

УДК 620.9

доцент **Павло Гламаздин**,  
sib.kiev@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2611-2687,

аспірант **Богдан Козячина**,  
bohthankoziachyna@gmail.com, ORCID: 0009-0000-6972-3862,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ВРАХУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ПРИ ПОБУДОВІ ГРАФІКА РОСАНДЕРА**

***Анотація.** Важливим інструментом при розробленні джерел теплоти є графік тривалості теплових навантажень протягом опалювального періоду (графік Росандера). Побудова графіка Росандера неможлива без даних про тривалість стояння температур зовнішнього повітря протягом опалювального періоду. В роботі розкрито проблему відсутності актуальних температурних даних, необхідних для побудови графіка Росандера в чинних нормативах. Проведено аналіз попередніх досліджень, у яких визначено температурні дані з тривалістю стояння, а також обґрунтовано необхідність їх уточнення. Оброблено масиви погодинних температур зовнішнього повітря за двома погодними моделями, а також масив середньодобових температур, отриманих у результаті вимірювань з метеостанції для географічного розташування головного корпусу КНУБА. У результаті порівняльного аналізу виявлено ближчу до дійсності модель та розроблено на її основі актуальні дані щодо тривалості стояння температур зовнішнього повітря для міста Києва з кроком температур 1 °С. Проведено порівняння отриманих температурних даних з тими, що були визначені в попередніх дослідженнях, а також температурними даними, що містяться у скасованому нормативі. Побудовано криву багаторічного ходу середніх ковзких температур зовнішнього повітря зимових періодів 1973-2023 рр. і її поліноміальний тренд та проведено їх порівняння із кривою, що характеризує хід ковзких середніх п'ятирічних температур зимових періодів 1861-1970 рр.*

*Ключові слова:* кліматичні зміни; графік Росандера; тривалість стояння температур.

**Вступ** Кліматичні умови мають безпосередній вплив на проєктування та режими експлуатації більшості інженерних систем. Так само як кількість опадів впливає на проєктування систем водовідведення [1], інтенсивність сонячного випромінювання впливає на проєктування фотоелектричних систем та геліосистем [2], так і температура атмосферного повітря впливає на проєктування та показники енергетичної ефективності всіх елементів систем теплопостачання. Її мінливість значною мірою впливає на витрату теплоти та палива з дня в день та з року в рік. Динаміка цих змін визначається впливом

широкої групи геофізичних явищ, що складним чином взаємодіють між собою. Передбачити вплив та зміни цих явищ на сьогодні є дуже складною задачею [3].

**Актуальність дослідження.** Надзвичайно важливим інструментом при розробленні джерел теплоти, який дозволяє оцінювати зміну теплових навантажень споживачів та моделювати алгоритми роботи джерел теплоти з урахуванням мінливості температури зовнішнього повітря в географічних умовах об'єктів проєктування, є графік витрати теплоти за опалювальний період (графік Росандера). Особливу цінність графік Росандера має при розробленні комбінованих джерел теплоти, що поєднують роботу відновлювальних та традиційних джерел теплоти. Адже побудова та інтегрування кривих теплової потужності джерел у складі комбінованого джерела теплоти на графіку Росандера дозволяє визначити ступінь їх участі в річному виробництві теплоти [4], що у свою чергу дає змогу наближено розрахувати термін окупності обладнання на стадії проєктування та дозволяє точніше коригувати алгоритми роботи джерел теплоти за можливої зміни розташування точки бівалентності у майбутньому. Робота відновлювальних джерел теплоти порівняно з традиційними джерелами є ефективнішою та економічнішою лише за певних умов. Вартість такого обладнання, зазвичай, є значно вищою за вартість обладнання традиційних джерел теплоти. Тому можна зробити висновок про важливість побудови графіку при вирішенні описаних задач.

Інформація про повторюваність температур зовнішнього повітря протягом опалювального періоду є невід'ємною складовою графіка Росандера, без якої його побудова неможлива. Ці дані накопичуються в результаті безперервних багаторічних спостережень за кліматом. Вони містять інформацію про тривалість стояння певних проміжків температур (зазвичай ці проміжки становлять 1...5 °C). Дані про повторюваність температур зовнішнього повітря для конкретного регіону зазвичай наявні в нормативних документах та довідниках. Надважливими ознаками даних про повторюваність температур зовнішнього повітря, що безпосередньо впливають на точність побудови графіка, є їх актуальність та величина часового проміжку, прийнята при їх розробленні. Значущість впливу актуальності температурних даних залежить від характеру кліматичних змін, що відбулися з моменту розробки таблиць часу стояння температур або їх останнього уточнення до моменту побудови графіку Росандера при проєктуванні джерела теплоти. Проаналізувавши графік багаторічного ходу температур атмосферного повітря протягом зимових періодів в місті Києві [5] (рис 6), можна зробити висновок, що він складається з областей зростання та спадання температур, які хаотично замінюють одна одну. Тому, якщо аналізований часовий проміжок буде замалим, збільшується

ймовірність охоплення значною мірою лише області потепління або похолодання. Тому результати дослідження не відобразатимуть дійсний температурний хід опалювальних періодів. Це спричинить хибність графіка, а отже, можливу помилку вибору обладнання. У нормативних документах цей часовий проміжок зазвичай приймається не менше ніж 45 років.

У чинному ДСТУ-Н Б В.1.1 27:2010 «Будівельна кліматологія» відсутні дані про тривалість стояння температур зовнішнього повітря. В документі наявна інформація про розрахункову температуру зовнішнього повітря на опалення, розрахункову тривалість опалювального періоду, середньомісячні температури та кількість градусоднів для більшості міст України, що дозволяє розрахувати величину максимального теплового навантаження та визначити приблизну кількість теплоти, що може бути спожитою за опалювальний період, але немає даних про повторюваність температур зовнішнього повітря.

У попередньому нормативі СНіП 2.01.01.82 «Будівельна кліматологія і геофізика» дані про повторюваність температур зовнішнього повітря наявні, але вони базуються на кліматичних спостереженнях у період 1925-1975 рр. З урахуванням кліматичних змін останніх десятиліть їх можна вважати застарілими.

**Останні дослідження та публікації.** З проблемою застарілості та неповноти кліматичних нормативів зіштовхнулись і інші дослідники [6-9].

