DOI 10.15276/imms.v16.no1.74
УДК 681.536.55

Informatics and Mathematical Methods in Simulation
Vol.16 (2026), No. 1, pp. 74-84

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМ КОМФОРТОМ У ПРИМІЩЕННІ

Є. К. Воскобойник[1], О. О. Бойко[2]

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
19, Дмитра Яворницького пр., Дніпро, 49000, Україна,
Emails: voskoboinyk.ye.k@nmu.one[1], boiko.o.o@nmu.one[2]

Побудована структура системи керування тепловим комфортом Розроблено моделі у графічному середовищі імітаційного моделювання. Проведено імітаційні експерименти із врахуванням змін: типу одягу, швидкості обміну речовин, середньої температури випромінювання, відносної швидкості руху повітря, відносної вологості. Запропонована система забезпечує підтримку прогнозованої середньої оцінки PMV на заданому рівні за нормальних умов. При погіршенні умов енерговитрати залишаються на рівні традиційної системи керування температурою. При покращенні умов система опалення автоматично відключається, що зменшує енерговитрати. Врахування відносної вологості дозволяє обмежувати енерговитрати шляхом корекції обмеженої прогнозованої оцінки PMV. Зменшення відсотка відхилення при перемиканні зворотного зв'язку підвищує якість функціонування системи. За найгірших умов система підтримує параметри мікроклімату на рівні традиційного керування температурою, що підтверджує її надійність. Запропоновано структуру системи керування тепловим комфортом з використанням індексу PMV як керованої змінної. Обґрунтовано необхідність врахування відносної вологості при розрахунку обмеженої прогнозованої оцінки PMV. Визначено механізм підвищення якості функціонування системи за рахунок адаптивного перемикання зворотного зв'язку між дійсним та обмеженим значенням PMV. Використання системи дозволяє зменшити енерговитрати або підтримувати їх на рівні традиційних систем керування температурою. Рішення може бути застосоване у багатокімнатних будівлях для підвищення енергоефективності та комфорту користувачів. Розробка методики налаштування параметрів системи та перспективна реалізація безперервного керування відкриває можливості для інтеграції у сучасні системи «розумного будинку».

Ключові слова: тепловий комфорт; двопозиційний регулятор; енергоефективність; імітаційне моделювання; математична модель; ідентифікація; автоматизоване керування.

Вступ. На європейській біржі EPEX SPOT 12 грудня 2024 року на піку ціна електроенергії у Федеративній Республіці Німеччина становила 936 € за МВт·год., у Французькій Республіці де джерелом електрики є атомна енергетика 275 €, а у Республіці Польща електрика якої виробляється станціями працюючими на бурому вугіллі 164 € [1]. Кратне підвищення ціни у Німеччині пов'язано з низькою вітряністю в Європі, що у свою чергу дозволило наростити виробіток електроенергії у Франції на 56 атомних реакторах до пікових 51960 МВт [2] та збільшити прибутки за рахунок високої волотильності на ринку. Незважаючи на надлишки електроенергії у деяких постачальників структура ринку Європейського Союзу призвела до глобального збільшення цін у більшості країн членів.

Окрім французьких АЕС для компенсації падіння вироблення електроенергії з відновлюваних джерел у Німеччині використовуються газові станції, що призводить до збільшення попиту на даний енергоресурс. У зв'язку з цим компанія постачальник природного газу Eon Energy підвищила ціни на 24,3 %. Рахунок звичайної німецької роди, яка споживає біля 1800 м3 природного газу збільшився з 2530 € до 3145 € [3]. Середня ціна за електроенергію для населення у Німеччині становить біля 400 € за МВт·год. [4]. У свою чергу Федеральне відомство із захисту населення вже закликало готуватися до довгострокових відключень електроенергії [5], після чого відбулося знеструмлення центрального району міста Тюбінген [6].

Проблеми деяких країн Європейського Союзу з електроенергією погіршуються у зв'язку з перспективою зменшення або відмови від її постачання сусідами. Так Норвегія яка не входить до складу ЄС та не обмежена його законодавством розглядає питання відмови від поставок електроенергії до інших країн у зв'язку з підвищенням внутрішніх цін на неї [7]. Швеція звинувачує Німеччину у збільшенні цін на електроенергію у зв'язку з закриттям її АЕС однак не може зупинити поставки по інтерконекторам так як це забороняється законодавством ЄС [8].

У ситуації, що склалася єдиним шляхом економії енергоресурсів у домогосподарстві залишається зменшення їх використання. Враховуючи, що головним споживачем енергії у даному випадку є система опалення найпростішим шляхом зменшення витрат являється підвищення ефективності керування нею. Таким чином питання дослідження процесу керування тепловим комфортом у приміщенні з метою зменшення енерговитрат є актуальним.

Мета. Розробка та дослідження системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора з урахуванням прогнозованої середньої оцінки PMV (Predicted Mean Vote), що дозволяє забезпечити енергоефективність та підтримку мікроклімату відповідно до індивідуальних та змінних умов перебування людини.

Основна частина. Дослідження процесу керування тепловим комфортом у приміщенні вимагає визначення діапазонів зміни прогнозованої середньої оцінки PMV, прогнозованого процента невдоволених PDD, споживаної потужності та температури у приміщенні при різних значеннях налаштувань системи керування. У реальних умовах для цього потрібно мати приміщення з підтримкою параметрів мікроклімату на заданому рівні. Окрім того час таких досліджень вимірюється десятками діб та потребує значних витрат енергоресурсів. Виходячи з цього більш ефективнішим є проведення досліджень у всьому діапазоні налаштувань системи керування шляхом моделювання.

Враховуючи вище означене та результати досліджень можливості зниження енерговитрат за рахунок керування системою опалення на підставі теплового комфорту [9] розроблена структура моделі системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора (рис. 1).

