

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ З ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ

Ie. Koshelenko<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-3600-1550>

O. Zamkova<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7542-9536>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

### ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ENERGY SUPPLY SYSTEMS OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS WITH HEAT PUMPS

**Мета.** Оцінити ефективність режиму роботи систем опалення багатоквартирних житлових будинків з урахуванням фактичних змін зовнішніх температур упродовж опалювального сезону, дослідити закономірності формування температурних графіків систем енергозабезпечення будівель та особливості режимів роботи бівалентних систем теплопостачання з використанням теплових насосів і електронагрівачів.

**Методика.** Моделювання ефективності використання теплових графіків енергозабезпечення житлових будівель проводилось із застосуванням статистичної обробки даних, що дало змогу виявити характер залежності сезонного коефіцієнта перетворення енергії (SCOP) від параметру температури навколишнього середовища.

**Результати.** Проведено аналіз робочого діапазону теплових насосів при використанні різних температурних графіків енергозабезпечення житлової багатоповерхівки у м. Дніпро. В результаті моделювання встановлено закономірності зміни коефіцієнта ефективності перетворення енергії від параметру зовнішньої температури повітря, що дозволяє оцінити SCOP теплових насосів для опалювального періоду при застосуванні різного типу температурних графіків та визначити найбільш доцільний метод використання систем з тепловими насосами.

**Наукова новизна.** Встановлено закономірності зміни сезонного коефіцієнта ефективності перетворення енергії SCOP від параметру зовнішньої температури повітря для різних температурних графіків роботи бівалентної системи енергозабезпечення багатоквартирних житлових будинків на основі теплового насоса та електронагрівача. Оцінено ефективність роботи теплових насосів різного типу при осереднених фактичних значеннях температури навколишнього середовища протягом опалювального сезону.

**Практична значимість.** Отримані результати моделювання можуть застосовуватись при виборі параметрів систем енергозабезпечення житлових багатоквартирних будинків для раціонального вибору режиму експлуатації.

**Ключові слова:** енергоефективність, бівалентні системи енергозабезпечення будівель, адаптація до змін клімату, теплові насоси.

**Вступ.** В житловому секторі країн Європейського Союзу все частіше постає питання модернізації систем енергозабезпечення багатоквартирних житлових будинків з метою підвищення їх енергоефективності. Одним із рішень є застосування теплових насосів, що дозволяють ефективно використовувати низькопотенційну теплову енергію навколишнього середовища та знизити витрати на енергозабезпечення будівель. Теплові насоси вже широко використовуються при новому будівництві, але їх впровадження вимагає адаптації технічних рішень для забезпечення стабільної роботи при змінних експлуатаційних умовах [1].

Основним фактором підвищення ефективності роботи теплових насосів є перехід на низькотемпературні графіки. Це дозволяє зменшити температуру теплоносія в системах енергозабезпечення житлових багатоповерхових будинків та підвищити сезонний коефіцієнт перетворення енергії (SCOP) теплових насосів за рахунок зменшення температурного перепаду, що в свою чергу призводить до скорочення втрат у мережах розподілу, особливо в існуючих будівлях із модернізованими гідронними системами або низькотемпературними радіаторами й підлоговими конвекторами [2].

У багатоквартирних житлових будівлях інтеграція теплових насосів потребує вибору оптимальних технічних параметрів обладнання та комплексної оцінки режимів роботи низькотемпературного теплоносія, адаптації внутрішньобудинкових мереж і систем контролю для забезпечення необхідного комфорту при мінімальних експлуатаційних витратах. Практичні дослідження показують, що правильно підібрані низькотемпературні графіки та управління ними можуть значно підвищити ефективність систем опалення на базі теплових насосів, а також полегшити їх впровадження у вже наявні багатоквартирні житлові будівлі й мережі енергозабезпечення [3].

**Основна частина.** За гідравлічним приєднанням відомо дві основні схеми приєднання багатоквартирних житлових будинків до теплової мережі: залежна (центральний тепловий пункт) та незалежна (індивідуальний тепловий пункт). При залежній схемі приєднання системи опалення, будинкова система безпосередньо з'єднується з магістраллю тепломережі через елеваторний вузол, в той час як незалежна схема передбачає встановлення пластичного теплообмінника між мережею та будинком, що в свою чергу розділяє контури. При залежному підключенні внутрішньобудинкових мереж температурні режими їх експлуатації напряму залежать від прийнятих у даному населеному пункті теплових графіків, стану зовнішніх магістралей, способів підключення інших об'єктів уздовж подавальної магістралі та багатьох інших чинників. Незалежна схема підключення із облаштуванням індивідуального теплового пункту дозволяє розглядати зміну температурного режиму теплоносія всередині будинка, а також створює передумови до впровадження додаткових будинкових джерел теплової енергії без істотного впливу на зовнішню мережу [5, 6].

Головною перевагою використання центрального теплового пункту (ЦТП) є мінімальна вартість та простота встановлення вузлів. Їх рекомендують встановлювати для стабільних високотемпературних мереж і будинків, які не потребують локального регулювання режимів роботи енергетичного обладнання в широкому діапазоні.