Дослідження в [6, 7] проводилися ще до появи ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія», тому головною метою даних робіт було виявлення впливу фактичних кліматичних умов на системи теплопостачання з метою впровадження додаткових заходів збереження енергоресурсів та внесення поправок до чинного на той час СНіП 2.01.01.82 «Строительная климатология и геофизика». Сутність досліджень полягала в аналізі добових та середньомісячних температур опалювальних періодів (терміни опалювальних періодів були прийняті з 15 жовтня по 15 квітня) 1996-2010 рр. для міста Києва, отриманих від Укргідрометеоцентру. При цьому результати порівняно з даними чинного на той час нормативного документу. У результаті було виявлено, що тривалість стояння всіх проміжків температур до  $+8^{\circ}\text{C}$  відхиляється від нормативних значень у менший бік. Натомість повторюваність температур вище  $+8^{\circ}\text{C}$  відхиляється в більший бік. Це засвідчує певне потепління. Визначено, що розрахункова температура на опалення (для Києва –  $-22^{\circ}\text{C}$ ), на яку за нормами проектується обладнання систем теплопостачання, утримується всього протягом декількох годин за опалювальний період. Отже, потенціал вибраного обладнання буде повністю використовуватися лише один день на рік у середньому. Для вирішення цієї проблеми в роботі пропонується створення комбінованих джерел теплоти, які передбачатимуть базові елементи для

забезпечення опалення до настання тих температур, нижче яких частота стояння знижується (для умов Києва це близько  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та пікові джерела. Однак, для проєктування таких джерел теплоти пропонується використовувати інтегральний графік теплового навантаження за опалювальний період. Це є хибним за наявності повітряних теплових насосів у складі комбінованого джерела теплоти [4].

У ході дослідження було виявлено, що деяку частину опалювального періоду тривають температури вище ніж  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Проте з урахуванням наявності коливань як в більший, так і в менший бік у перехідні періоди було запропоновано місцеве обмеження подачі теплоти в ці періоди замість скорочення строку опалювального періоду. Однак, слід зазначити, що в подальшому скорочення офіційного терміну опалювального періоду все ж відбулося. У відміненому нормативному документі тривалість опалювального періоду для міста Києва була близько 4448 годин, а в чинному нині документі її було скорочено до 4224 годин, що менше приблизно на 9 діб.

У підсумку тема даного дослідження, а також зроблені в ньому висновки, є дуже актуальними і дотепер. Зокрема важливим є висновок про потребу врахування актуальних кліматичних даних для більш точного проєктування систем теплопостачання та необхідності встановлення комбінованих джерел теплоти. Але через малий часовий відрізок аналізу (всього 15 років) та інтервали температур в  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для розроблених даних можна зробити висновок про їх недостатню точність і достовірність, що може значною мірою вплинути на правильність вибору обладнання та якість техніко-економічного розрахунку.

Дослідження [9] було проведено після виходу та набуття чинності ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». Тому метою даної роботи було заповнення прогалини в цих нормах – відсутності даних про тривалість стояння температур зовнішнього повітря. Для цього було проведено аналіз масивів температур зовнішнього повітря за опалювальні періоди 2005-2018 рр., отриманих від метеорологічних станцій у різних обласних центрах України. Терміни опалювальних періодів для аналізу приймалися згідно з нормативом для кожної області відповідно. У ході дослідження, як і в попередніх роботах [6, 7], було виявлено, що не всі температури протягом опалювального періоду були нижче  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Але в даному дослідженні на відміну від попереднього були відкинуті температури вищі за  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а тому тривалість опалювального періоду для всіх областей було скорочено. Зокрема для Києва тривалість була зменшена до 3725 годин, що на 20 діб менше від нормативної тривалості. У роботі [7] зазначалося, що в перехідні періоди спостерігається значне коливання середньодобових температур як в більшу, так і в меншу сторони. Тому доцільнішим рішенням є місцеве обмеження подачі теплоти замість скорочення

опалювального періоду. А в будівлях з автономними джерелами теплоти опалювальний період може починатись і закінчуватись при температурах зовнішнього повітря вище  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  залежно від вподобань щодо теплового комфорту мешканців та відвідувачів. Тому загальна витрата теплоти за розрахунковий опалювальний період, визначена за даними стояння температур, що обмежуються  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  буде неповною. Інтервали температур становлять від 1 до  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отже, результати більш деталізовано, ніж у даних, отриманих в попередньому дослідженні. Проте скорочення тривалості опалювального періоду та замалий часовий відрізок опалювальних періодів (всього 13 років), прийнятий до аналізу, не дають можливості підвищити точність побудови графіка Росандера.

**Формулювання цілей статті.** Аналіз попередніх досліджень [6, 7, 8, 9] показав, що необхідність визначення даних щодо тривалості стояння температур зовнішнього повітря досі залишається актуальною. Тому метою цієї роботи є проаналізувати дані стояння температур зовнішнього повітря для інтервалів температур в  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  з урахуванням усіх температур, що охоплюють нормативні межі опалювального періоду для міста Києва. Досягти цього можна, проаналізувавши масив температур кожної години опалювальних періодів за більш тривалий часовий проміжок. Дане дослідження дозволить актуалізувати, уточнити та доповнити результати проведених раніше досліджень.

**Основна частина.** Для проведення цього дослідження нами був використаний архів погодинних кліматичних даних для географічних координат головного корпусу КНУБА в місті Києві від метеорологічної компанії Meteoblue [10]. Висока повнота та якість цих даних пояснюється тим, що вони є результатом моделювання клімату. Тобто цей архів містить збережені прогнози, а не вимірювання.

Погодні моделі Meteoblue ділять світ або регіон на просторові сітки з маленькими комірками. Кожна комірка має ширину від 4 до 40 км та висоту від 0,1 до 2 км. Моделі містять 60 атмосферних шарів і досягають висоти стратосфери. Погода моделюється шляхом вирішення складних математичних рівнянь, що описують взаємодію між усіма комірками сітки що кілька секунд. Змінні параметри погоди, такі як температура, швидкість вітру або хмарність, зберігаються за кожну годину. Крім великої кількості власних моделей, Meteoblue інтегрує також відкриті дані з різних джерел і вносить їх у загальну базу даних погоди. Крім того, за наявності даних кліматичних вимірювань, Meteoblue додатково порівнюють їх з результатами моделювання для досягнення найбільш реалістичного опису кліматичних явищ [10].

Оскільки офіційних і надійних метеостанцій мало, а більшість вимірювань, які вони отримують, корисні лише для радіусу від 3 до 12 км [10], можна

стверджувати, що дані моделювання клімату мають перевагу над даними вимірювань, адже моделювання охоплює будь-яке місце на землі в будь-який момент часу, на відміну від вимірювань з метеостанцій, площа покриття яких охоплює менше 1% поверхні світу [10]. Крім того, моделювання буде більш точним ніж вимірювання, зроблені на відстані 20 км чи більше від об'єкту.