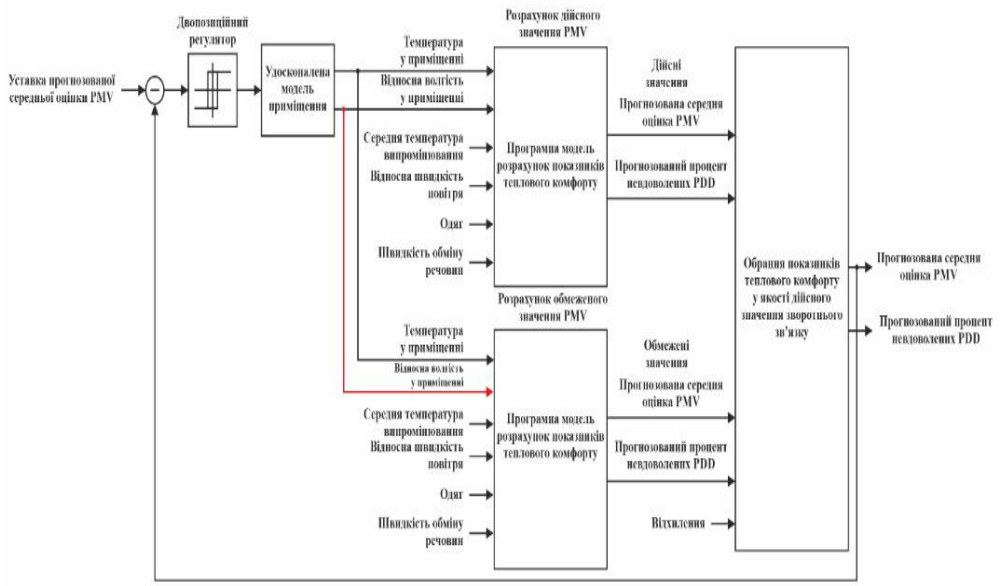

Рис. 1. Структурна схема моделі системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора

Побудова системи на базі двопозиційного регулятора пов'язана з тим, що більшість сучасних побутових електрообігрівачів мають регулятор потужності та працюють у режимі включений/виключений. З 4773 масляних обігрівачів зареєстрованих в Інтернет магазині

Розетка 35 мають програмне керування, до складу 104 входить датчик температури та тільки найдорожчі – ціна яких у два три рази вища за звичайні моделі та сягає 10000 грв. реалізують безперервне керування [10].

Відповідно до попередніх досліджень авторів [9] при розробці моделі системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора врахована необхідність створення механізму обмеження споживання енергоресурсів (рис. 1). Обмежуюче значення прогнозованої середньої оцінки PMV розраховується на підставі вхідних параметрів відповідних типовим умовам – роботі традиційної системи керування температурою у приміщенні [9]. Доки дійсне значення PMV дорівнює або більше обмежуючого у якості зворотного зв'язку використовується воно. Коли дійсне значення PMV стає меншим за обмежуюче на відсоток відхилення споживання енергоресурсів збільшується у порівнянні з традиційною системою, тому у якості зворотного зв'язку використовується обмежуюче значення, що забезпечує споживання енергоресурсів на рівні традиційної системи.

Досліджування виконувалося шляхом варіювання параметрів системи керування: типу одягу, швидкості обміну речовин, середньої температури випромінювання, відносної швидкості повітря, початкової відносної вологості повітря, початкової температури у приміщенні, відсотка відхилення, уставки прогнозованої середньої оцінки PMV.

У таблиці 1 наведені результати моделювання зміни типу одягу у діапазоні 0,30÷2,00 кло. Дані які не впливають на характер процесу керування вилучені для зменшення обсягу таблиці та полегшення аналізу. PMV відповідає середньому значенню прогнозованої середньої оцінки, PDD середньому значенню прогнозованого процента невдоволених, Тмін. мінімальній температурі у приміщенні, Тмакс. максимальній температурі у приміщенні, Е споживаній енергії, ΔЕ різниці споживаної енергії системи керування тепловим комфортом та традиційної. Детальніше діапазон 0,80÷1,20 кло наведено на рис. 2.

Таблиця 1.

Результати моделювання зміни типу одягу

№	Тип одягу, кло	PMV обмежений	PMV дійсний	PDD	Тмін., °С	Тмакс., °С	Е, кВт·год.	ΔЕ, кВт·год.
1	0,30	-0,23	-2,00	76,61	16,96	17,91	0,36	-0,03
2	0,90	-0,23	-0,39	8,25	16,96	17,91	0,36	-0,03
3	0,95	-0,14	-0,23	6,11	17,59	18,48	0,48	0,09
4	1,00	-0,22	-0,23	6,12	16,99	17,95	0,39	0,00
5	1,05	-0,30	-0,23	6,14	16,40	17,44	0,21	-0,18
6	1,10	-0,43	-0,27	6,55	16,00	16,00	0,00	-0,39
7	2,00	-0,43	0,58	12,03	16,00	16,00	0,00	-0,39

У діапазоні 0,30÷0,90 кло розбіжність між дійсною прогнозованою оцінкою PMV та обмеженням перевищує 5 % (чорна та червона характеристики), що відповідає збільшенню енерговитрат по відношенню до традиційної системи. Тому на даній ділянці система керування використовує в якості зворотного зв'язку обмежену PMV. У діапазоні 0,90÷1,10 кло система підтримує дійсну PMV на рівні уставки -0,2 відповідно до налаштування двопозиційного регулятора при цьому енерговитрати не перевищують витрати традиційної системи. У діапазоні 1,10÷2,00 кло дійсна PMV перевищує значення уставки системи керування, опалення не працює, енерговитрати відсутні. Зміна налаштування відхилення з 5 % до 1 % (рис. 3, синя характеристика) зменшує енерговитрати у діапазоні 0,90÷1,00 кло до рівня традиційної системи.

