

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ БАГАТОЗОНАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗІ ЗМІННИМ ПОТОКОМ ХОЛОДОАГЕНТУ

М.І. Мазуренко, Ю.Ю. Лисенко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».
03056, м. Київ, Берестейський проспект, 37. E-mail: j.lysenko@kpi.ua

У роботі розроблено дискретну просторово-часову математичну модель керування багатозональною системою кондиціювання зі змінним потоком холодоагенту (VRF-системою) з урахуванням зовнішніх теплових збурень, сонячних надходжень і теплопередачі через огорожувальні конструкції будівлі. Побудовано модель простору станів, що описує динаміку температур у двох незалежних зонах. Запропоновано структуру керування на основі балансу теплових потоків із логікою перемикавання між режимами нагріву та охолодження. Сформульовано квадратичний функціонал якості, що мінімізує відхилення температур від заданих значень і витрати енергії на керування. Проведено числове моделювання на основі погодинних кліматичних даних, за результатами якого температури у приміщеннях підтримуються в межах $\pm 0,5$ °C від встановлених і розраховане річне електроспоживання для забезпечення таких умов. Запропонована модель може слугувати основою для розробки систем прогнозуючого керування мікрокліматом в енергоефективних будівлях. Бібліогр. 10, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: VRF-система, керування, математична модель, тепловий баланс, багатозональне кондиціювання, оптимальне керування, енергоефективність

Вступ. Системи кондиціювання зі змінним потоком холодоагенту (VRF – Variable Refrigerant Flow) набули широкого застосування в будівлях різного призначення завдяки можливості незалежного регулювання температури в декількох зонах і високій енергоефективності [1]. На відміну від традиційних систем із постійною витратою холодоагенту, VRF-системи дозволяють адаптувати теплову потужність до поточного навантаження кожної зони, що суттєво знижує споживання електроенергії протягом опалювального та неопалювального сезонів.

Ефективність роботи VRF-систем значною мірою залежить від алгоритмів керування, які повинні враховувати: зовнішні кліматичні умови, теплові втрати через огорожувальні конструкції (стіни/вікна), внутрішні теплові надходження та змінні режими експлуатації [2, 3]. Останні дослідження за темою зосереджені на застосуванні різних підходів до моделювання та керування кліматичними системами. Проте більшість відомих моделей не враховують явно взаємний тепловий вплив між зонами та часто обмежуються однозонними схемами без урахування теплового балансу будівлі в контурі керування VRF-обладнанням [1, 2].

У зв'язку з цим актуальною є задача побудови математичних моделей керування, які адекватно описують динаміку температурних процесів у будівлях і дозволяють визначати оптимальне керування з метою мінімізації енергоспоживання.

Авторське право © Автор(и)
© Видавець ТОВ «ВИДАВНИЧИЙ ДІМ» ПАТОН», 2026
Ця стаття у відкритому доступі за ліцензією CC BY-NC-ND
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Метою роботи є розробка математичної моделі багатозональної VRF-системи та визначення підходу до керування, що забезпечує підтримання заданих температурних режимів при мінімізації енергоспоживання.

Для досягнення мети запропоновано такі завдання: побудова теплового балансу кожної зони з урахуванням взаємного теплообміну між зонами та із зовнішнім середовищем; визначення закону керування на основі логіки перемикавання режимів нагріву/охолодження; формулювання квадратичного функціоналу якості та оцінка ефективності керування; моделювання з використанням реальних кліматичних даних для м. Києва за 2023 р. Особливістю запропонованого підходу є врахування зовнішніх збурень у вигляді температури навколишнього середовища, теплових втрат через конструкції будівлі та сонячних надходжень.

Опис об'єкта керування. З метою аналізу розглянуто систему, що містить дві незалежні кімнати двоповерхового будинку з теплообміном через внутрішню стіну з іншими кімнатами та з навколишнім середовищем. План кімнат наведено на рис. 1.