З описаного кліматичного архіву для географічних координат головного корпусу КНУБА були прийняті до аналізу змодельовані дані температур за період 1985-2022 рр. (модель NEMS) та змодельовані і уточнені за допомогою вимірювань дані температур за період 1982-2022 рр. (модель ERA5T). Окрім змодельованих кліматичних даних Meteoblue, до аналізу були прийняті також дані вимірювань температури зовнішнього повітря з метеостанції в аеропорту «Київ» за період 1998-2021 рр. [11]. Метеостанція розташована на відстані приблизно 3,5 км від будівлі головного корпусу КНУБА, що говорить про достатню достовірність результатів її вимірювань відносно університету. Однак, на відміну від даних Meteoblue, дані вимірювань використовувались середньодобові, а не погодинні, що вносить деяку похибку. Для оброблення масиву даних використовувалася програма Excel з програмного пакету Microsoft Office.

Температурні дані завантажувались окремо для кожного року та кожної моделі. Як часові проміжки для завантаження було обрано періоди з 15 жовтня по 15 квітня для кожного року з метою охоплення нормативних меж опалювального періоду з деяким «запасом». Загалом тривалість цього часового проміжку становить 4392 години для звичайного та 4416 годин для високосного року.

Наступним кроком здійснювалося сортування масивів температур за величиною, тобто за спаданням температур, окремо для кожного року та для кожного різновиду даних. Після цього проводився розрахунок повторюваності проміжків температур в 1 °C також окремо для кожного року та різновиду даних. Далі розраховувалося середнє арифметичне значення тривалості стояння кожного проміжку температур за прийняті роки для кожного різновиду даних окремо. Для розрахованих значень середніх тривалостей стояння температур визначалися довірчі інтервали за методикою [12].

Результати розрахунку тривалості стояння проміжків температур та середнє значення тривалості кожного проміжку разом з довірчими інтервалами зображено на графіках тривалості стояння проміжків температур: за даними моделі NEMS на рис. 1, за даними уточненої вимірюваннями моделі ERA5T на рис. 2, за даними вимірювань з метеостанції в аеропорту «Київ» на рис. 3 і порівняння даних на рис. 4. Представлено розподіл частот повторюваності кожного проміжку температур за відповідні опалювальні періоди.

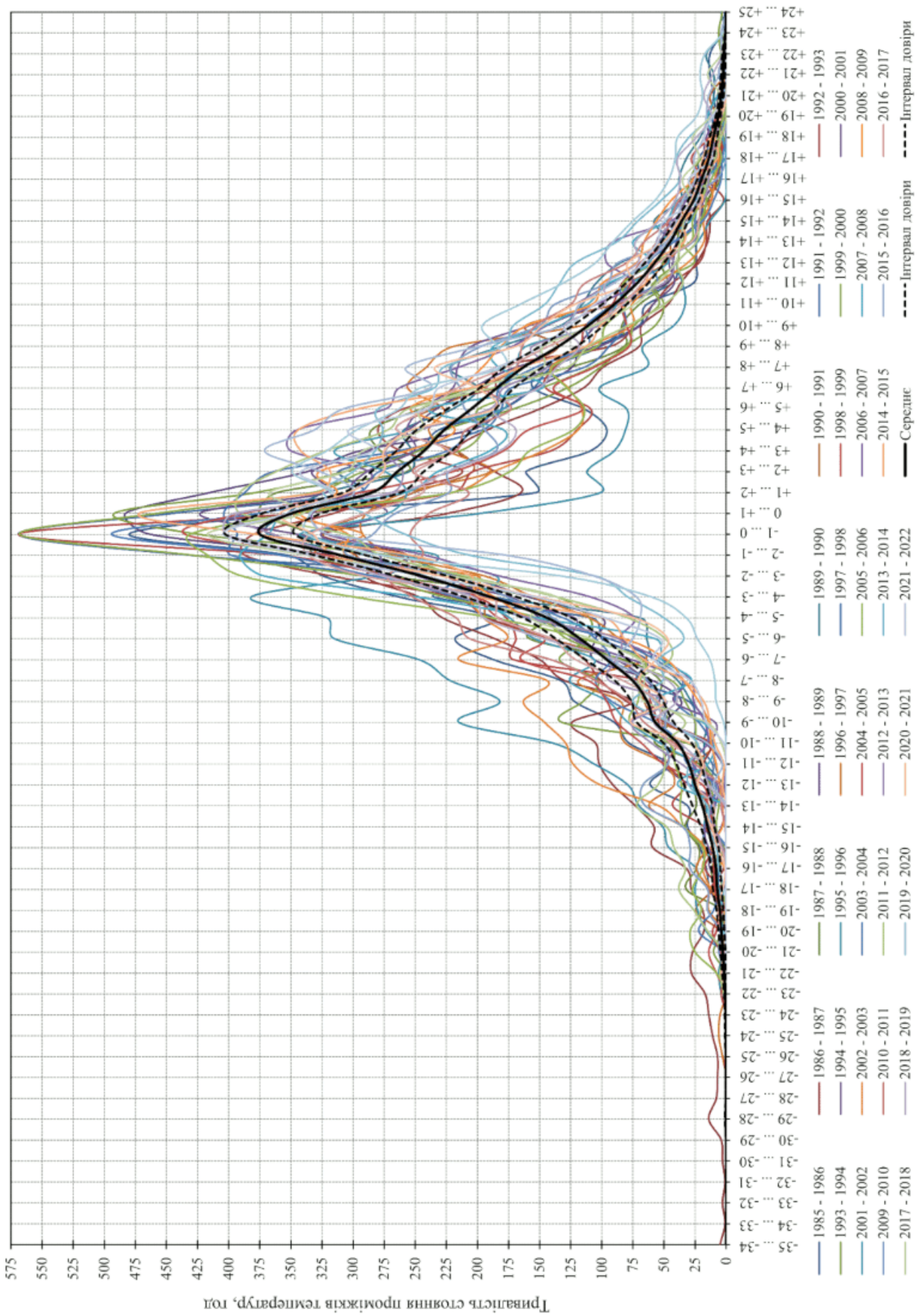


Рис. 1. Графік тривалості стояння проміжків температур прогрягом опалювальних періодів 1985 – 2022 років згідно з моделлю NEMS.