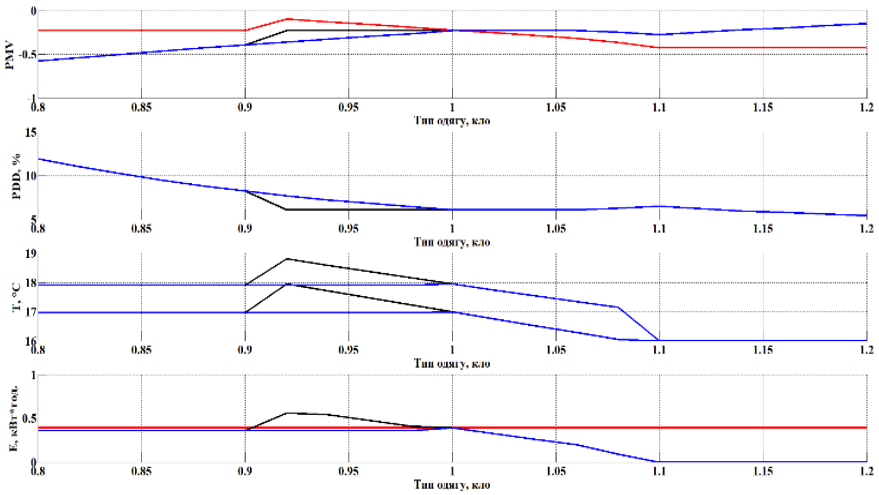

Рис. 2. Результат моделювання зміни типу одягу

На рис.2 чорна характеристика відповідає дійсній PMV при відхиленні 5 %; синя – дійсній PMV при відхиленні 1 %; червона – обмеженій PMV.

Результати моделювання зміни швидкості обміну речовин наведені у табл. 2. Значення параметру поділяється на три діапазони: 0,80÷1,10 мет – збільшення енерговитрат по відношенню до традиційної системи, обмеження PMV, 1,10÷1,25 мет – відпрацювання зміни параметру для підтримки заданої уставки PMV та 1,25÷2,20 кло – дійсна PMV перевищує значення уставки системи керування, опалення не працює. Детальніше діапазон 1,00÷1,30 кло наведено на рис. 3.

Таблиця 2.

Результати моделювання зміни швидкості обміну речовин

№	Швидкість обміну речовин, мет	PMV обмежений	PMV дійсний	PDD	Тмін., °C	Тмакс., °C	E, кВт·год.	ΔE, кВт·год.
1	0,80	-0,23	-1,86	69,93	16,96	17,91	0,36	-0,03
2	1,10	-0,23	-0,38	8,07	16,96	17,91	0,36	-0,03
3	1,15	-0,19	-0,23	6,10	17,24	18,17	0,41	0,02
4	1,20	-0,30	-0,23	6,14	16,40	17,44	0,21	-0,18
5	1,25	-0,43	-0,24	6,23	16,00	16,00	0,00	-0,39
6	2,00	-0,43	0,69	15,10	16,00	16,00	0,00	-0,39

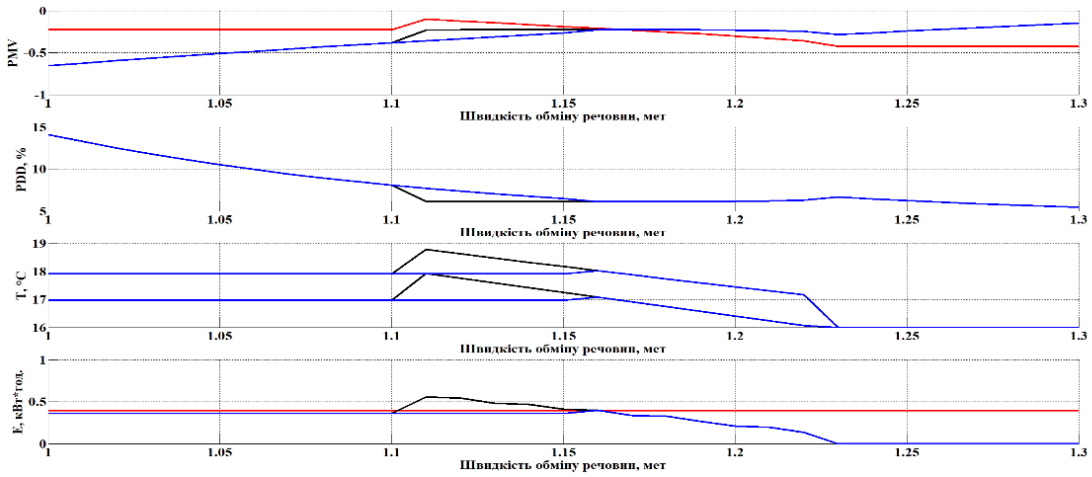

Рис. 3. Результат моделювання зміни швидкості обміну речовин

Результати моделювання зміни середньої температури випромінювання наведені у таблиці 3. Значення параметру поділяється на три діапазони: 16÷23 °С – збільшення енерговитрат по відношенню до традиційної системи, обмеження PMV, 23÷25 °С – відпрацювання зміни параметру для підтримки заданої уставки PMV та 25÷35 °С – дійсна PMV перевищує значення уставки системи керування, опалення не працює. Детальніше діапазон 21÷27 °С наведено на рис. 4.

