за підтримки температури відповідної до рівня прогнозованої середньої оцінки PMV, Вт; Q_{PMV} – витрати енергії за наявності керування тепловим комфортом.

За результатами дослідження впливу теплового комфорту на витрати енергоресурсів встановлено, що для загальної підтримки прогнозованої середньої оцінки PMV у будинку на рівні -0,1 необхідно витрати 53,79 кВт·год. відповідно до часу моделювання, що на 23,16 % більше за використання зон теплового комфорту, а для підтримки -0,2 достатньо 48,75 кВт·год, що відповідно більше на 11,62 % (табл. 2). Таким чином підтримка зон теплового комфорту у будинку дозволяє зменшити витрати енергоресурсів по відношенню до використання термостатів, контролерів, термостатичних клапанів та інших пристроїв за рахунок зменшення площ підвищеної температури та реалізації локального регулювання ними.

Таблиця 2 – Результати дослідження впливу теплового комфорту на витрати енергоресурсів

Назва параметра	Середня температура у будинку			Середня температура у будинку 16 °С, підтримка теплового комфорту відповідно до табл. 1	Δ
	16 °С	17 °С	18 °С		
Масова витрата, кг	3,730	4,160	4,590	3,630	0,100
Природний газ, м³	4,140	4,621	5,099	4,029	0,111
Енергія, кВт·год.	43,677	48,752	53,794	42,506	1,171

Джерело: розроблено авторами

При використанні значних споживачів електроенергії виникає проблема пов'язана з обмеженістю потужності мережі. На відміну від газопроводів низького тиску, які зазвичай забезпечують $10\div 24$ кВт, електрична мережа надає $3,5\div 7,0$ кВт. Враховуючи інші побутові прилади у будинку та пікові навантаження максимальна вільна електрична потужність складає біля 3,0 кВт. Таким чином для раніше розглянутого випадку (табл. 1) за умови роботи усіх обігрівачів загальна споживана потужність становить 4,7 кВт, що призведе до перенавантаження, вимикання або руйнування електромережі. Для рішення цієї проблеми може бути використана централізована або децентралізована система керування. Остання у даному випадку має суттєві переваги пов'язані з можливістю легкого додавання і вилучання елементів системи та розподілу між ними ресурсів – доступної електричної потужності без участі додаткового обладнання. Відповідно до цього на підставі структури системи керування тепловим комфортом розроблено модель децентралізованого контролера двопозиційного регулятора призначену для керування обігрівачем на підставі запиту регулятора та обмежень наявної потужності. Параметри моделі наведені на рисунку 3.



Рисунок 3 – Параметри децентралізованого контролера двопозиційного регулятора системи керування тепловим комфортом

Джерело: розроблено авторами

У якості налаштувань децентралізованого контролера двопозиційного регулятора виступають: унікальний ідентифікатор, пріоритет доступу до потужності, максимальна допустима потужність для усіх зон теплового комфорту разом, потужність обігрівача відповідної зони комфорту, максимальний інтервал робочого часу протягом якого система керування буде використовувати отриману потужність. Вхідних параметрів: дозвіл на роботу системи керування, запити потужності від усіх наявних зон теплового комфорту, помилка системи керування, запит двопозиційного регулятора на включення або виключення обігрівача, годинник реального часу. Вихідних параметрів: керування обігрівачем, запит потужності. Останній складається з: унікального ідентифікатора, пріоритету доступу до потужності, помилки системи керування, потужності обігрівача, поточного режиму роботи системи керування зони теплового комфорту – очікування у черзі наявності вільної потужності або відпрацювання інтервалу робочого часу.