У розрахунках прийнято, що вікна та двері зачинені та в кожній з кімнат встановлено по одному обігрівачу (кондиціонеру). Керуючими впливами є теплові потоки в кімнаті. Фізичні характеристики системи керування зведені в таблиці. Розглядається система, що складається з двох теплових зон із температурами T_1 і T_2 . Динаміка температур у кожній зоні описується на основі теплового балансу [2, 4]:

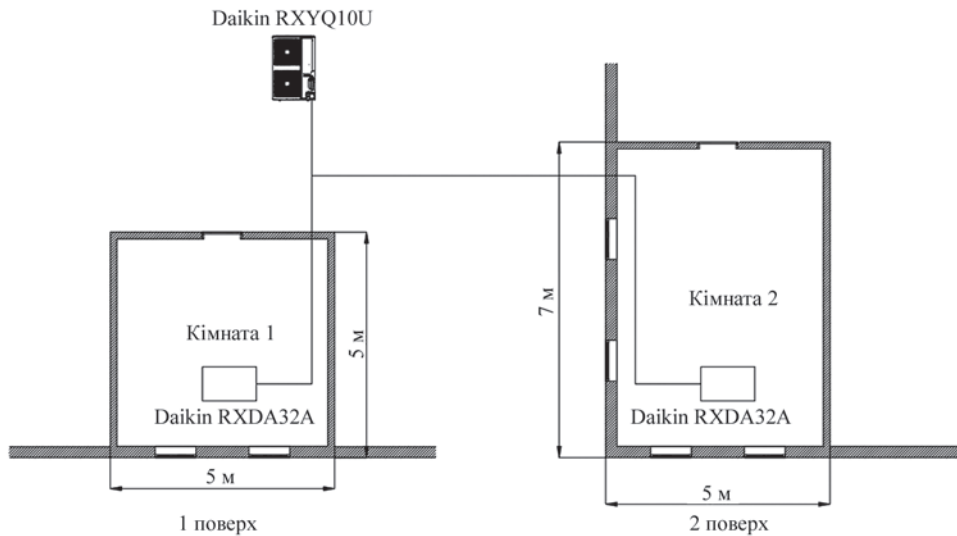


Рис. 1. План приміщень будинку із зазначенням теплообмінних поверхонь

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = Q_{sol,i} - Q_{los,i}(k) + Q_{VRF,i}(k), \quad (1)$$

де $Q_{sol,i}$ – зовнішні надходження, $Q_{los,i}(k)$ – теплові втрати, $Q_{VRF,i}(k)$ – вплив VRF-системи.

Теплові втрати моделюються через коефіцієнти теплопередачі, що містять втрати через стіни, вікна, дах і підлогу, а також теплообмін із суміжними зонами та зовнішнім середовищем [4]:

$$Q_{los,i}(k) = K1_i(T_i - T_{out}(k)) + K2_i(T_i - T_{bld}), \quad (2)$$

де $K1$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі для поверхні, через яку відбувається теплообмін назовні;

$$K1_i = U_{wall_in,i}S_{wall_out,i} + U_{win,i}S_{win,i} + U_{roof,2}S_{roof,2} + U_{floor,1}S_{floor,1}, \quad (3)$$

$K2$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі для поверхні, через яку відбувається теплообмін у середині будинку.

$$K2_i = U_{wall_in,i}S_{wall_in,i} + U_{floor,2}S_{floor,2} + U_{roof,1}S_{roof,1}, \quad (4)$$

Зовнішні надходження розраховують за формулою:

$$Q_{sol,i} = q_{win,i}S_{win,i}n_{win,i}. \quad (5)$$

Математична модель і структура керування.

На основі безперервної моделі було виконано дискретизацію з кроком часу, що відповідає одній годині, $\Delta t = 3600$ °C. У результаті отримано дискретну модель стану в просторі станів, яка має вигляд [6]:

$$x_{k+1} = A_d x(k) + B_d u(k) + E_d w(k), \quad (6)$$

де $x(k)$ – вектор станів, що містить температури зон:

$$x(k) = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$u(k)$ – вектор керуючих впливів системи кондиціонування:

$$u(k) = \begin{bmatrix} Q_{VRF,1}(k) \\ Q_{VRF,2}(k) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Керування системою реалізовано на основі логіки перемикання між режимами нагріву та охолодження залежно від відхилення температури від заданих значень. Логіка перемикання побудована на простому порівнянні фактичної температури в кожній зоні з уставкою. Якщо температура перевищує задане значення, то для відповідної зони активується охолодження, і керуючий вплив визначається як від’ємний тепловий потік. Якщо ж температура нижча за уставку, система переходить у режим нагріву та формується позитивний тепловий потік. Таким чином, кожен елемент вектора керування $u(k)$ безпосередньо залежить від знаку відхилення температури від уставки [7]:

$$Q_{VRF,i}(k) = \begin{cases} -Q_{cool,i}t_{work.c,i}(k), & T_i > T_{set} \\ Q_{heat,i}t_{work.h,i}(k), & T_i < T_{set} \end{cases}. \quad (9)$$