Таблиця 3

Результати моделювання зміни середньої температури випромінювання

№	Середня температура випромінювання, °С	PMV обмежений	PMV дійсний	PDD	Тмін., °С	Тмакс., °С	Е, кВт·год.	ΔЕ, кВт·год.
1	16,00	-0,23	-0,98	25,43	16,96	17,91	0,36	-0,03
2	22,00	-0,23	-0,44	9,09	16,96	17,91	0,36	-0,03
3	23,00	-0,10	-0,23	6,13	17,92	18,82	0,57	0,18
4	24,00	-0,20	-0,23	6,12	17,13	18,09	0,41	0,02
5	25,00	-0,30	-0,23	6,14	16,40	17,44	0,21	-0,18
6	26,00	-0,43	-0,26	6,35	16,00	16,00	0,00	-0,39
7	35,00	-0,43	0,60	12,53	16,00	16,00	0,00	-0,39

При виконанні дослідження удосконалена модель приміщення використана без динамічної зміни середньої температури випромінювання. Для цього вилучена її частина, яка забезпечує імітацію включення та виключення обладнання у приміщенні [9]. Це пов’язано з тим, що у даному дослідженні усі показники визначається в усталеному режимі. Таким чином статичне значення середньої температури випромінювання забезпечує більшу наочність та спрощує аналіз його впливу на процес керування.

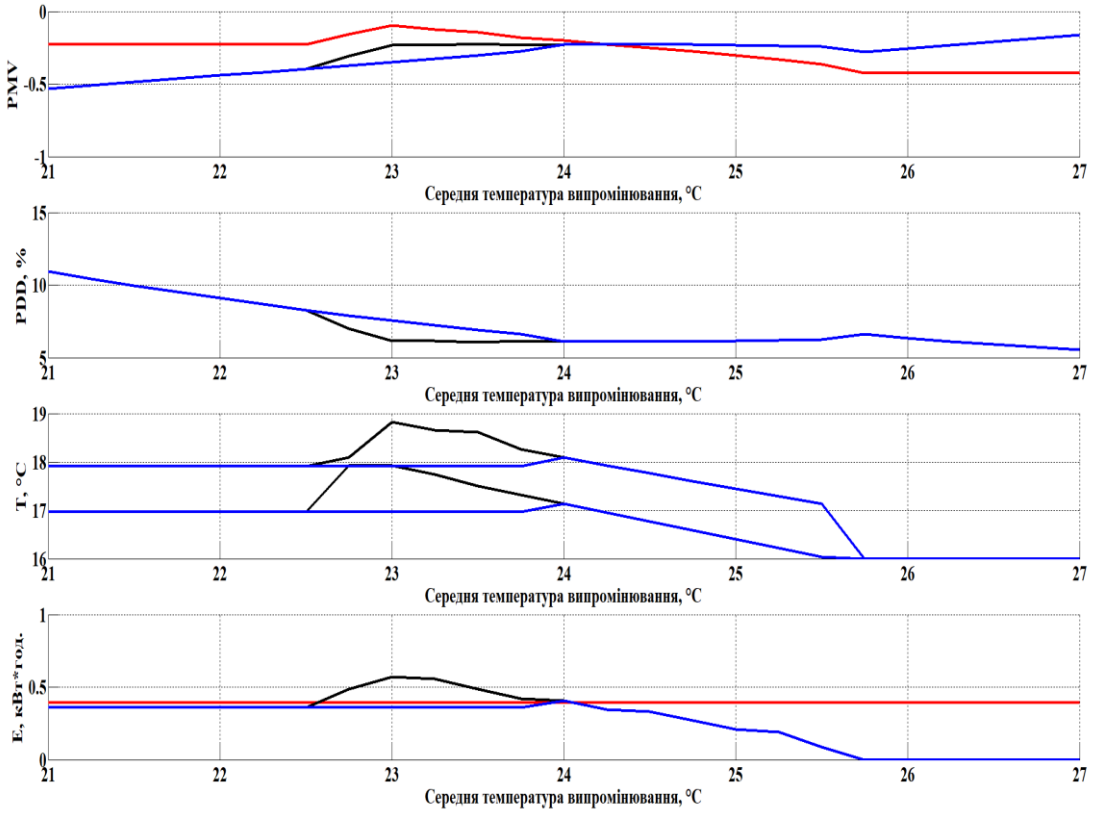

Рис.4. Результат моделювання зміни середньої температури випромінювання

Результати моделювання зміни відносної швидкості повітря наведені у таблиці 4 та на рис. 5. Значення параметру поділяється на три діапазони: 0,05÷0,10 м/с – відпрацювання постійної дійсної прогнозованої середньої оцінки PMV, 0,10÷0,15 м/с – відпрацювання зміни параметру для підтримки заданої уставки PMV та 0,15÷0,3 м/с – збільшення енерговитрат по відношенню до традиційної системи, обмеження PMV.

Таблиця 4.

Результати моделювання зміни відносної швидкості повітря

№	Відносна швидкість повітря, м/с	PMV обмежений	PMV дійсний	PDD	Тмін., °С	Тмакс., °С	Е, кВт·год.	ΔЕ, кВт·год.
1	0,05	-0,30	-0,23	6,15	16,46	17,49	0,26	-0,13
2	0,10	-0,30	-0,23	6,14	16,40	17,44	0,21	-0,18
3	0,15	-0,17	-0,23	6,14	17,37	18,33	0,48	0,09
4	0,20	-0,23	-0,41	8,59	16,96	17,91	0,36	-0,03
5	0,25	-0,23	-0,52	10,66	16,96	17,91	0,36	-0,03
6	0,30	-0,23	-0,61	12,75	16,96	17,91	0,36	-0,03