У той же час, індивідуальний тепловий пункт (ІТП) попри високу вартість має значно більшу кількість переваг, а саме:

- більш точний контроль температури і тиску в будинку;
- зменшення додаткових втрат енергії;
- сумісність з низькотемпературними графіками та 4-м поколінням систем централізованого теплопостачання.

Поточна політика ЄС щодо енергоефективності активно просуває перехід на низькотемпературні системи опалення. Таке рішення дозволяє зменшити втрати в мережах та спрощує інтеграцію теплових насосів (ТН), як високоефективних джерел енергії. При введенні такого рішення необхідно переводити будинки на незалежну або комбіновану схему теплопостачання з ІТП [7].

В Україні нормативно затверджені високотемпературні графіки 95/70, 90/70, 80/60 (табл. 1), але поступово впроваджуються низькотемпературні графіки, такі як 60/40 та 55/45 (табл. 2), що передбачає концепція 4th Generation District Heating (4GDH). Концепція 4GDH вже реалізовується в трьох містах України за трьома різними проєктами:

Таблиця 1

Високотемпературні графіки для системи опалення

Температурний графік 95/70 [8]											
T <sub>з</sub>	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
T <sub>1</sub>	43	45	47	48	50	52	54	55	57	59	60
T <sub>2</sub>	37	38	39	41	42	43	44	45	46	47	49
T <sub>з</sub>	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
T <sub>1</sub>	62	64	65	67	69	70	72	74	75	77	78
T <sub>2</sub>	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
T <sub>з</sub>	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
T <sub>1</sub>	80	81	83	84	86	87	89	91	92	94	95
T <sub>2</sub>	61	62	63	64	65	65	66	67	68	69	70
Температурний графік 90/70 [9]											
T <sub>з</sub>	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
T <sub>1</sub>	45	47	48	50	51	53	54	56	57	59	60
T <sub>2</sub>	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
T <sub>з</sub>	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
T <sub>1</sub>	62	63	65	66	67	69	70	72	73	74	76
T <sub>2</sub>	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
T <sub>з</sub>	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
T <sub>1</sub>	77	78	80	81	82	84	85	86	87	89	90
T <sub>2</sub>	61	62	63	64	65	66	67	67	68	69	70
Температурний графік 80/60 [10]											
T <sub>з</sub>	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
T <sub>1</sub>	42	43	44	46	47	48	50	51	52	53	55
T <sub>2</sub>	36	37	38	39	40	41	41	42	43	44	45
T <sub>з</sub>	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
T <sub>1</sub>	56	57	58	59	61	62	63	64	65	66	68
T <sub>2</sub>	45	46	47	48	48	49	50	51	51	52	53
T <sub>з</sub>	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
T <sub>1</sub>	69	70	71	72	73	74	76	77	78	79	80
T <sub>2</sub>	53	54	55	55	56	57	57	58	59	59	60

- Київ (Троещина) – проект у співпраці з ЄС. Він передбачає модернізацію теплових мереж з переходом на низькотемпературні режими;
- Львів – пілотні системи з тепловими насосами та біопаливом;
- Дніпро – проекти в рамках USAID та Nordic Environment Finance Corporation щодо зниження температур у мережах.

Таблиця 2

Низькотемпературні графіки для системи опалення

Температурний графік 60/40											
Tз	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
T1	39,9	40,7	41,4	42,2	42,9	43,6	44,3	45	45,6	46,3	47
T2	19,9	20,7	21,4	22,2	22,9	23,6	24,3	25	25,6	26,3	27
Tз	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
T1	47,6	48,2	48,9	49,5	50,1	50,7	51,4	52	52,6	53,2	53,8
T2	27,6	28,2	28,9	29,5	30,1	30,7	31,4	32	32,6	33,2	33,8
Tз	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
T1	54,3	54,9	55,5	56,1	56,6	57,2	57,8	58,3	58,9	59,4	60
T2	34,3	34,9	35,5	36,1	36,6	37,2	37,8	38,3	38,9	39,4	40
Температурний графік 55/45											
Tз	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
T1	34,9	35,7	36,4	37,2	37,9	38,6	39,3	40	40,6	41,3	42
T2	24,9	25,7	26,4	27,2	27,9	28,6	29,3	30	30,6	31,3	32
Tз	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
T1	42,6	43,2	43,9	44,5	45,1	45,7	46,4	47	47,6	48,2	48,8
T2	32,6	33,2	33,9	34,5	35,1	35,7	36,4	37	37,6	38,2	38,8
Tз	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
T1	49,3	49,9	50,5	51,1	51,6	52,2	52,8	53,3	53,9	54,4	55
T2	39,3	39,9	40,5	41,1	41,6	42,2	42,8	43,3	43,9	44,4	45

У більшості населених пунктів України для опалення житлових масивів використовуються графіки 95/70 або 90/70, але ДБН рекомендує до використання більш економний графік 80/60. При цьому, використання графіків 60/40 та 55/45 – не заборонено. Їх значною перевагою є зменшення теплових втрат у магістральних і розподільних мережах. Також, перехід на низькотемпературні системи і графіки опалення створює предумови до фективної інтеграції теплових насосів до систем енергозабезпечення житлових будівель. У майбутній перспективі може розглядатися перехід на низькотемпературні графіки до 45/30. Але, такі графіки можуть використовуватися в енергоефективних будинках та при максимальному наближенні джерела енергії до споживачів.