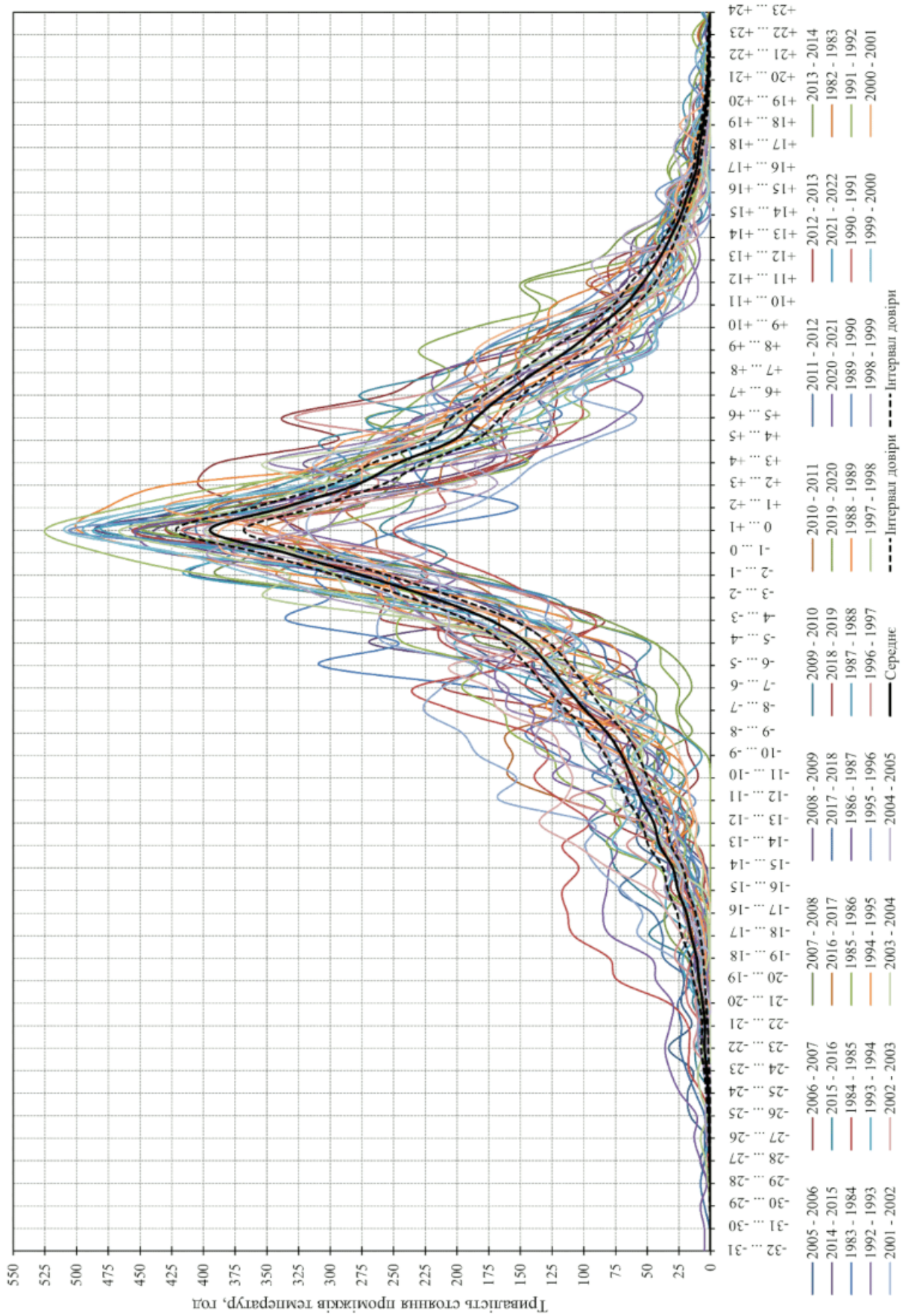


Рис. 2. Графік тривалості стояння проміжків температур протягом опалювальних періодів 1982 - 2022 рр. згідно з моделлю ERA5.



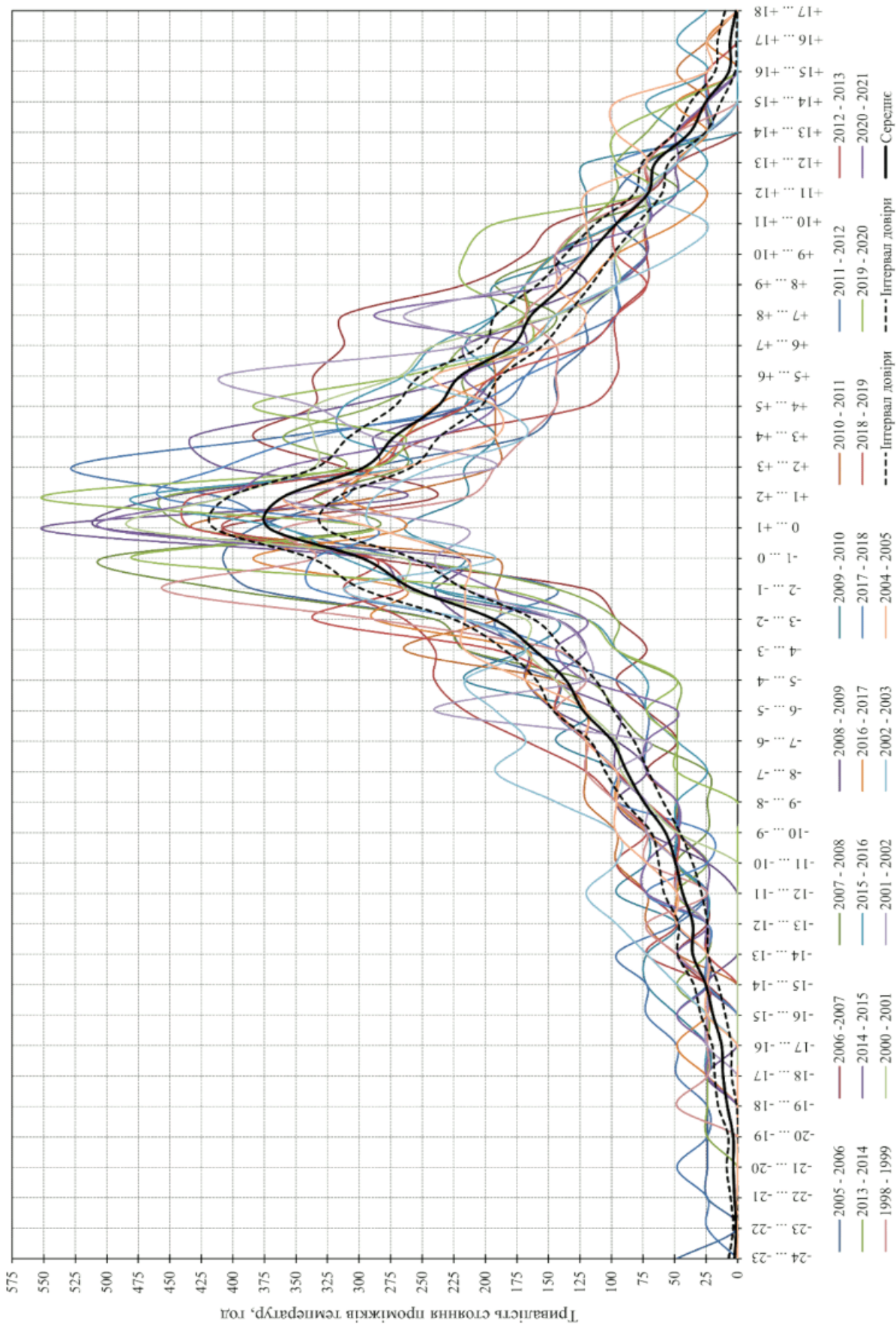


Рис. 3. Графік Тривалості стояння проміжків температур протягом опалювальних періодів 1998 – 2021 рр. згідно результатів вимірювань в аеропорту «Київ».