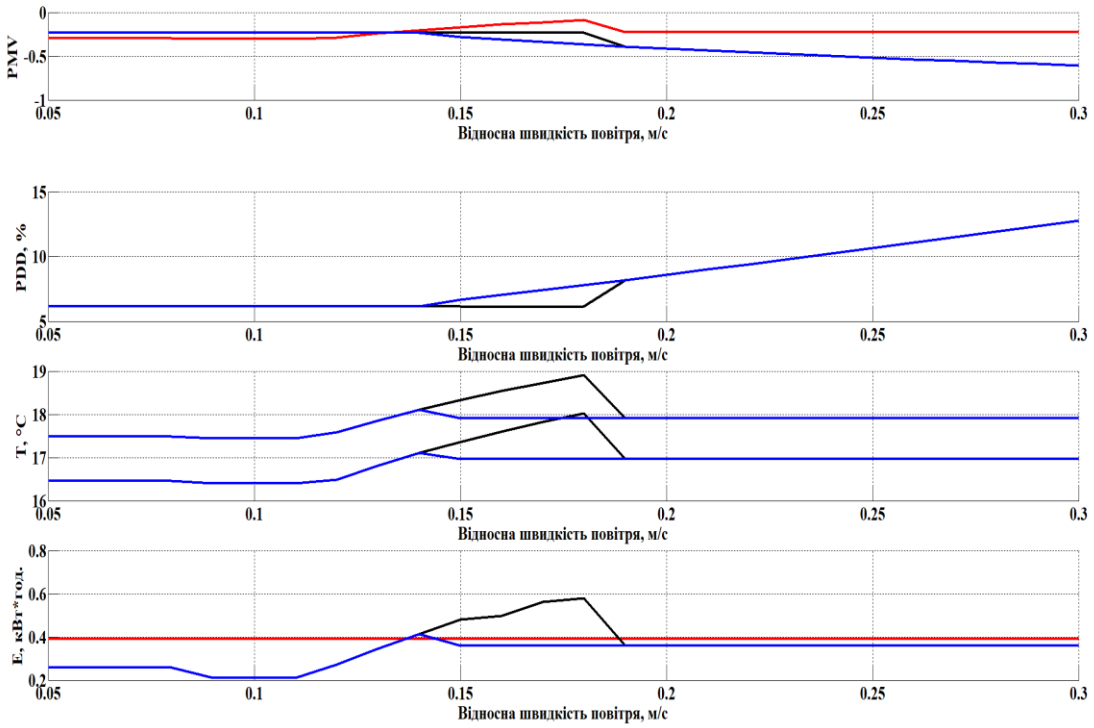

Рис. 5. Результат моделювання зміни відносної швидкості повітря

Результати моделювання зміни початкової відносної вологості повітря наведені на рис. 6. Падіння значення обмеження прогнозованої середньої оцінки PMV пов’язано із зменшенням температури при збільшенні значення відносної вологості, що призводить до розбіжності з дійсною PMV до 5 % та відсутності обмеження. Значення параметру поділяється на два діапазони 20,0÷54,0 % – відпрацювання зміни параметру для підтримки заданої уставки PMV та 55,0÷60,0 % – опалення не працює.

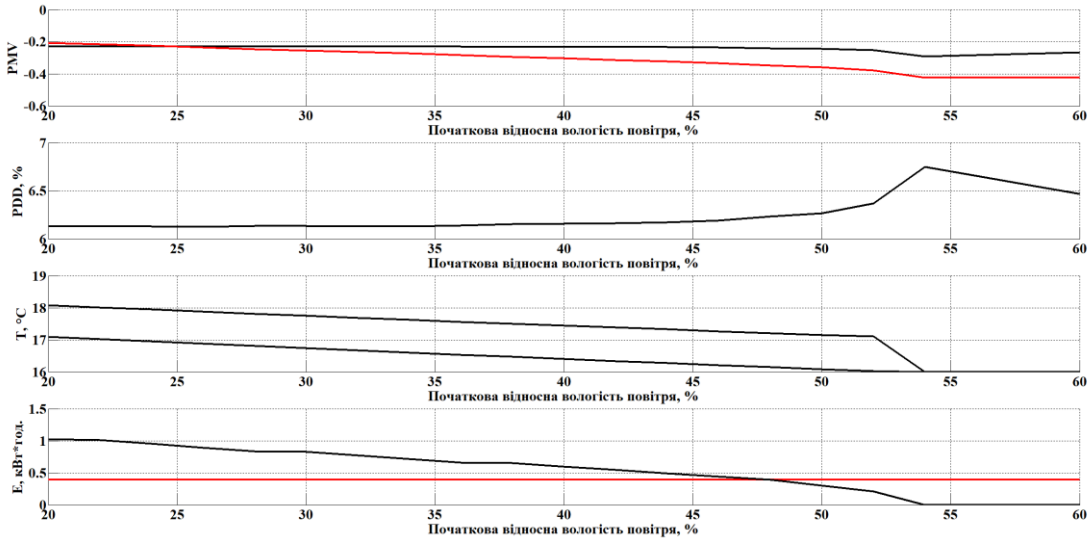

Рис. 6. Результат моделювання зміни початкової відносної вологості повітря

За результатами аналізу отриманих даних експерименту встановлено, що при розрахунку обмеження PMV необхідно враховувати поточне значення відносної вологості повітря для забезпечення обмеження витрат енергоресурсів у всьому діапазоні зміни даного параметру. Результати моделювань з урахуванням запропонованих змін наведені на рис. 7. Порівняння моделювань зміни інших параметрів з результатами, що враховують дійсне значення відносної вологості показало їх відповідність.