Графіки 95/70, 90/70 та 80/60 затверджуються на місцевому рівні, в той час як графіки 60/40 та 55/45 необхідно розраховувати самостійно з урахуванням розрахункових тепловтрат опалюваних будівель. Наведені в табл. 2 дані були отримані розрахунковим методом.

За умови, що тепловтрати в будівлі дорівнюють тепловіддачі опалювальних приладів, отримаємо:

$$\begin{aligned} Q_{loss}(t_e) &= H \cdot (t_i - t_e); \\ Q_{rad} &= K \cdot (\Delta T_m)^{n_r} = K \cdot (T_m - t_i)^{n_r}; \\ H \cdot (t_i - t_e) &= K \cdot (T_m(t_e) - t_i)^{n_r}, \end{aligned}$$

де  $H$  – тепловтрати будівлі, Вт/°С – розраховують за затвердженими стандартами;  $t_i$  – внутрішня температура повітря, °С;  $t_e$  – зовнішня температура повітря, °С;  $K$  – константа, що визначається з умови розрахункової точки температурного графіку;  $n_r$  – показник нелінійності радіаторів змінюється в межах від 1,1...1,5;  $T_m = (T_s + T_r)/2$  – значення розрахункової точки температурного графіку, °С;  $T_s$  – максимальна температура подавального трубопроводу, °С;  $T_r$  – максимальна температура зворотнього трубопроводу, °С

Виходячи з вище наведених формул, для будь-якого значення  $t_e$  отримаємо:

$$T_m(t_e) = t_i + \left( \frac{H \cdot (t_i - t_e)}{K} \right)^{1/n_r} = t_i + (T_m - t_i) \cdot \left( \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{i,\min}} \right)^{1/n_r},$$

де  $t_{i,\min}$  – найнижча температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С.

Щоб розкласти отримані значення для подавального та зворотнього трубопроводів, використано наступні вирази відповідно:

$$T_s = T_m + \frac{\Delta T}{2} \text{ та } T_r = T_m - \frac{\Delta T}{2},$$

де  $\Delta T = T_s - T_r$  – різниця температур між максимальними значеннями подавального та зворотнього трубопроводів, °С.

Для оцінки та аналізу доцільності застосування низькотемпературних графіків промодельюємо їх використання у комбінованих системах енергозабезпечення будівель з тепловими насосами. Ефективність ТН обумовлена особливостями термодинамічного циклу, що визначаються, передусім, типом холодоагенту та компресора. Найбільш ефективним, на сьогодні, вважаються спіральні компресори. В системі опалення з відбором енергії з зовнішнього повітря використовують холодоагенти R410A і R290, які дозволяють отримати високі значення COP в широкому діапазоні робочих температур. Водночас, ці холодоагенти мають високі значення COP в діапазоні температур зовнішнього повітря 0 – -5°С, який є найбільш тривалим упродовж опалювального сезону з урахуванням фактичних кліматичних змін.

Опалювальний сезон у м. Дніпро характеризується розмахом середньодобових зовнішніх температур від 8°С до -24°С відповідно до ДСТУ-НБВ.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». Розглянемо типові енергетичні характеристики теплових насосів зі спіральними компресорами та холодоагентами R410A і R290 типу повітря-вода (рис. 1).