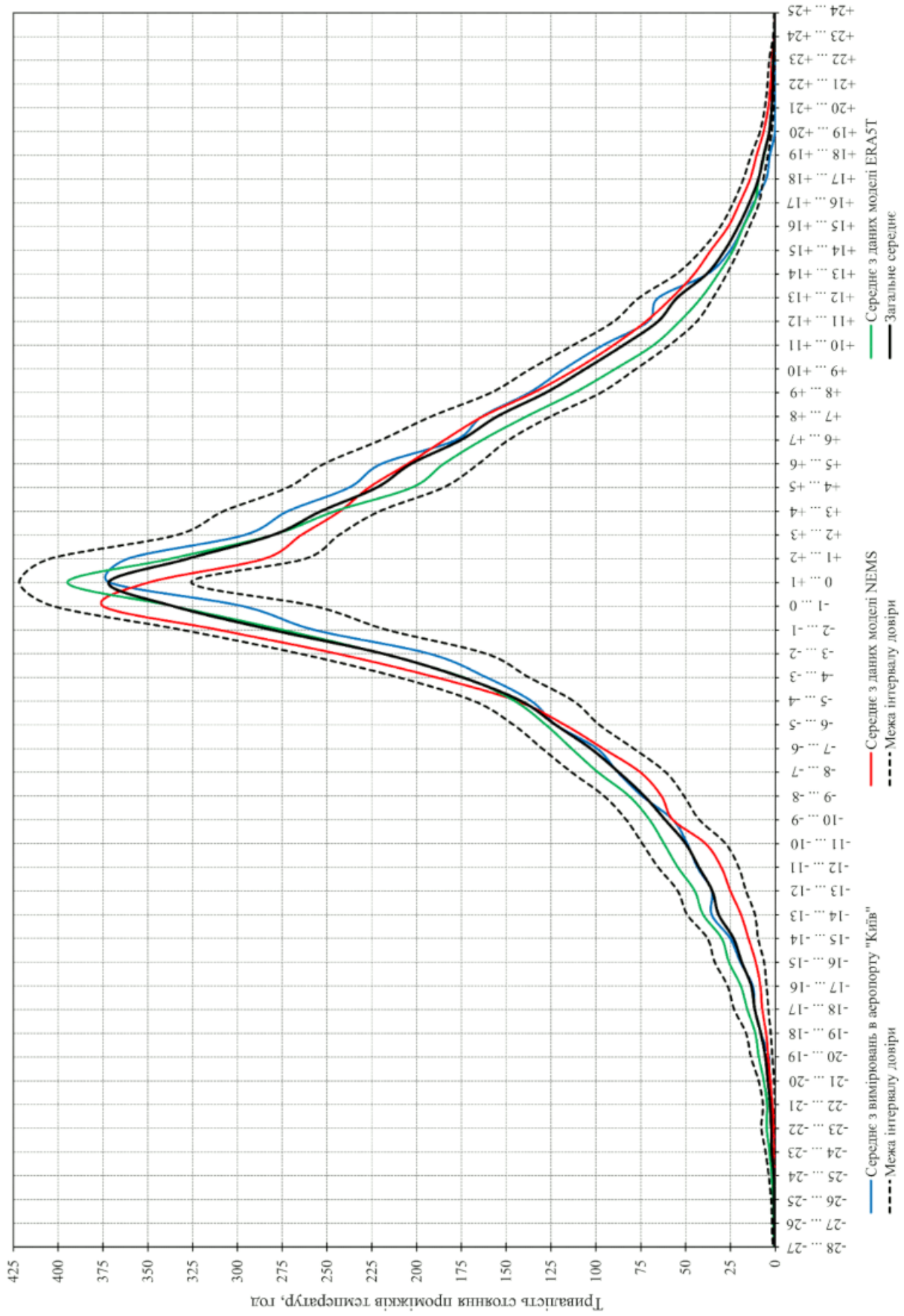


Рис. 4. Порівняння середніх тривалостей стояння проміжків зовнішнього повітря, визначених за різними кліматичними даними.

З представлених графіків видно, що розмах тривалостей стояння температур окремих опалювальних періодів відносно одне одного доволі великий. Для деяких проміжків температур він досягає 300 годин, що рівноцінно 12 добам стояння цього проміжку. Найбільший розмах тривалостей спостерігається для проміжків температур, які утримуються найдовше (від мінус 1 до плюс 1 °C), що підтверджується довірчими інтервалами в цих проміжках. Зображені довірчі інтервали показують межі, які з 95 % ймовірністю охоплюють істинне середнє значення тривалості кожного проміжку температур. Довірчі інтервали в проміжках, що стоять найдовше, мають ширші межі. Але навіть при цьому найбільше можливе відхилення від середнього не перевищує двох діб.

Найбільший розкид даних за всіма проміжками температур спостерігається на графіку, побудованому на основі результатів вимірювань з метеостанції в аеропорту «Київ» (рис. 3). Це підтверджується також і ширшим, порівняно з іншими моделями, довірчим інтервалом. Це пояснюється використанням середньодобових температур замість погодинних при розрахунку тривалості стояння температур та майже вдвічі меншим часовим проміжком даних, доступних до аналізу, порівняно з моделями NEMS та ERA5T. Враховуючи перелічені недоліки, представлені дані вимірювань з метеостанції можна вважати більш «грубими» порівняно з моделями. Але це не є проблемою, якщо враховувати, що головною метою аналізу масиву температур з метеостанції є не аналіз даних стояння температур, а виявлення моделі, що є більш наближеною до дійсності.