У процесі роботи кожний контролер обробляє запити потужності від усіх систем керування зонами теплового комфорту. На початку з максимальної допустимої видається потужність, що вже використовується. Далі видається потужність запитана системами керування з більш високим пріоритетом. За наявності систем з таким самим пріоритетом видається потужності з більшим значенням помилки керування. За однакової помилки керування більший пріоритет отримує система з

меншим унікальним ідентифікатором. У результаті розраховується значення потужності доступної даній системі керування. За наявності достатньої потужності контролер вмикає обігрівач та переходить до відпрацювання інтервалу робочого часу. По запиті двопозиційного регулятора на виключення обігрівача або закінченню робочого інтервалу часу контролер вимикає обігрівач та звільняє потужність. Графічна реалізація алгоритму функціонування децентралізованого контролера двопозиційного регулятора системи керування тепловим комфортом наведена на рисунку 4.

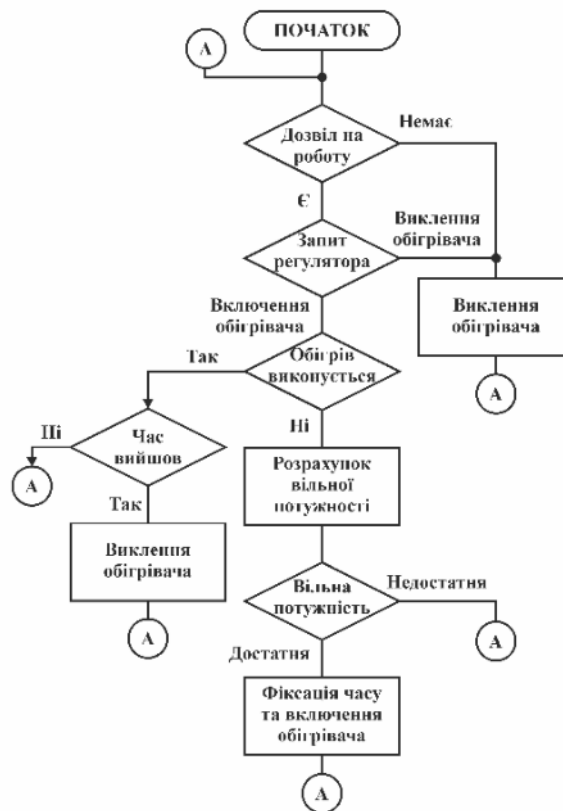


Рисунок 4 – Алгоритм функціонування децентралізованого контролера двопозиційного регулятора системи керування тепловим комфортом

Джерело: розроблено авторами

Використовуючи розглянутий контролер двопозиційного регулятора (рис. 3, 4) на базі удосконаленої моделі теплового обміну (рис. 1) розроблена модель децентралізованого керування зонами теплового комфорту у багатокімнатному будинку, налаштування якої наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Налаштування децентралізованої системи керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку

Назва параметра	Ідентифікатор	Пріоритет	Максимальна потужність, Вт	Потужність нагрівача, Вт	Інтервал часу роботи, с
Зона комфорту 1	1	1	3000	1600	60
Зона комфорту 2	2	2	3000	1500	60
Зона комфорту 3	3	2	3000	1100	60
Зона комфорту 4	4	3	3000	500	90

Джерело: розроблено авторами

Результат перевірки функціонування децентралізованої системи керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку наведено на рисунку 5. Усі зони починають функціонувати одночасно, рівень потужності протягом усього часу не перевищує обмеження. На початку потужність захоплюється 4 зоною, яка має найвищий пріоритет та 3 зоною, яка має наступний пріоритет та більшу за 2 зону помилку керування (рис. 6). Загальна споживана потужність становить 1600 Вт, що не дає можливості обігрівати 1 та 2 зони.