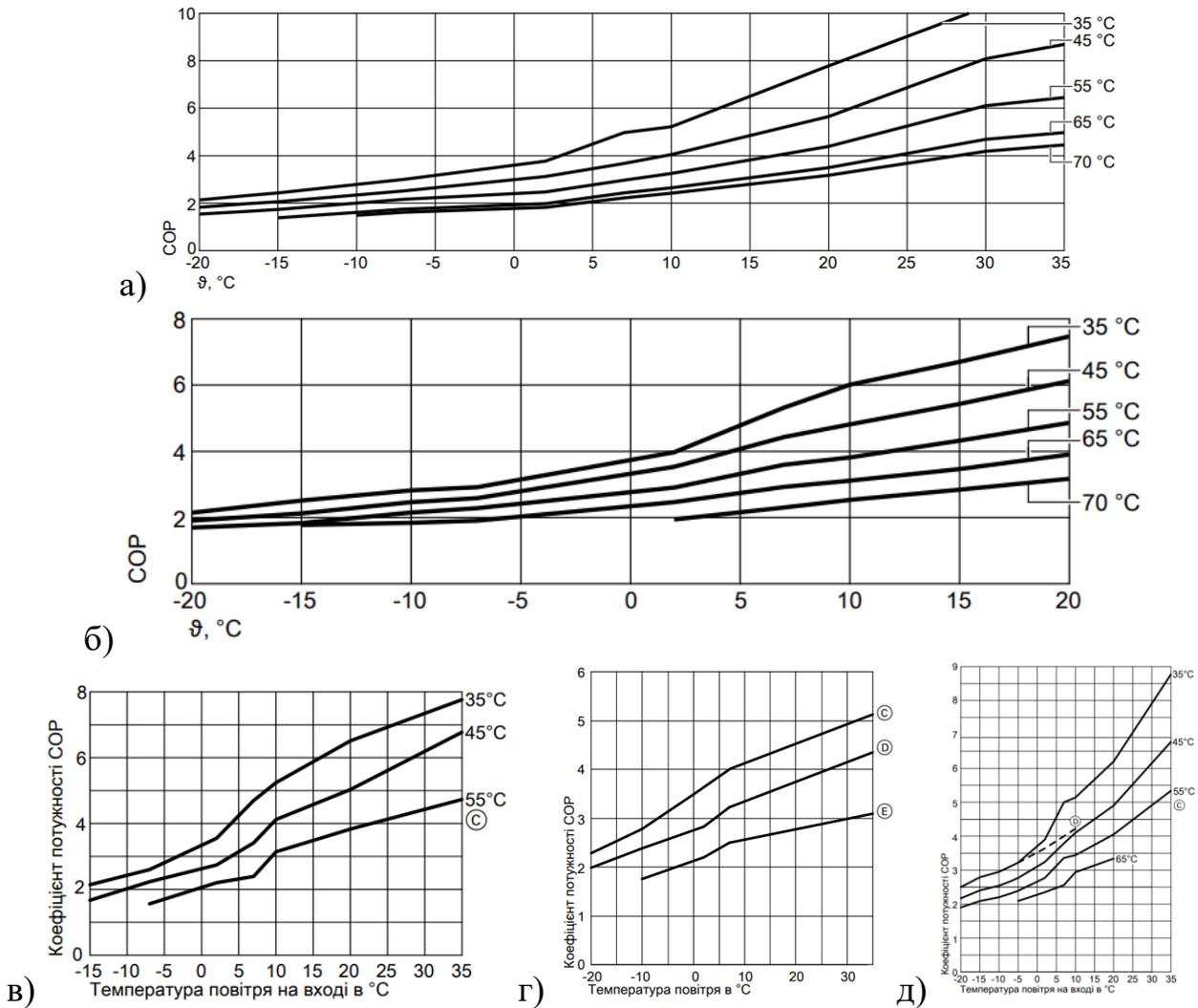


Рис. 1. Характеристики теплових насосів типу повітря-вода:

- а) Vitocal 150-A типу AWO-M-E-AC 151.A04;
- б) Vitocal 250-A типу AWO-AC-AF 251.A40;
- в) Vitocal 200-A типу AWCI-AC 201.A10;
- г) Vitocal 350-A типу AWHI/AWHO-AC 351.A14;
- д) Vitocal 300-A типу AWO-AC 301.B11.

Виходячи з наведених на рис. 1 характеристик бачимо, що робочий температурний діапазон ТН лежить у межах від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $35^{\circ}\text{C}$ , а температура подаючої магістралі змінюється від  $35^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$ . Тому доцільно використовувати низькотемпературні графіки подачі теплоносія для ефективної роботи ТН.

Промодельюємо режими роботи теплових насосів для різних температурних графіків. Спершу розглянемо високотемпературний графік 80/60, який рекомендує використовувати ДБН. Користуючись кривими, які характеризують ТН, будемо залежності COP від зовнішньої температури з врахуванням змін температури теплоносія подаючої магістралі відповідно до температурних графіків роботи систем опалення (рис. 2).