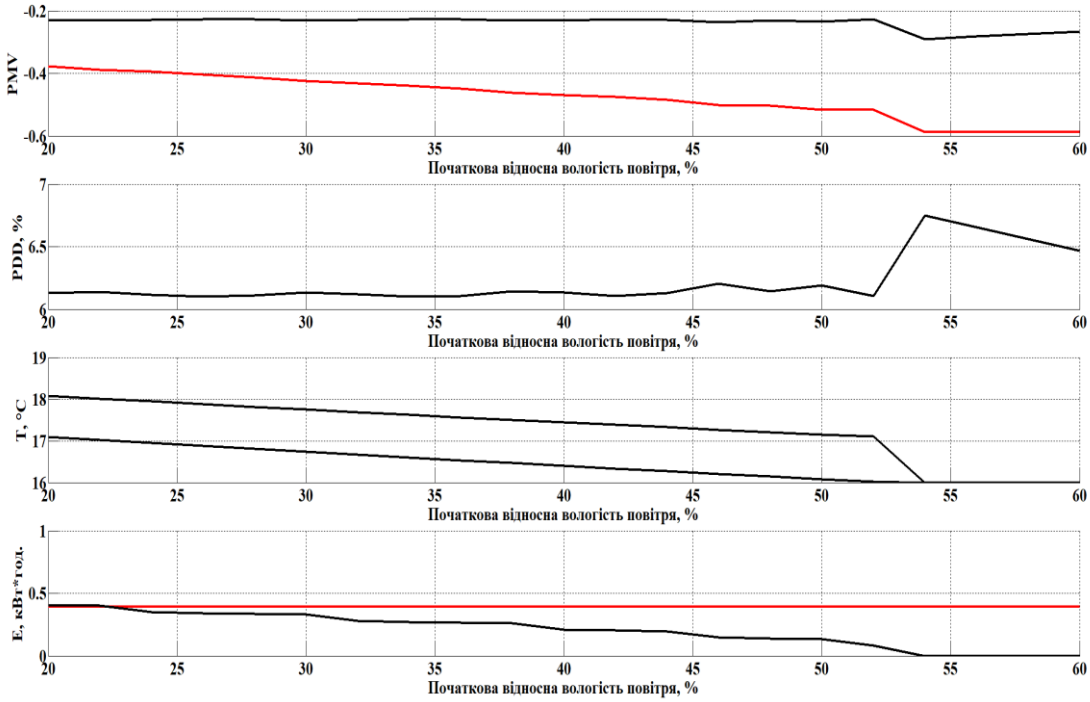

Рис. 7. Результат моделювання зміни початкової відносної вологості повітря з урахуванням при розрахунку обмеження PMV відносної вологості повітря

Результати моделювання зміни початкової температури повітря наведені у таблиці 5 та на рис. 8. Значення параметру поділяється на два діапазони 10,0÷16,5 °С – відпрацювання зміни параметру для підтримки заданої уставки PMV та 16,5÷20,0 °С – опалення не працює.

Таблиця 5.

Результати моделювання зміни початкової температури повітря

№	Початкова температура повітря, °C	PMV обмежений	PMV дійсний	PDD	Тмін., °C	Тмакс., °C	E, кВт·год.	ΔE, кВт·год.
1	10,00	-0,30	-0,25	6,30	16,51	17,28	1,58	-0,24
2	10,50	-0,30	-0,25	6,28	16,50	17,28	1,45	-0,25
3	11,00	-0,30	-0,25	6,27	16,50	17,27	1,34	-0,25
4	11,50	-0,30	-0,24	6,26	16,49	17,27	1,27	-0,22
5	12,00	-0,30	-0,24	6,24	16,48	17,27	1,15	-0,23
6	12,50	-0,30	-0,24	6,22	16,47	17,28	1,04	-0,24
7	13,00	-0,30	-0,24	6,20	16,47	17,28	0,93	-0,22
8	13,50	-0,30	-0,24	6,18	16,46	17,30	0,82	-0,23
9	14,00	-0,30	-0,23	6,16	16,45	17,31	0,72	-0,21
10	14,50	-0,30	-0,23	6,12	16,44	17,33	0,57	-0,27
11	15,00	-0,30	-0,23	6,11	16,43	17,36	0,48	-0,25
12	15,50	-0,30	-0,23	6,10	16,41	17,40	0,34	-0,27
13	16,00	-0,30	-0,23	6,14	16,40	17,44	0,21	-0,30
14	16,50	-0,36	-0,28	6,65	16,50	16,50	0,00	-0,41
15	20,00	0,10	0,16	5,53	20,00	20,00	0,00	-0,29

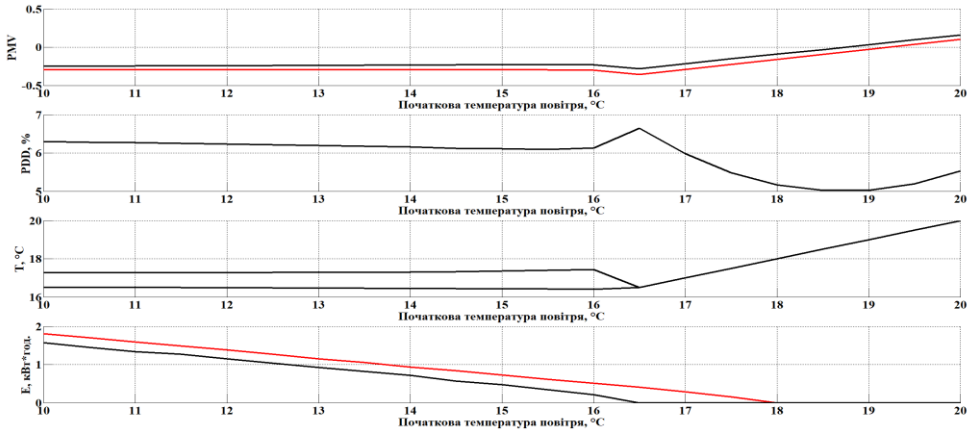

Рис. 8. Результат моделювання зміни початкової температури повітря

Результати моделювання зміни уставки прогнозованої середньої оцінки PMV наведені у таблиці 6 та на рис. 9. Значення параметру поділяється на два діапазони -1,0÷-0,3 – опалення не працює та -0,3÷1,0 – відпрацювання зміни параметру для підтримки заданої уставки PMV.