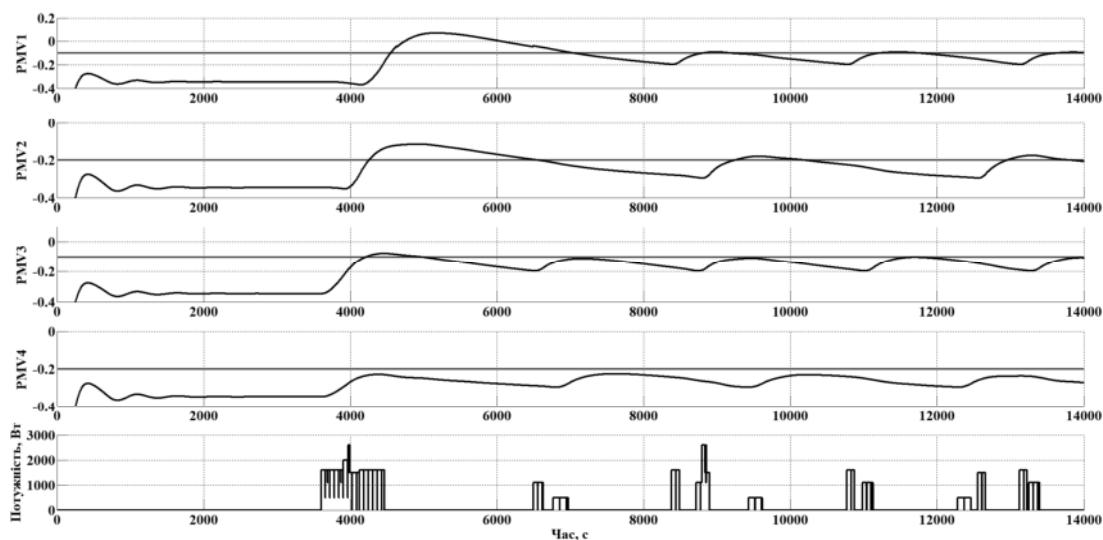


Рисунок 5 – Результат перевірки функціонування децентралізованої системи керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку

Джерело: розроблено авторами

Зменшення помилки керування у 3 зоні призводить до захоплення потужності 2 та 4 зонами з загальним споживанням 2000 Вт. Досягнення бажаного значення у 4 зоні призводить до захоплення потужності 2 та 3 зонами з загальним споживанням 2600 Вт. По закінченню нагріву 2 та 3 зони вмикається обігрівач 1 зони потужністю 1600 Вт.

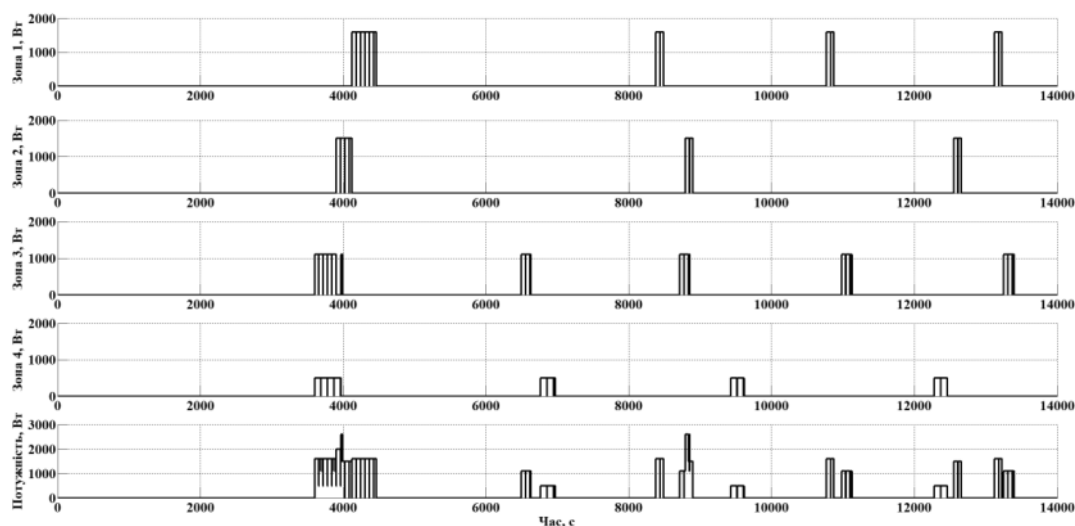


Рисунок 6 – Керування обігрівачами відповідно до зон теплового комфорту

Джерело: розроблено авторами

Використання децентралізованої системи керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку призводить до незначного перерозподілу витрат

енергоресурсів між системою водяного опалення 42,370 кВт·год. та електричним опаленням окремих зон 1,307 кВт·год. Таким чином розроблена система керування дозволяє вирішити проблему зменшення енерговитрат за умов обмеженого електропостачання.