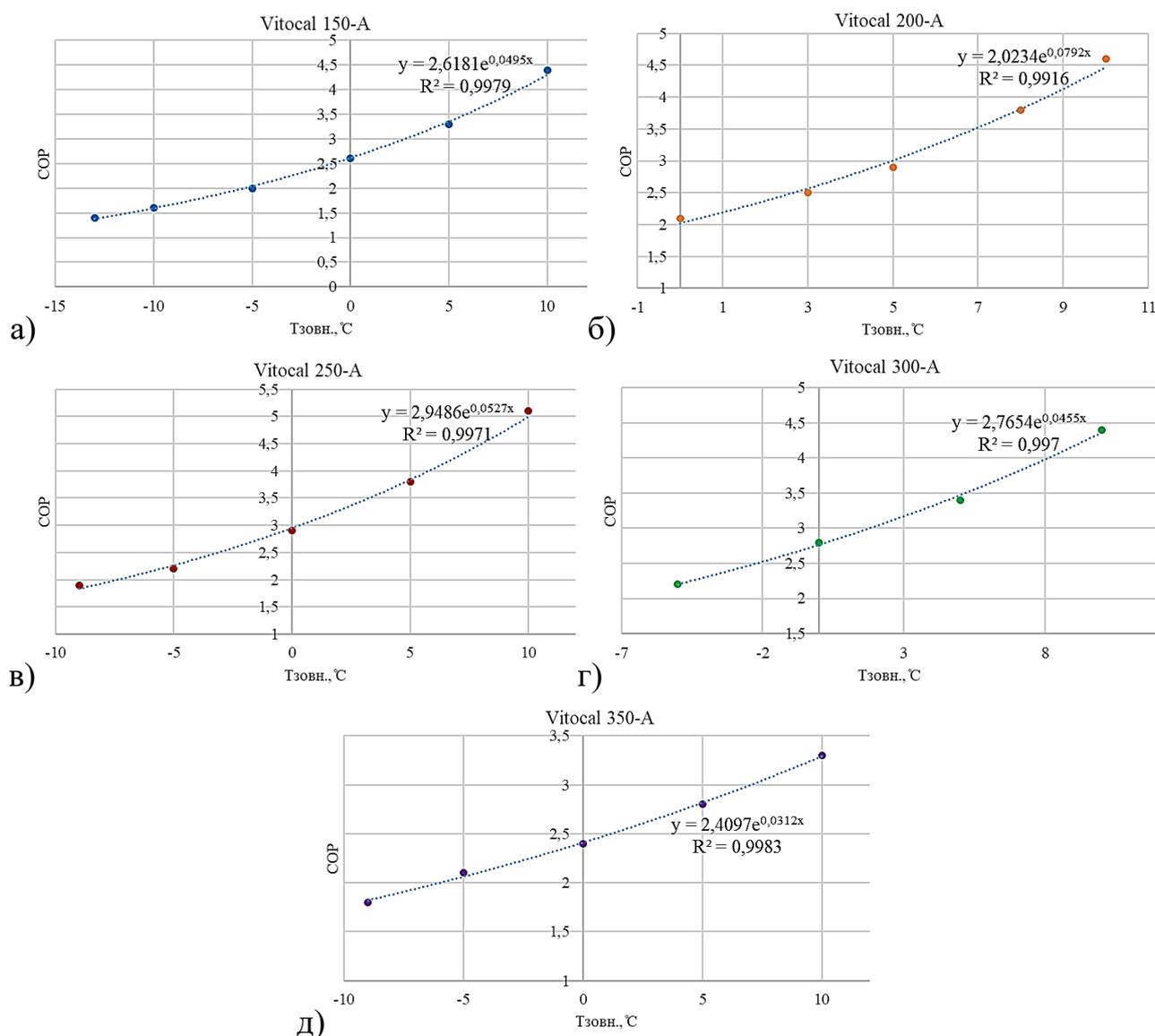


Рис. 2. Залежності COP від зовнішньої температури для високотемпературного графіку 80/60 різними видами ТН:

- а) Vitocal 150-A типу AWO-M-E-AC 151.A04;
- б) Vitocal 200-A типу AWC1-AC 201.A10;
- в) Vitocal 250-A типу AWO-AC-AF 251.A40;
- г) Vitocal 300-A типу AWO-AC 301.B11;
- д) Vitocal 350-A типу AWH1/AWHO-AC 351.A14.

Аналогічно виконуємо моделювання для низькотемпературних графіків 60/40 (рис. 3) та 55/45 (рис. 4).

Отримані графіки залежностей коефіцієнта ефективності претворення енергії (COP) наочно демонструють, що при роботі теплових насосів у складі високотемпературних систем опалення (температурний графік 80/60) робочий діапазон зовнішніх температур обмежений значеннями від  $-13^{\circ}\text{C}$  до  $10^{\circ}\text{C}$ . При зовнішніх температурах нижчих за  $-13^{\circ}\text{C}$  температура теплоносія в подаючій магістралі системи опалення, відповідно до температурного графіка, має бути вищою, ніж здатний забезпечувати тепловий насос, тому постає задача догрівання теплоносія

за допомогою допоміжного джерела енергії. В такому випадку найдешевшим інженерним рішенням є пряме догрівання теплоносія електричними тенами в тепловому пункті будівлі. При переході на низькотемпературний графік 55/45 діапазон зовнішніх температур, в якому тепловий насос здатний покривати енергоспоживання будівлі, розширюється до  $-20^{\circ}\text{C} \dots +10^{\circ}\text{C}$ . Цей діапазон повною мірою відповідає фактичним температурам, які спостерігаються у м.Дніпро упродовж останніх років відповідно до даних архіву погодних умов [11]. Водночас, при зниженні зовнішньої температури поза  $-20^{\circ}\text{C}$ , можна також розглядати перехід на пряме електроопалення електричними тенами.