Довірчий інтервал усередненої кривої (рис. 4) складається з довірчих інтервалів усіх варіантів масивів даних. З представленого порівняльного графіку видно, що «найхолоднішою» моделлю через найбільшу тривалість низьких температур виявилася модель ERA5T. Але оскільки вона не занижує тривалість стояння низьких температур відносно даних вимірювань з метеостанції, так як це робить модель NEMS, можна стверджувати, що вона є точнішою з представлених. Даний факт підтверджується також і розробниками даних моделей [10]. Тому для формування даних щодо тривалості стояння температур зовнішнього повітря були прийняті результати розрахунків за даними моделі ERA5T. Розраховані в результаті аналізу масиву погодинних температур зовнішнього повітря опалювальних періодів 1982-2022 рр. за моделлю ERA5T дані стояння температур з проміжками в 1 °C представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Середня тривалість стояння проміжків температур зовнішнього повітря для міста Києва, визначена на основі даних моделі ERA5T

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Діапазон температур	-26 ... -25,1	-25 ... -24,1	-24 ... -23,1	-23 ... -22,1	-22 ... -21,1	-21 ... -20,1	-20 ... -19,1	-19 ... -18,1	-18 ... -17,1	-17 ... -16,1	-16 ... -15,1	-15 ... -14,1	-14 ... -13,1	-13 ... -12,1	-12 ... -11,1	-11 ... -10,1
Кільк. годин з темп. в даному інтервалі, год	1	2	3	4	5	6	9	11	15	19	26	30	40	45	54	62
Кільк. годин з темп. нижче за дану, год	1	3	6	10	15	21	30	41	56	75	101	131	171	216	270	332

№	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Діапазон температур	-10 ... -9,1	-9 ... -8,1	-8 ... -7,1	-7 ... -6,1	-6 ... -5,1	-5 ... -4,1	-4 ... -3,1	-3 ... -2,1	-2 ... -1,1	-1 ... -0,1	0 ... 0,9	1 ... 1,9	2 ... 2,9	3 ... 3,9	4 ... 4,9	5 ... 5,9
Кільк. годин з темп. в даному інтервалі, год	70	81	99	114	128	145	173	219	276	337	396	338	280	247	203	186
Кільк. годин з темп. нижче за дану, год	402	483	582	696	824	969	1142	1361	1637	1974	2370	2708	2988	3235	3438	3624

№	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Діапазон температур	6 ... 6,9	7 ... 7,9	8 ... 8,9	-9 ... -9,9	-10 ... -	-11 ... -	-12 ... -	-13 ... -	-14 ... -	-15 ... -	-16 ... -	-17 ... -	-18 ... -	-19 ... -	Разом
Кільк. годин з темп. в даному інтервалі, год	164	139	112	89	69	54	41	32	22	16	11	9	6	4	4392
Кільк. годин з темп. нижче за дану, год	3788	3927	4039	4128	4197	4251	4292	4324	4346	4362	4373	4382	4388	4392	

Хоча представлені спрощені дані було визначено для географічних

координат головного корпусу КНУБА в місті Києві, з достатньою точністю можна стверджувати, що вони будуть актуальними для усієї правобережної частини міста Києва або для всього міста, але з меншою точністю.

Для порівняння розроблених в ході дослідження температурних даних з тими, що були отримані в роботах інших авторів [7, 9], а також температурними даними з попереднього нормативного документу, був проведений розрахунок загальної кількості спожитої теплоти за розрахункові опалювальні періоди перелічених температурних даних за допомогою методу трапецій для чисельного інтегрування [13]. Максимальне теплове навантаження було прийнято 100 кВт. Для більш коректного порівняння даних (рис. 5) між собою розрахунок проводився для двох варіантів тривалості опалювального періоду: для нормативної тривалості згідно з чинним ДСТУ-Н Б В.1.1 27:2010 «Будівельна кліматологія» та для варіанту закінчення опалювального періоду на середньодобовій температурі  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

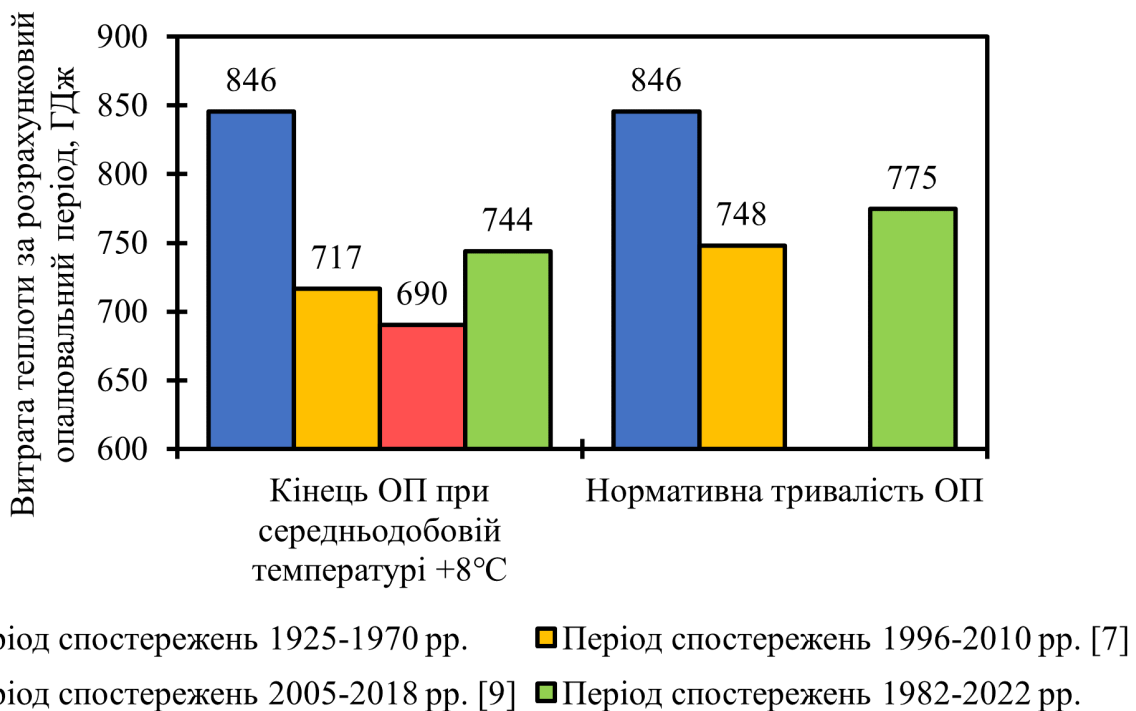


Рис. 5. Порівняння кількості теплоти, спожитої за розрахунковий опалювальний період, визначеної за різними температурними даними.