На сьогодні найпростіша та найзручніша реалізація запропонованої децентралізованої системи керування передбачає використання принципів побудови інтернет речей. Таке рішення дозволяє організувати безпроводний зв'язок між усіма системами керування зонами теплового комфорту, дистанційну зміну налаштувань і контроль за опаленням та може бути легко інтегроване у вже існуючі системи.

Висновки. 1. Аналіз існуючих рішень опалення багатокімнатних будинків показав, що найбільш розповсюдженим є використання систем з водою у якості теплоносія. Головний недолік таких систем необхідність підтримки ними загальної температури у всіх кімнатах будинку. Використання термостатів, регуляторів, погодозалежних контролерів та термостатичних клапанів призводить до зменшення енерговитрат однак не забезпечує достатню точність керування тепловим комфортом.

2. Для дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку на базі прикладу “House Heating System” математичного пакету MATLAB R2024b розроблена удосконалена модель. в якій замість двопозиційного керування системою водяного опалення використано безперервне на базі пропорційно-інтегральний регулятор та додано чотири зони теплового комфорту.

3. За результатами дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку встановлено, що використання системи водяного опалення для підтримки загальної температури та електричних обігрівачів в обраних зонах дозволяє зменшити енерговитрати по відношенню до підтримки загальних комфортних умов тільки системою.

4. В умовах обмеженого електропостачання керування обігрівом окремих зон може забезпечуватися децентралізованою системою для чого розроблено децентралізований контролер двопозиційного регулятора системи керування тепловим комфортом. Така система розподіляє наявну електричну потужність між усіма споживачами за пріоритетом та помилкою керування.

5. Дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку з використанням децентралізованої системи показало, що запропонований підхід дозволяє знизити витрати енергоресурсів навіть за умов обмеженого електропостачання. Використання помилки керування для уточнення пріоритету підвищує якість підтримки теплового комфорту.

Список літератури

1. Yu F. et al. Techno-economic analysis of residential building heating strategies for cost-effective upgrades in European cities. *iScience*. 2023. P. 107541. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107541> (дата звернення: 31.01.2025).
2. Heating energy for a cosy home. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. URL: <https://is.gd/0I0cgU> (дата звернення: 31.01.2025).
3. 2022 Census: three-quarters of all dwellings heated by oil or gas – Zensus 2022. *Zensus 2022*. URL: <https://is.gd/89tjB6> (дата звернення: 31.01.2025).
4. Heating systems and their energy use. *REHVA Journal*. URL: <https://is.gd/nglb17> (дата звернення: 31.01.2025).
5. Heating equipment size, share & industry forecast 2034. *Market Research Future*. URL: <https://is.gd/NmEbsw> (дата звернення: 31.01.2025).
6. Prek M. Exergy analysis of thermal comfort. *International Journal of Exergy*. 2004. Vol. 1, № 3. P. 303. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijex.2004.005559> (дата звернення: 18.06.2025).
7. Возняк О. Т. Вплив параметрів внутрішнього мікроклімату приміщення на теплообмін людини. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 662. С. 84–88.
8. ISO 7730:2005 (E). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 3rd ed. 2005-11-15.