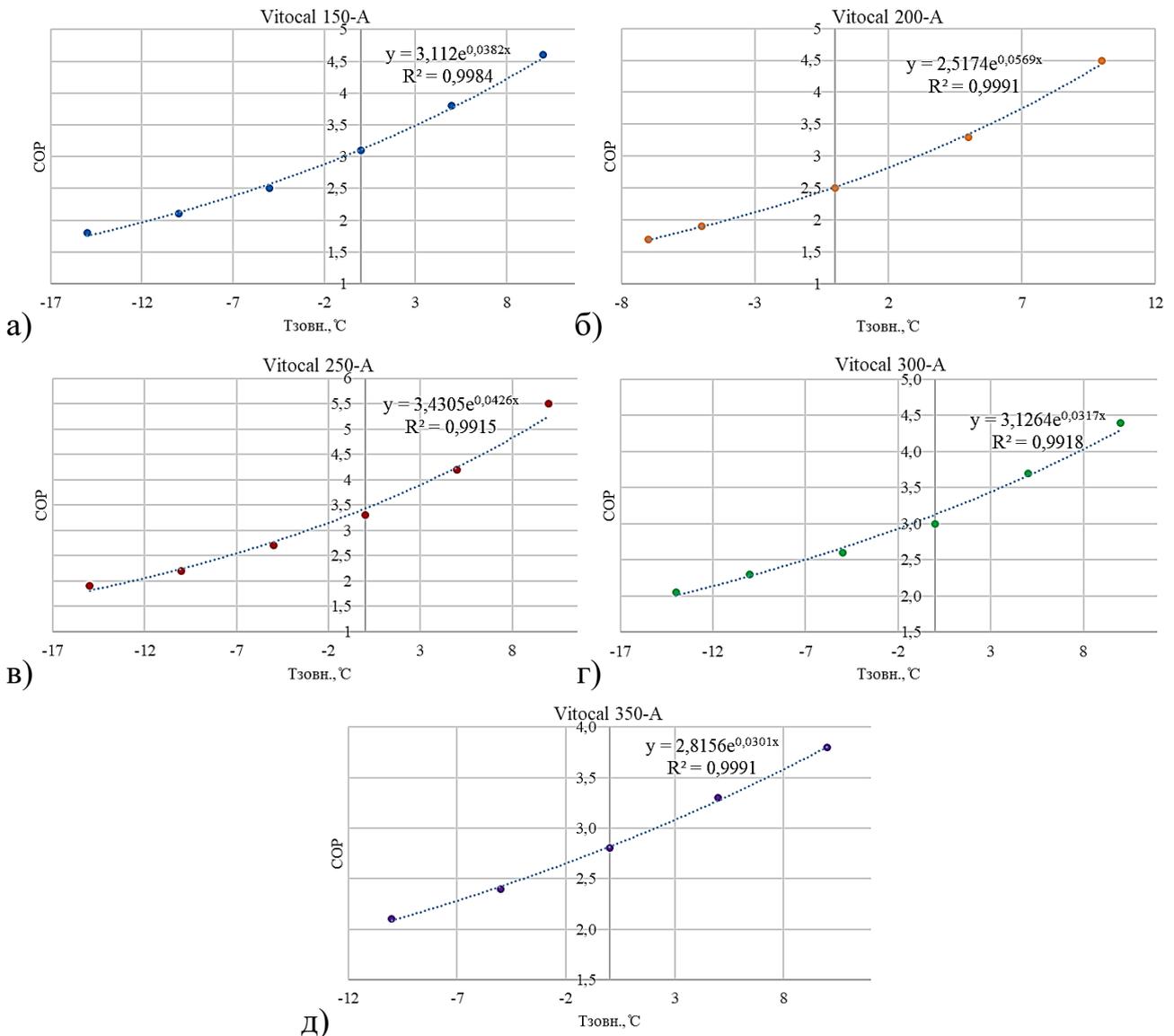


Рис. 3. Залежності COP від зовнішньої температури для низькотемпературного графіку 60/40 різними видами ТН:

- а) Vitocal 150-A типу AWO-M-E-AC 151.A04;
- б) Vitocal 200-A типу AWCI-AC 201.A10;
- в) Vitocal 250-A типу AWO-AC-AF 251.A40;
- г) Vitocal 300-A типу AWO-AC 301.B11;
- д) Vitocal 350-A типу AWHI/AWHO-AC 351.A14.