З гістограми видно, що найбільша розрахункова витрата теплоти виникає при використанні температурних даних зі скасованого нормативу (1925-1970 рр.). При цьому протягом усієї нормативної тривалості опалювального періоду згідно з цими даними утримується температура нижче  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Натомість при використанні для розрахунку усіх інших даних виникає певна різниця у

кількості теплоти між розрахунками за прийнятою нормативною тривалістю та за тривалістю до досягнення  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що пояснюється наявністю в нормативному опалювальному періоді температур вище  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Загалом різницю у витраті теплоти між результатами розрахунку за даними застарілого нормативу з іншими даними можна пояснити кліматичними змінами, що відбулись за ці роки, які характеризуються певним потеплінням. Даний факт також підтверджуються в роботах інших дослідників [6, 7, 9]. Однак, у перелічених дослідженнях величина цього потепління дещо переоцінена. Це можна побачити з гістограми, якщо звернути увагу на кількість спожитої за розрахунковий опалювальний період теплоти порівняно з даними, отриманими в результаті аналізу більшої кількості опалювальних періодів. Ця різниця становить від 27 до 54 ГДж, що еквівалентно від 3 до 6 діб максимального теплового навантаження або ж від 6 до 12 діб теплового навантаження при температурі зовнішнього повітря  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таку різницю можна пояснити надто малим часовим проміжком, прийнятим до аналізу (13 та 15 років), та використанням середньодобових температур зовнішнього повітря в дослідженнях [6, 7, 9].

З метою детальнішого оцінювання величини та характеру потепління, що відбулося за період з 1973 по 2023 рік, та його порівняння із кліматичними змінами попередніх років, аналогічно до досліджень [5] (рис. 6) було розраховано ковзкі середні п'ятирічні температури зимових періодів за ці роки (рис. 7) на основі даних моделі ERA5T [10] та побудовано поліноміальний тренд третього порядку. Усереднення температур методом ковзких п'ятирічних середніх було здійснено з метою зменшення величини випадкових відхилень та простішого виявлення основних закономірностей змін середніх температур зимових періодів [5]. Але виявилось, що навіть після цього мінливість середніх температур зимових періодів залишається досить великою.

З графіку на рис. 6 видно, що багаторічний хід середніх температур зимових періодів згідно з [5] характеризується хвилями похолодання та потепління, які періодично замінюють одна одну. Це ж саме можна прослідкувати і на графіку, побудованому на основі даних моделі ERA5T (рис. 7), яка хронологічно продовжує хід температур попереднього графіка. Зіставивши їх разом, можна побачити, що за областю потепління, що почалась приблизно після 1960 р. слідує область похолодання, яка закінчилась після 1980 р.

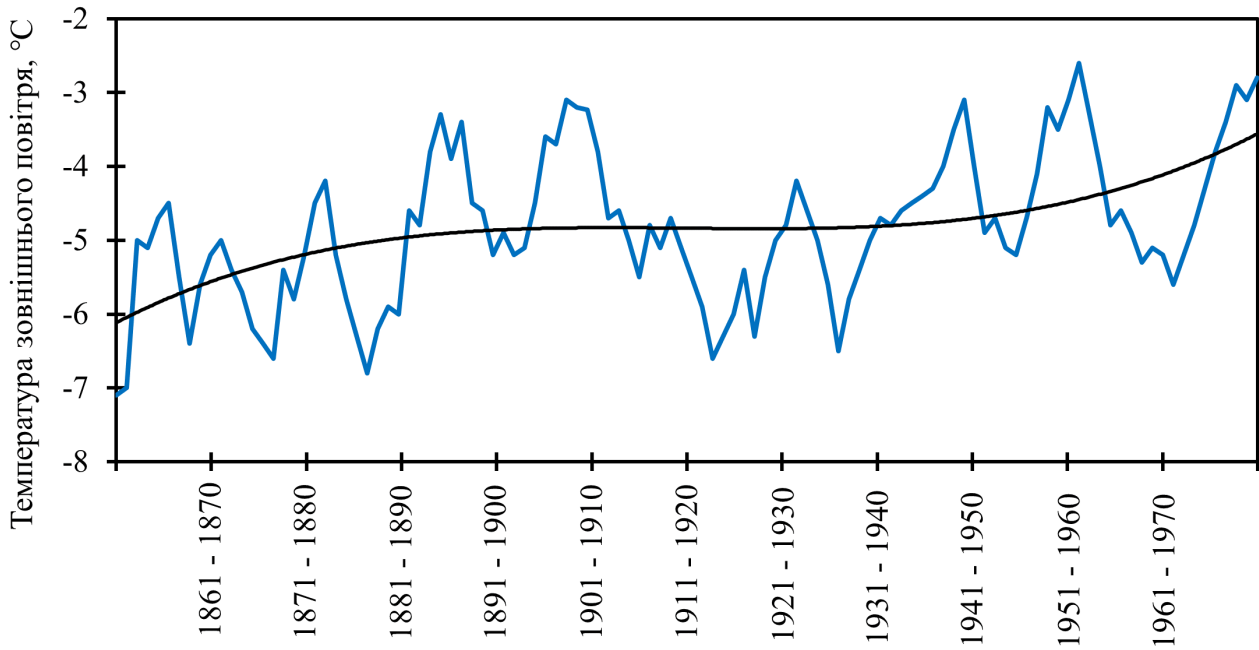


Рис. 6. Ковзкі п'ятирічні середні температури зовнішнього повітря зимових періодів 1861 – 1970 років та їх поліноміальний тренд [5].

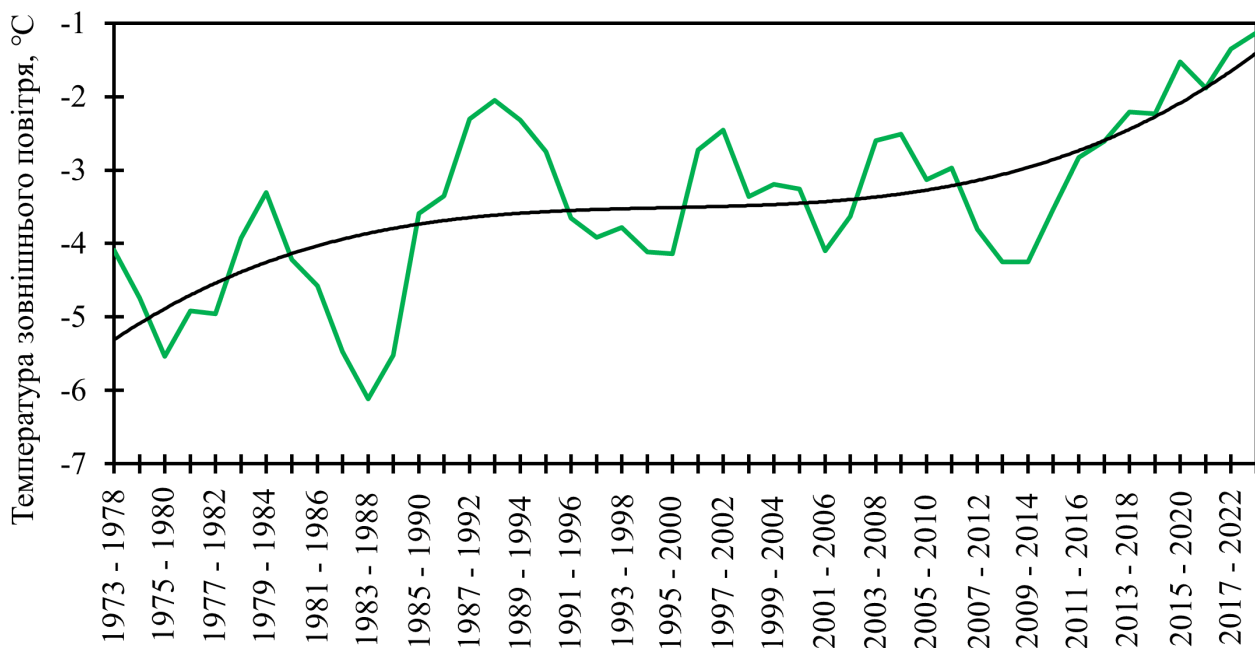


Рис. 7. Ковзкі п'ятирічні середні температури зовнішнього повітря зимових періодів 1973 – 2023 років та їх поліноміальний тренд