Величина керуючого впливу визначається через коефіцієнт завантаження системи, який розраховується на основі співвідношення між тепловими втратами та можливостями системи кондиціонування. Таким чином, керування має адаптивний характер і змінюється в часі залежно від поточного теплового стану будівлі:

$$t_{work.c,i}(k) = \frac{Q_{sol,i} - Q_{los,i}(k)}{Q_{cool,i}}, \quad (10)$$

$$t_{work.h,i}(k) = \frac{Q_{los,i}(k) - Q_{sol,i}}{Q_{cool,i}},$$

Вектор зовнішніх збурень $w(k)$ враховує:

Фізичні характеристики системи

Позначення змінної	Опис змінної	Значення змінної	
		Кімната 1	Кімната 2
$U_{wall_in,i}$	Коефіцієнт теплопередачі для внутрішніх стін	1,5	
$U_{wall_out,i}$	Коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін	0,3	
$U_{floor,i}$	Коефіцієнт теплопередачі для підлоги	0,4	0,3
$U_{roof,i}$	Коефіцієнт теплопередачі для стелі/даху	0,3	0,25
$U_{win,i}$	Коефіцієнт теплопередачі для вікон	1,1	
$q_{win,i}$	Коефіцієнт теплопритоку для вікон	0,6	
$n_{win,i}$	Кількість вікон	2	4
T_i	Задана температура для системи, °C	21	23
T_{out}	Температура навколишнього середовища	Погодинний графік температур для м. Києва [5]	
T_{bld}	Температура суміжних приміщень, з якими відбувається теплообмін, °C	18	
$Q_{heat,i}$	Потужність нагріву внутрішнього блоку (теплова енергія), Вт	4000	
$Q_{cool,i}$	Потужність охолодження внутрішнього блоку (теплова енергія), Вт	3600	
SEER	Сезонний показник енергоефективності теплового насоса при охолодженні	6,8	
SCOP	Сезонний показник енергоефективності теплового насоса при нагріванні	4,3	
$S_{wall_in,i}$	Площа внутрішніх стін, м ²	45	36
$S_{wall_out,i}$	Площа зовнішніх стін, м ²	12,4	30,8
$S_{floor,i}$	Площа підлоги, м ²	25	35
$S_{roof,i}$	Площа стелі/даху, м ²	25	35
$S_{win,i}$	Площа вікна, м ²	1,3	1,3
C_i	Теплоємність повітря в кімнаті, Дж/кг	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$

$$w(k) = \begin{bmatrix} T_1 - T_{out}(k) \\ T_2 - T_{out}(k) \\ Q_{sol,1} \\ Q_{sol,2} \\ T_1 - T_{bld} \\ T_2 - T_{bld} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

$$B_d = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{\Delta t}{C_2} \end{bmatrix}; \quad (13)$$

вплив зовнішніх факторів на систему відображає матриця E_d :

$$E_d = \begin{bmatrix} \frac{-K_1 \Delta t}{C_1} & 0 & \frac{\Delta t}{C_1} & 0 & \frac{-K_2 \Delta t}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{-K_1 \Delta t}{C_2} & 0 & \frac{\Delta t}{C_2} & 0 & \frac{-K_2 \Delta t}{C_2} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Внутрішню динаміку системи відображає матриця A_d :

$$A_d = \begin{bmatrix} 1 - \frac{K_1 \Delta t}{C_1} & 0 \\ 0 & 1 - \frac{K_2 \Delta t}{C_2} \end{bmatrix}; \quad (12)$$

вплив керування на систему відображає матриця B_d :

Така форма моделі є зручною для подальшого застосування методів оптимального керування та аналізу стійкості.