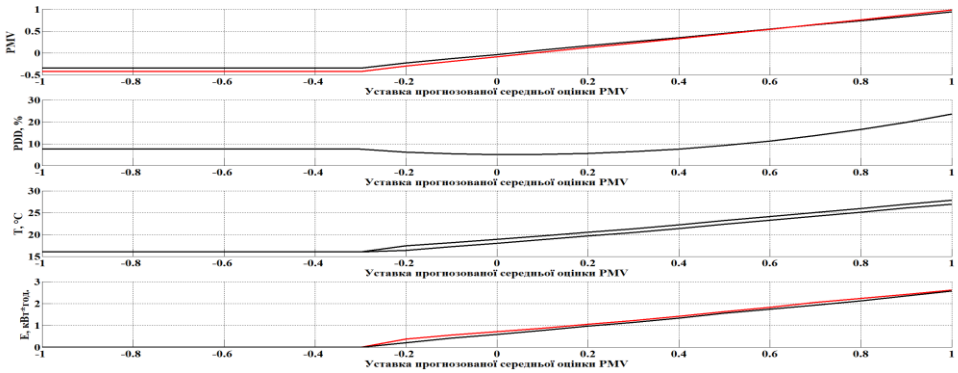

Рис. 9. Результат моделювання зміни уставки прогнозованої середньої оцінки PMV

Таблиця 6.

Результати моделювання зміни уставки прогнозованої середньої оцінки PMV

№	Уставка PMV	PMV обмежений	PMV дійсний	PDD	Тмін., °С	Тмакс., °С	Е, кВт·год.	ΔЕ, кВт·год.
1	-1,00	-0,43	-0,35	7,50	16,00	16,00	0,00	0,00
2	-0,30	-0,43	-0,35	7,50	16,00	16,00	0,00	0,00
3	-0,20	-0,30	-0,23	6,14	16,40	17,44	0,21	0,00
4	-0,10	-0,19	-0,13	5,36	17,19	18,15	0,41	0,00
5	0,00	-0,09	-0,04	5,05	17,99	18,89	0,58	0,00
6	0,10	0,02	0,06	5,11	18,85	19,70	0,76	0,00
7	0,20	0,13	0,16	5,59	19,67	20,50	0,96	0,00
8	0,30	0,22	0,25	6,37	20,43	21,30	1,13	0,00
9	0,40	0,33	0,35	7,59	21,37	22,22	1,34	-0,17
10	0,50	0,44	0,45	9,23	22,37	23,20	1,55	-0,14
11	0,60	0,54	0,55	11,26	23,29	24,12	1,73	-0,14
12	0,70	0,65	0,64	13,71	24,21	25,04	1,92	-0,10
13	0,80	0,76	0,74	16,48	25,14	25,97	2,12	-0,10
14	0,90	0,87	0,84	19,81	26,09	26,91	2,34	-0,09
15	1,00	0,98	0,94	23,61	26,92	27,84	2,58	-0,08

Дослідження впливу відсотка відхилення (рис. 10, табл. 7) показали, що йогозначення у діапазоні 0,50÷4,00 % забезпечує енерговитрати на рівні традиційної системи керування температурою у приміщенні. Характеристики відповідні відхиленню 1 % для кожного з розглянутих параметрів наведені на рисунках 3-6.

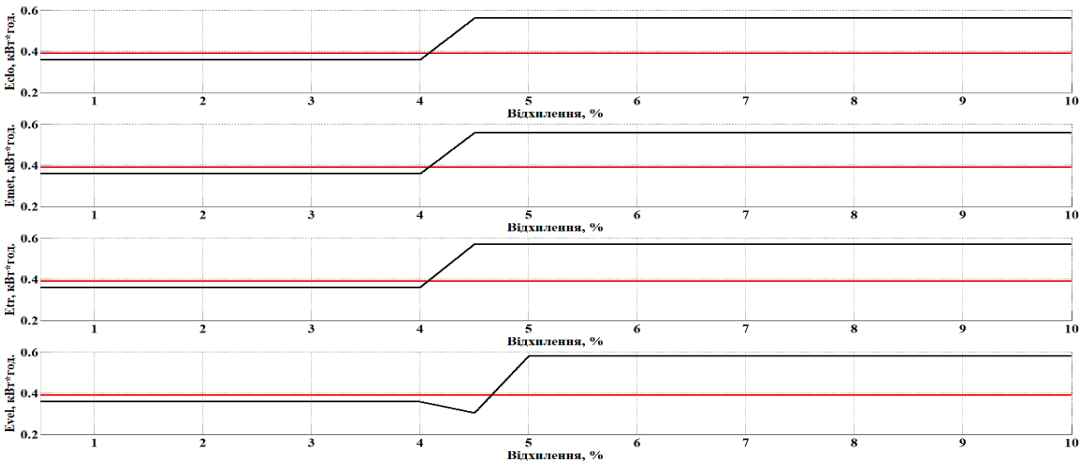

Рис. 10. Результати моделювання зміни відхилення

Таблиця 7.

Результати моделювання зміни відхилення

№	Відхилення, %	Eclo, кВт·год.	Emet, кВт·год.	Etr, кВт·год.	Evel, кВт·год.
1	0,50	0,36	0,36	0,36	0,36
2	1,00	0,36	0,36	0,36	0,36
3	4,00	0,36	0,36	0,36	0,36
4	4,50	0,56	0,56	0,57	0,30
5	5,00	0,56	0,56	0,57	0,58
6	10,00	0,56	0,56	0,57	0,58

Моделювання за найскладніших умов у приміщенні відповідно до стандарту [11] коли уставка PMV дорівнює 0,0, тип одягу 0,3 кло, швидкість обміну речовин 0,8 мет, середнє значення випромінювання 10 °С [12], відносна швидкість повітря 0,3 м/с, початкове значення температури 10 °С та відносна вологість повітря 20 % показало, що система не в змозі за рахунок керування тільки обігрівачем досягти теплового

комфорту тому керування виконується за обмеженою прогнозованою середньою оцінкою PMV. Дійсне значення PMV виходить за діапазон допустимого інтервалу використання +2÷-2, температура у приміщенні підтримується на рівні 19,6 °C, енерговитрати становлять 2,12 кВт.·год.