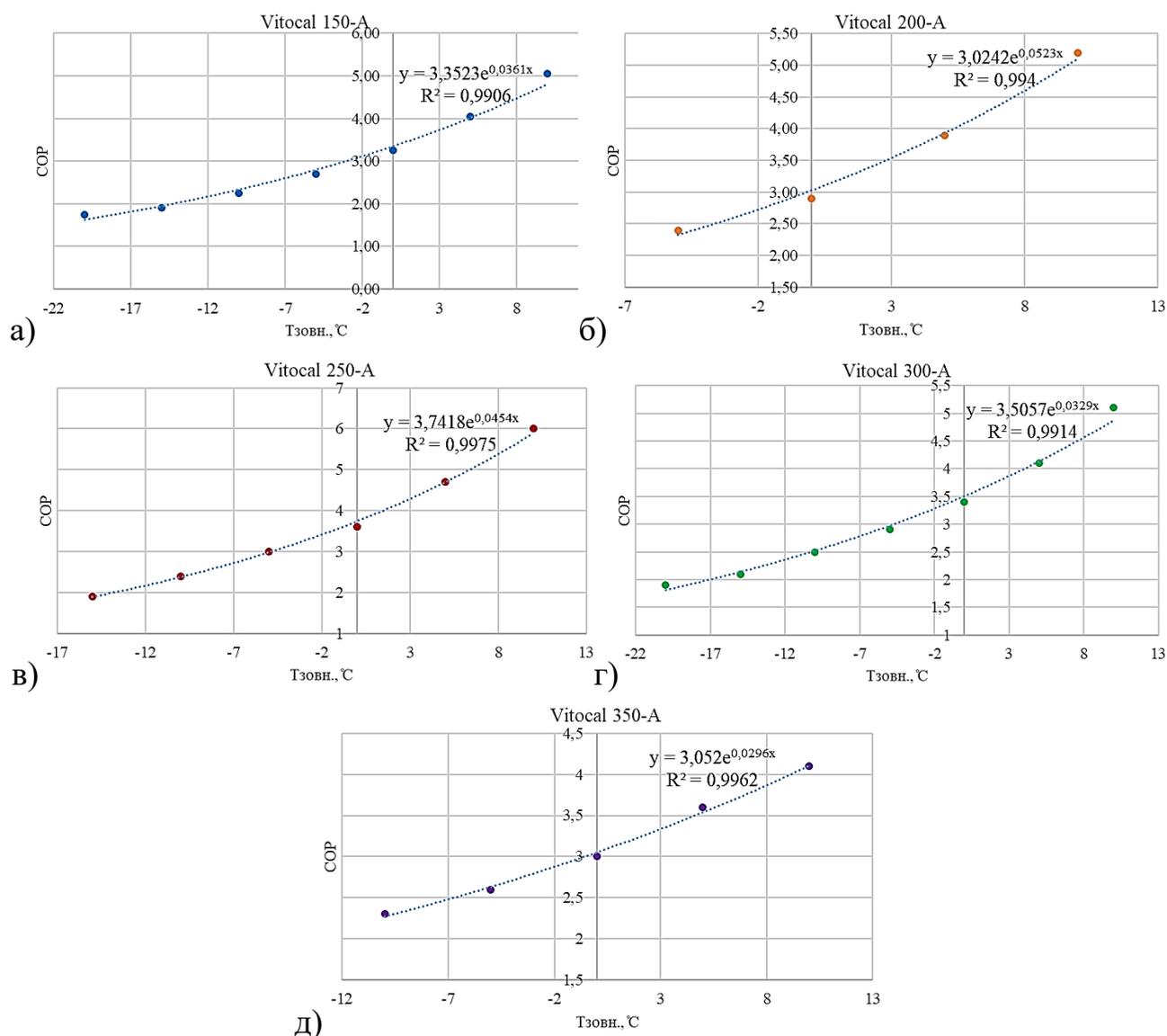


Рис. 4. Залежності COP від зовнішньої температури для низькотемпературного графіку 55/45 різними видами ТН:

- а) Vitocal 150-A типу AWO-M-E-AC 151.A04;
- б) Vitocal 200-A типу AWC1-AC 201.A10;
- в) Vitocal 250-A типу AWO-AC-AF 251.A40;
- г) Vitocal 300-A типу AWO-AC 301.B11;
- д) Vitocal 350-A типу AWH1/AWHO-AC 351.A14.

Для оцінки енергетичної ефективності переходу на системи енергозабезпечення будівель з використанням теплових насосів у якості основного джерела енергії та електричних тенів у якості допоміжного джерела, проаналізуємо сезонний коефіцієнт претворення енергії в системі енергозабезпечення будівлі. При цьому електричну енергію, яка споживається електричними тенами, що працюють в якості допоміжного джерела енергії, будемо додавати до електроенергії, яка споживається тепловим насосом. Таким чином, сезонний коефіцієнт перетворення енергії для системи енергозабезпечення будівлі визначатимемо за співвідношенням:

$$SCOP_{cucm} = \frac{E_{менл}}{E_{ee,ТН} + E_{ee,ТЕН}},$$

де  $E_{менл}$  – споживана теплова енергія будівлею за опалювальний період, кВт·год;  $E_{ee,ТН}$  – теплова енергія, що виробляється ТН, кВт·год;  $E_{ee,ТЕН}$  – теплова енергія, що виробляється системою прямого догріву, кВт·год.

Моделювання роботи теплового насоса з електричними тенами в системі енергозабезпечення будівлі виконано для фактичних температур зовнішнього повітря для м. Дніпро упродовж опалювального сезону 2023/2024 рр. Опалювальний сезон за фактичними значеннями температур, як правило, розпочинається з 1 листопада і триває до 31 березня, тож отримані результати визначені для вказаного опалювального періоду. Встановлено, що при роботі системи з високотемпературним графіком 80/60 сезонний коефіцієнт перетворення енергії  $SCOP_{cucm(80/60)} = 2,68$ . При переході на низькотемпературний графік роботи системи опалення сезонний коефіцієнт перетворення енергії очікується на рівні  $SCOP_{cucm(55/45)} = 3,54$ . Різниця формується одночасно за рахунок підвищення загальної ефективності використання теплового насоса при забезпеченні нижчої температури в подавальному трубопроводі, а також за рахунок розширення робочого діапазону температур теплового насоса і зменшення тривалості роботи системи прямого електроопалення за допомогою тенів.