Результати моделювання. На рис. 2 наведено результати моделювання температур у зонах із урахуванням роботи системи керування. Графіки відо-

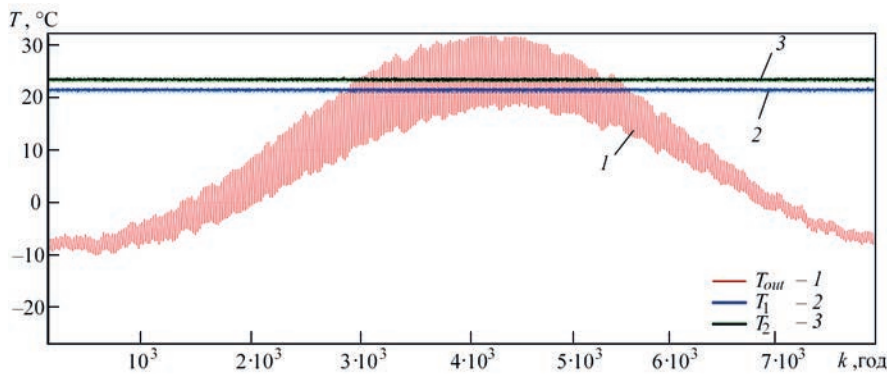


Рис. 2. Результати моделювання процесів термостабілізації у приміщеннях: 1 – зовнішня, 2 – кімната 1, 3 – кімната 2

бражують зміну температур у приміщеннях у часі під впливом як внутрішньої динаміки системи, так і керуючих впливів. З отриманих результатів видно, що температури в обох зонах підтримуються на заданому рівні. Це свідчить про ефективність реалізованого алгоритму керування, який компенсує теплові втрати та вплив зовнішніх збурень.

З метою оцінки точності керування визначено середньоквадратичну похибку відхилення температури від заданого значення для кожної зони окремо, яка за результатами річного моделювання склала 0,18 °C для першої кімнати та 0,22 °C для другої кімнати. Максимальне відхилення температури від встановленої в обох зонах не перевищує ±0,5 °C протягом усього року, що підтверджує достатню точність запропонованого алгоритму керування. Отримані значення похибок є прийнятними для задач підтримання теплового комфорту в будівлях відповідно до вимог стандарту [8].

Оцінку адекватності моделі, включаючи кількісне порівняння з експериментальними вимірюваннями реальних температурних режимів та енергоспоживання, буде проведено на етапі експериментальних досліджень.

Оптимальність у даній роботі визначається в рамках задачі мінімізації функціоналу якості, який має квадратичну структуру та враховує як точність підтримання температури, так і витрати енергії на керування. Оптимальне керування визначається як мінімум цього функціоналу на заданому часовому інтервалі [9]. У даній роботі функціонал якості застосовується як критерій оцінки ефективності роботи системи. Керування реалізовано на основі логіки перемикання між режимами нагріву та охолодження, тоді як функціонал J дозволяє кількісно оцінити якість такого керування:

$$J(k) = \sum_{k=0}^N ((x_{k+1} - x(k))^T Q (x_{k+1} - x(k)) + u(k)^T R u(k)) \quad (15)$$

Матриці Q та R у функціоналі якості (15) мають різні ролі та відображають пріоритети системи керування.

Матриця Q – це одинична матриця, яка однаково зважає відхилення температури (або інших станів системи) від заданих значень:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матриця R є ваговою матрицею витрат на керування. Оскільки в системі енергія вимірюється у Вт, а температура в °C, то для нормалізації масштабів приймаємо для матриці R наступні значення:

$$R = \begin{bmatrix} 0,0001 & 0 \\ 0 & 0,0001 \end{bmatrix}.$$

Рис. 3 показує, що значення функціоналу має коливальний характер із наявністю піків («зашумленості»). Такі піки зумовлені дискретним характером керування, тобто керуючий сигнал оновлюється з кроком в одну годину, що спричиняє стрибкоподібну зміну функціоналу в моменти перемикання режимів.