За результатом досліджень встановлено, що розроблена система керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора забезпечує підтримку теплового комфорту на заданому рівні за нормальних умов. За умов підвищених енерговитрат для підтримки теплового комфорту по відношенню до традиційної системи керування температурою, виконується обмеження прогнозованої середньої оцінки PMV таким чином щоб рівень енерговитрат був аналогічний до традиційної системи. За умов встановлення дійсного значення прогнозованої середньої оцінки PMV вище уставки з урахуванням налаштування двопозиційного регулятора опалення вимикається. Таким чином дана система забезпечує керування тепловим комфортом у приміщенні так щоб рівень енерговитрат був нижчім або аналогічним до традиційної системи керування температурою у приміщенні.

Висновки.

1. Обґрунтована та запропонована структура системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора на підставі якої розроблена модель у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink для математичного пакету MATLAB.
2. Проведено дослідження процесу керування тепловим комфортом за умови зміни типу одягу, швидкості обміну речовин, середньої температури випромінювання, відносної швидкості та вологості повітря. Визначено, що запропонована система керування за нормальних умов у приміщенні забезпечує підтримку прогнозованої середньої оцінки PMV на заданому рівні, при погіршені умов енерговитрати підтримуються на рівні традиційної системи керування температурою у приміщенні, а при покращенні система опалення не працює.
3. Використання запропонованої системи керування тепловим комфортом забезпечує зменшення енерговитрат або підтримку їх на рівні традиційної системи.
4. Для обмеження енерговитрат відповідно до зміни відносної вологості повітря її значення необхідно враховувати при розрахунку обмеженої прогнозованої середньої оцінки PMV.
5. Підвищення якості функціонування системи керування тепловим комфортом забезпечується за рахунок зменшення відсотка відхилення який відповідає за перемикання зворотного зв’язку між дійсним значенням прогнозованої середньої оцінки PMV та обмеженим.
6. Запропоноване рішення за найгірших умов у приміщенні забезпечує підтримку параметрів мікроклімату на рівні традиційної системи керування температурою у зв’язку з неможливістю досягнення теплового комфорту тільки за рахунок керування опаленням.
7. Подальшим напрямком дослідження є розробка методики налаштування параметрів системи керування тепловим комфортом у приміщенні на базі двопозиційного регулятора та розробка безперервної системи керування тепловим комфортом.

Список літератури

1. Market Results. *Epex spot*. URL: https://is.gd/dxxwJP
2. French Nuclear Output Rises to Highest Since February. *Bloomberg*. 2020. URL: https://is.gd/jkki5e
3. Eon erhöht Gaspreis in NRW um 24 Prozent. *Rheinische Post*. URL: https://is.gd/1OeLCq
4. Cold without wind: German ‘dunkelflaute’ brings electricity prices to crisis levels and depletes gas reserves. *El Pais*. URL: https://is.gd/dBuTSG.

5. Bereiten Sie sich auf Notlagen vor. URL: https://is.gd/TCDxkZ
6. Stromausfall in Tübingen - Altstadt mit Weihnachtsmarkt betroffen. *Tagesschau*. URL. https://is.gd/gpgfNp
7. Norway campaigns to cut energy links to Europe as power prices soar. *Financial Times*. 2024. URL: https://www.ft.com/content/f0b621a1-54f2-49fc-acc1-a660e9131740
8. Swedish minister open to new measures to tackle energy crisis, blames German nuclear +phase-out. *Euractiv*. URL: https://is.gd/UpdNxj
9. Voskoboinyk Ye., Boyko O., Slavinskyi D., Cheberiachko Y. Research on the possibility of reducing energy consumption by controlling the heating system based on thermal comfort. *Computer Engineering and Automation*. *Scientific Papers of Donetsk National Technical University*. 2025. No. 3,4 (36). P. 5–12. DOI: https://doi.org/10.32782/2786-9024/v3i4(36).331266
10. Масляні обігрівачі / Розетка. URL: https://is.gd/bm71zZ.
11. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. Київ: Мінрегіон України, 2012
12. Бойко О., Воскобойник Є., Чеберячко Ю. Удосконалена модель приміщення для дослідження процесу керування тепловим комфортом. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2025. № 1 (68). С. 15-22. URL: https://doi.org/10.32782/2072-2052.2025.1.68.2

RESEARCH ON THE PROCESS OF CONTROLLING THERMAL COMFORT IN A ROOM

Ye. K. Voskoboinyk[1], O. O. Boyko[2]

Dnipro University of Technology
19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, 49000, Ukraine
Emails: voskoboinyk.ye.k@nmu.one[1], boiko.o.o@nmu.one[2]

The structure of the thermal comfort control system is designed. Simulation experiments taking into account changes in clothing type, metabolic rate, average radiation temperature, relative air velocity, relative humidity is conducted. the system operation with traditional indoor temperature control is compared. The proposed system ensures the maintenance of the predicted average PMV estimate at a given level under normal conditions. When conditions deteriorate, energy consumption remains at the level of the traditional temperature control system. When conditions improve, the heating system is automatically turned off, which reduces energy consumption. Taking into account the relative humidity allows you to limit energy consumption by correcting the limited predicted PMV estimate. Reducing the percentage of deviation when switching feedback improves the quality of system operation. Under the worst conditions, the system maintains microclimate parameters at the level of traditional temperature control, which confirms its reliability. The structure of a thermal comfort control system based on a two-position regulator using the PMV index as a control variable is proposed. The need to take into account relative humidity when calculating the limited predicted PMV estimate is justified. A mechanism for improving the quality of system operation is determined by adaptive switching of feedback between the actual and limited PMV values. The use of the system allows reducing energy consumption or maintaining it at the level of traditional temperature control systems. The solution can be used in multi-room buildings to increase energy efficiency and user comfort. The development of a method for setting system parameters and the prospective implementation of continuous control opens up opportunities for integration into modern "smart home" systems.

Keywords: thermal comfort; two-position regulator; energy efficiency; simulation modeling; mathematical model; identification; automated control.