**Висновки.** В результаті моделювання роботи теплових насосів, з урахуванням фактичних температур зовнішнього повітря протягом опалювального сезону, визначено SCOP для двох режимів роботи системи енергозабезпечення. Перехід на низькотемпературні графіки опалення багатоквартирних житлових будинків дозволяє скоротити очікуване споживання електричної енергії на 71,8% з урахуванням переходу на режими прямого електричного опалення при екстремальних низьких зовнішніх температурах. Перехід на низькотемпературний графік роботи системи опалення дозволяє розширити діапазон робочих зовнішніх температур з -5 °C до -20 °C та скоротити очікувану тривалість режимів прямого електричного опалення на 28,4% з 240 год до 0 год упродовж опалювального сезону з урахуванням осереднених фактичних зовнішніх температур.

#### Перелік посилань

1. Toleikyte, A., Lecomte, E., Volt, J., Lyons, L., Roca Reina, J.C., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Wegener, M. and Schmitz, A., (2024). *Clean Energy Technology Observatory: Heat Pumps in the European Union : Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/7205477>
2. Lower temperatures, higher efficiency: The pivotal role of heat pumps in building energy renovation. (2025). *BUILD UP*.
3. Heat Pumps in Multi-Family Buildings: The key to urban energy efficiency. (2025). *Heat Pumps Watch*.
4. Kim, J., James, N., & Maguire, J. (2024). *Investigation of a high-temperature combination heat pump for lower-cost electrification in multifamily buildings*. *Applied Energy*.
5. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. (2013). *ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування*. <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>

6. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. (2008). ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі. <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/96.1.-DBN-V.2.5-392008.-Inzhenerne-obladnannya-budinkiv-i.pdf>
7. Euroheat & Power. (2014). *Low-temperature district heating (LTDH): Guidelines for transition in new and existing areas*. [https://eudp.dk/files/slutrappporter/euroheatpower\\_newguidelinelowtemperatedh\\_1.pdf](https://eudp.dk/files/slutrappporter/euroheatpower_newguidelinelowtemperatedh_1.pdf)
8. Теплоенергетика. Температурні графіки. [https://www.ter-en.com/ua/calculation/temperaturnyy\\_grafik](https://www.ter-en.com/ua/calculation/temperaturnyy_grafik)
9. Теплоенергетика. Температурний графік 90/70 °C [https://www.ter-en.com/calon/example/tg\\_90\\_70\\_ua.pdf](https://www.ter-en.com/calon/example/tg_90_70_ua.pdf)
10. Теплоенергетика. Температурний графік 80/60 °C [https://www.ter-en.com/calon/example/tg\\_80\\_60\\_ua.pdf](https://www.ter-en.com/calon/example/tg_80_60_ua.pdf)
11. Архів погодних умов. <https://meteopost.com/weather/archive/>

#### ABSTRACT

**Purpose.** To assess the efficiency of the operating modes of heating systems in multi-apartment residential buildings, taking into account actual changes in outdoor temperatures during the heating season and investigate the regularities of the formation of temperature schedules of building energy supply systems and the features of the operating modes of bivalent heat supply systems using heat pumps and electric heaters.

**The methods.** The efficiency of temperature schedule utilization in residential building energy supply systems was modeled using statistical data analysis, which made it possible to identify the dependence of the seasonal coefficient of performance (SCOP) on the ambient temperature parameter.

**Findings.** An analysis of the operating range of heat pumps was carried out for different temperature schedules of the energy supply of a residential multi-apartment building in the city of Dnipro. As a result of the modeling, regularities of changes in the energy conversion efficiency coefficient from the external air temperature parameter were established, which allows us to estimate the SCOP of heat pumps for the heating period when using different types of temperature schedules and determine the most appropriate method of using systems with heat pumps.

**The originality.** The regularities of the change in the seasonal coefficient of energy conversion efficiency SCOP from the parameter of the external air temperature for different temperature schedules of the operation of the bivalent energy supply system of multi-apartment residential buildings based on a heat pump and an electric heater were established. The efficiency of the operation of heat pumps of different types was estimated at the averaged actual values of the ambient temperature during the heating season.

**Practical implementation.** The obtained modeling results can be used when selecting the parameters of the energy supply systems of residential multi-apartment buildings for the rational choice of the operating mode.

**Keywords:** *energy efficiency, bivalent building energy supply systems, climate change adaptation, heat pumps.*

дата першого надходження статті до видання	03.10.2025
дата прийняття до друку статті після рецензування	09.11.2025
дата публікації (оприлюднення)	29.12.2025