Оцінка якості системи показала, що значення функціоналу залишаються в обмежених межах без різкого зростання, що свідчить про стабільність роботи системи. Крім того, відсутність монотонного зростання функціоналу підтверджує, що керування не призводить до накопичення похибки. Середнє значення функціоналу на часовому інтервалі вказує на збалансоване співвідношення між точністю підтримки температури та витратами енергії. Таким чином, система демонструє здатність працювати в умовах змінного навантаження без втрати стабільності.

У моделі враховано також коефіцієнт енергоефективності системи (COP – coefficient of performance), який пов'язує споживану електричну потужність із тепловою потужністю системи [8, 10]:

$$P(k) = \frac{u(k)}{COP(k)}, \quad (16)$$

де $P(k)$ – споживання електроенергії в момент часу k , $COP(k)$ – коефіцієнт енергоефективності. Визначення COP залежить від умов:

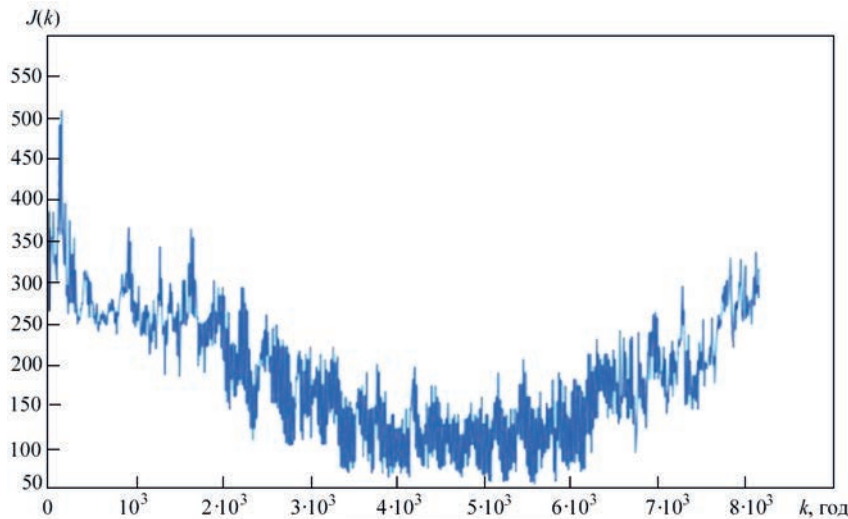


Рис. 3. Часова залежність функціоналу якості $J(k)$

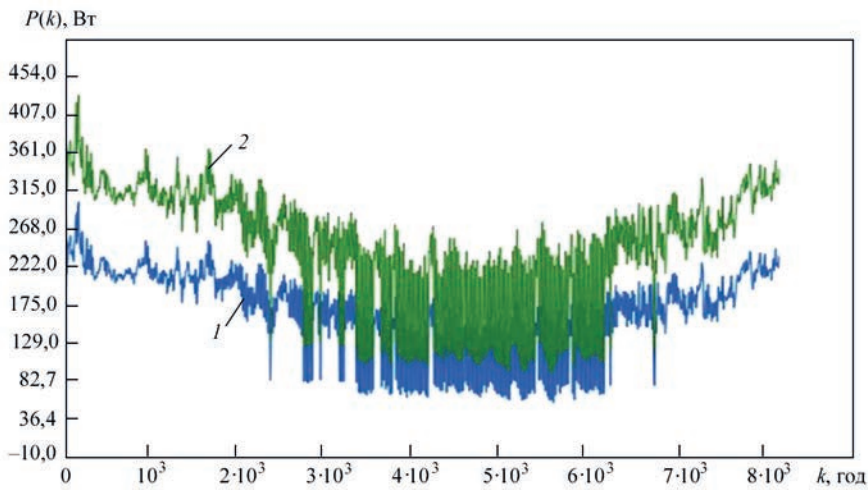


Рис. 4. Річне електроспоживання системи для двох кімнат у режимах опалення та охолодження: 1 – перша кімната; 2 – друга кімната

$$\text{COP}_i(k) = \begin{cases} \text{SEER}, & T_i > T_{\text{set}} \\ \text{SCOP}, & T_i < T_{\text{set}} \end{cases} \quad (17)$$

Результати річного споживання електроенергії системи наведено на рис. 4. Річне споживання $\sum_k^N P(k)$ для першої кімнати становить 1360 кВт·год, а для другої – 2020 кВт·год.