9. BS EN ISO 7726:2001. Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. British Standards, 2001. 62 p. [Execute Date 2001/11/6].
10. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ергономiка теплового середовища. Аналітичне визначення та iнтерпретацiя теплового комфорту на основi розрахункiв показникiв PMV i PPD i критерiїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2011, IDT). Київ : Мiнрегiон України, 2012. 64 с. (Чинний вiд 01.07.2013).
11. Mykytyuk Z., Shymchyshyn O., Zvorskyi A., Markiv D. Automation of microclimate control processes in residential premises. *Information and Communication Technologies, Electronic Engineering*. 2024. Vol. 4 (1). P. 155–162. DOI: <https://doi.org/10.23939/ictee2024.01.155>
12. House heating system. *MathWorks*. URL: <https://is.gd/PFK6aB> (дата звернення: 31.01.2025).

References

1. Yu, F., et al. (2023). Techno-economic analysis of residential building heating strategies for cost-effective upgrades in European cities. *iScience*, 107541. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107541>.
2. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2025, January 31). *Heating energy for a cosy home*. is.gd/0I0cgU.
3. Zensus 2022. (2025, January 31). *2022 Census: Three-quarters of all dwellings heated by oil or gas – Zensus 2022*. <https://is.gd/89tjB6>
4. REHVA Journal. (2025, January 31). *Heating systems and their energy use*. <https://is.gd/nglb17>
5. Market Research Future. (2025, January 31). *Heating equipment size, share & industry forecast 2034*. is.gd/NmEbsw.
6. Prek, M. (2004). Exergy analysis of thermal comfort. *International Journal of Exergy*, 1(3), 303. <https://doi.org/10.1504/ijex.2004.005559>.
7. Vozniak, O. T. (2010). *Influence of indoor microclimate parameters on human heat exchange*. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Theory and Practice of Construction*, (662), 84–88 [in Ukrainian].
8. International Organization for Standardization. (2005). *ISO 7730:2005 (E). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria* (3rd ed.).
9. British Standards Institution. (2001). *BS EN ISO 7726:2001. Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities* (62 p.).
10. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2012). *DSTU B EN ISO 7730:2011. Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (EN ISO 7730:2011, IDT)*. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. (Effective from 01.07.2013) [in Ukrainian].
11. Mykytyuk, Z., Shymchyshyn, O., Zvorskyi, A., & Markiv, D. (2024). Automation of microclimate control processes in residential premises. *Information and Communication Technologies, Electronic Engineering*, 4(1), 155–162. <https://doi.org/10.23939/ictee2024.01.155>.
12. MathWorks. (2025, January 31). *House heating system*. <https://is.gd/PFK6aB>.

Oleg Boyko, Assoc. Prof, PhD, **Yevhen Voskoboinyk**, **Yevhenii Koshelenko** Assoc. Prof, PhD
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Study of the Process of the Control of the Thermal Comfort in a Building with Several Rooms Under the Conditions of a Limited Energy Supply

The present research is concerned with the investigation of the process of regulating the heating system in a multi-room building, with a focus on the consideration of thermal comfort zones. Furthermore, the development of methodologies aimed at enhancing energy efficiency by maintaining the minimum permissible temperature is of significance. This objective is pursued by employing a combination of water heating with local heat sources exhibiting a substantial range of controllability.

The model of heat exchange in a building has been improved and an effective way of achieving the desired microclimate in the relevant zone, while minimising energy costs, has been proposed. Maintaining the minimum allowable temperature in the house through a water heating system and the use of a separate heat source with a wide range of control to maintain thermal comfort in the house. Methods to reduce energy consumption are proposed.

The findings of the study on the process of thermal comfort control in a multi-room house revealed that utilising a water heating system to maintain the overall temperature, in conjunction with electric heaters in designated zones, enables a reduction in energy consumption when compared to the energy consumption of the system alone when maintaining general comfortable conditions. In circumstances where electricity supply is constrained, the decentralised control system has been shown to facilitate zone-specific heating regulation by allocating available electrical power among all consumers based on priority and control error.

thermal comfort, microclimate, predicted average PMV, decentralised control system, internet of things, two-position controller

Одержано (Received) 18.07.2025

Прорецензовано (Reviewed) 31.07.2025

Прийнято до друку (Approved) 27.08.2025