Висновки

Результати моделювання показали, що запропонована модель забезпечує стабілізацію температур у заданих межах при змінних зовнішніх умовах. Температури в приміщеннях демонструють плавну динаміку без значних коливань, що свідчить про адекватність обраного підходу до керування. Система автоматично адаптує рівень керуючих впливів залежно від величини теплових втрат і зовнішніх збурень. При зниженні зовнішньої температури збільшується інтенсивність нагріву, тоді як при її підвищенні активується охолодження.

Аналіз теплових потоків показав, що значення теплових втрат для кожної зони знаходяться в межах, притаманних будівлям подібного типу. Це підтверджує фізичну коректність побудованої моделі. Отримані значення керуючих впливів узгоджуються з тепловим балансом системи та забезпечують необхідну компенсацію втрат.

Наукова цінність запропонованої моделі полягає в тому, що модель подана у дискретній формі простору станів із явним урахуванням зовнішніх збурень (температури навколишнього середовища, сонячних надходжень і теплових втрат через огорожувальні конструкції). Крім того, багатозональна структура моделі дозволяє враховувати взаємний тепловий вплив між зонами через внутрішні стіни, а тепловий баланс будівлі інтегровано в контур керування VRF-системою, що забезпечує фізично коректне відображення динаміки теплових процесів.

Отримані результати підтверджують працездатність запропонованого підходу та можливість

його застосування для задач керування кліматичними системами в енергоефективних будівлях. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення моделі до більшої кількості зон, урахування повної нелінійної динаміки холодильного циклу, а також інтеграцію методів прогнозуючого керування для підвищення точності та енергоефективності системи.

Розроблена модель та підхід до керування VRF-системою дозволяють ефективно вирішувати задачу підтримки температурного режиму в багатозональних будівлях з урахуванням зовнішніх збурень. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальших досліджень і практичних впроваджень у сфері інтелектуальних систем керування мікрокліматом, зокрема в поєднанні з методами прогнозуючого керування (MPC) та алгоритмами машинного навчання.

Список літератури

1. Aynur, T.N. (2010) Variable refrigerant flow systems: A review. *Energy and Buildings*, 42(7), 1106–1112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.024>
2. Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., DeWitt, D.P. (2011) *Fundamentals of heat and mass transfer*. 7th ed. Hoboken, John Wiley & Sons.
3. Мазуренко М.І., Лисенко Ю.Ю. (2025) Автоматизація керування процесом кондиціонування із застосуванням систем зі змінним потоком холодоагенту. *Матеріали XXI Всеукр. наук.-практ. конф. «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»*. Київ, КПІ, 297–299.
4. Кривошеєв М.В., Кравець О.М., Сидоренко В.Г. (2024) Методи розрахунку теплових втрат і теплонакопичень у будівлях. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(1), 45–52. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v60i1.2897>
5. *Climate data for building simulation*. https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/UKR_Ukraine/index.html
6. Mayne, D.Q., Rawlings, J.B., Rao, C.V., Scokaert, P.O.M. (2000) *Constrained model predictive control: Stability and optimality*. *Automatica*, 36(6), 789–814. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(99\)00214-9](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(99)00214-9)
7. Vargas, S., Becerra, H.M., Hayet, J.-B. (2022) *MPC-based distributed formation control of multiple quadcopters with*

- obstacle avoidance and connectivity maintenance*. *Control Engineering Practice*, 119, 105054. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.105054>
8. ДСТУ EN ISO 52016-1:2022. *Енергоефективність будівель. Енергопотреби для опалення та охолодження, внутрішні температури і навантаження за явною та прихованою теплою. Ч. 1. Методики розрахунку*. Київ, ДП «УкрНДНЦ».
9. Lewis, F.L., Vrabie, D., Syrmos, V.L. (2012) *Optimal Control*. 3rd ed. Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118122631>
10. Çengel, Y.A., Boles, M.A. (2015) *Thermodynamics: An engineering approach*. 8th ed. New York, McGraw-Hill Education.

References

1. Aynur, T.N. (2010) Variable refrigerant flow systems: A review. *Energy and Buildings*, 42(7), 1106–1112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.024>
2. Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., DeWitt, D.P. (2011) *Fundamentals of heat and mass transfer*. 7th ed. Hoboken, John Wiley & Sons.
3. Mazurenko, M.I., Lysenko, Iu.Yu. (2025) Automation of air conditioning control using variable refrigerant flow systems. In: *Proceedings of the XXI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Efficiency and Automation of Engineering Solutions in Instrument Engineering»*, December 10–11, 2025, Kyiv, Ukraine. Kyiv, KPI, 297–299 [in Ukrainian].
4. Kryvosheiev, M.V., Kravets, O.M., Sydorenko, V.H. (2024) Methods for calculating heat losses and heat gains in buildings. *Refrigeration Engineering and Technology*, 60(1), 45–52 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v60i1.2897>
5. *Climate data for building simulation*. https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/UKR_Ukraine/index.html
6. Mayne, D.Q., Rawlings, J.B., Rao, C.V., Scokaert, P.O.M. (2000) *Constrained model predictive control: Stability and optimality*. *Automatica*, 36(6), 789–814. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(99\)00214-9](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(99)00214-9)
7. Vargas, S., Becerra, H.M., Hayet, J.-B. (2022) *MPC-based distributed formation control of multiple quadcopters with obstacle avoidance and connectivity maintenance*. *Control Engineering Practice*, 119, 105054. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.105054>
8. DSTU EN ISO 52016-1:2022. *Energy performance of buildings. Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads. Pt 1: Calculation procedures* (EN ISO 52016-1:2017, IDT; ISO 52016-1:2017, IDT) [in Ukrainian].
9. Lewis, F.L., Vrabie, D., Syrmos, V.L. (2012) *Optimal Control*. 3rd ed. Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118122631>
10. Çengel, Y.A., Boles, M.A. (2015) *Thermodynamics: An engineering approach*. 8th ed. New York, McGraw-Hill Education.

MATHEMATICAL MODEL OF ENERGY-EFFICIENT CONTROL OF A MULTI-ZONE AIR CONDITIONING SYSTEM WITH VARIABLE REFRIGERANT FLOW

M.I. Mazurenko, I.Y. Lysenko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Beresteysky Ave., 03056, Kyiv, Ukraine.
E-mail: j.lysenko@kpi.ua

This paper presents a discrete space-time mathematical model for controlling a multi-zone air conditioning system with variable refrigerant flow (VRF system), taking into account external thermal disturbances, solar gains, and heat transfer through building envelope structures. A state-space model describing the temperature dynamics in two independent zones is developed. A control structure based on the heat balance with switching logic between heating and cooling modes is proposed. A quadratic performance index is formulated to minimize temperature deviations from setpoints and energy consumption for control. Numerical simulations are performed using hourly climatic data. The results show that indoor temperatures are maintained within ± 0.5 °C of the set values, and the annual electricity consumption required to ensure these conditions is estimated. The proposed model can serve as a basis for the development of predictive control systems for indoor climate in energy-efficient buildings. 10 Ref., 1 Tab., 4 Fig.

Keywords: VRF system, control, mathematical model, heat balance, multi-zone air conditioning, optimal control, energy efficiency

ORCID

Мазуренко М.І. – <https://orcid.org/0009-0002-7155-0619>, Лисенко Ю.Ю. – <https://orcid.org/0000-0001-9110-6684>

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів

АВТОР ДЛЯ ЛИСТУВАННЯ

Ю.Ю. Лисенко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, Берестейський проспект, 37.

E-mail: j.lysenko@kpi.ua

РЕКОМЕНДОВАНЕ ЦИТУВАННЯ

М.І. Мазуренко, Ю.Ю. Лисенко (2026) Математична модель енергоефективного керування багатозональною системою кондиціювання зі змінним потоком холодоагенту. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, **02**, 44–50.

DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2026.02.05>

ГОЛОВНА СТОРІНКА ЖУРНАЛУ

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk>

Отримано 22.04.2026

Отримано у переглянутому вигляді 13.05.2026


Підписано до друку 02.06.2026

Оприлюднено 30.06.2026



November 2026

Organized by

NDTonline 

Free • Online • On-demand

NDTnet 

**International Online Conference on
Nondestructive Testing 2026**