При цьому починаючи з хвилі потепління, яка почалась приблизно в 1930-х роках середні температури в піках областей похолодання наступних років вже не досягали величини похолодань попередніх років. І тільки середня температура піку області похолодання в період 1983-1988 рр. наблизилась, до тих що виникали раніше. Але вже після 1988 р. почалась нова інтенсивна хвиля

потепління і тенденція до підвищення середніх температур піків «холодних» та «тепліх» областей продовжилася. Точність представлених поліноміальних моделей не дозволяє здійснювати прогноз середніх температур майбутніх зимових періодів, але вони дають можливість оцінити загальну інтенсивність процесу потепління. Тренди обох графіків підтверджують, що незважаючи на мінливість областей похолодання та потепління вектор все ж таки напрямлений в бік підвищення середніх температур зимових періодів. Але порівнявши їх між собою, можна помітити, що за зимові періоди 1973-2023 рр. потепління відбувалося більш інтенсивно, ніж за періоди 1861-1970 рр.

**Висновки.** З урахуванням мінливості температур зовнішнього повітря можна зробити висновок про необхідність постійного моніторингу за кліматичними змінами та своєчасного оновлення кліматологічних нормативів. А при їх оновленні та доповненні необхідно спиратись не лише на сьогоденні та минулі кліматичні зміни, а і зазирати наперед за допомогою сучасних методів та засобів моделювання. Ці заходи посприяють підвищенню точності вибору обладнання, а отже і зменшенню витрати енергоносіїв системами теплопостачання. Зважаючи на зменшення тривалості стояння низьких температур протягом опалювального періоду та загальну тенденцію до потепління можна стверджувати про необхідність перевірки актуальної розрахункової температури на опалення в подальших дослідженнях

### **References**

1. Wdowikowski Marcin. "Zasady formułowania probabilistycznych modeli deszczów maksymalnych". *Gaz, woda i technika sanitarna*, Iss. 97, № 1, 2023, pp. 24–31.
2. Lysenko L. I., Makhotilo K. V., Kosaty D. M. "Faktory vplyvu na efektyvnist soniachnykh kolektoriv ta fotoelektrychnykh panelei v Kharkivskii oblasti". *Visnyk NTU «KPI»*, Iss. 59, 2013, pp. 101–111.
3. Zabolotska T. M., Skrynyk O. A. "Prohnozuvannia dat stiikoho perekhodu serednoi dobovoi temperatury povitria cherez zaznacheni mezhi". *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu*, Iss. 258, 2009, pp. 84–105.
4. Hlamazdin P. M., Koziachyna B. I. "Zastosuvannia metodiv chyselnoho intehruvannia dlia vyboru obladnannia kombinovanykh dzherel teploty". *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*, Iss. 14, 2023.
5. *Klimat Kievа*. Gidrometeoizdat, 1980, 274 p.
6. Deshko V. I., Shovkaliuk M. M. "K voprosu o vliyanii pogodnykh uslovii na effektivnost teplosnabzheniya". *Promishlennaya teplotekhnika*, Iss. 29, № 7, 2007, pp. 88–91.



7. Deshko V. I., Shovkaliuk M. M. Temperaturno-pohodni faktory teplopostachannia. pp. 79–87, repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/946a4142-df2e-446f-ad2f-15a1fef236a9/content.
8. Shovkaliuk M. M., Voinalovych N. O., Voinalovych O. O. "Analiz rozrakhunkovykh parametriv zovnishnoho povitria dlia teplopostachannia". *Budivelni konstruktsii*, Iss. 77, 2013, pp. 157–61.
9. Kramar V. H. "Pobudova hrafika tryvalosti teplovoho navantazhennia (hrafika Rosandera) dlia rehioniv Ukrainy". *Promyslova teplotekhnika*, Iss. 40, № 4, 2018, pp. 41–49.
10. "Historical Weather Data" Meteoblue, [www.meteoblue.com/en/weather/archive/export](http://www.meteoblue.com/en/weather/archive/export).
11. "Kyiv, Ukraine Weather History Weather Underground". Local Weather Forecast, News and Conditions Weather Underground, [www.wunderground.com/history/daily/ua/kyiv/UKKK](http://www.wunderground.com/history/daily/ua/kyiv/UKKK).
12. Ierina A. M., Palian Z. O. *Teoriia statystyky*. Znannia, 1997.
13. Kyrylyk L. V., Bohach I. V., Lisovenko A. I. *Chyselni metody. Chyselne intehruvannia funktsii*. VNTU, 2019.

UDC 620.9

Associate Professor **Pavlo Glamazdin**,  
[sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID: 0000-0003-2611-2687,  
Post-graduate **Bohdan Koziachyna**,  
[bohdankoziachyna@gmail.com](mailto:bohdankoziachyna@gmail.com), ORCID: 0009-0000-6972-3862,  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **ACCOUNTING FOR CLIMATE CHANGES WHEN CONSTRUCTING THE ROSSANDER GRAPH**

*The temperature of the atmospheric air affects the design and indicators of energy efficiency of all elements of heat supply systems. An extremely important tool to develop heat sources that allows us to assess changes in consumer heat loads and model algorithms for heat source operation, taking into account the variability of outdoor air temperature in the geographical conditions of the design objects, is a graph of the duration of heat loads during the heating period (Rossander's graph). It is impossible to construct the Rossander's graph without data on the duration of the outdoor temperature standing during the heating period. In this paper, the problem of the lack of temperature data necessary for the construction of the Rossander's graph*

*in the current regulatory documents is revealed. The analysis of previous studies that produced temperature data with the duration of temperature standing is carried out, and the need for their refinement is substantiated. The arrays of hourly outdoor air temperatures were processed according to two weather models, as well as the array of average daily temperatures obtained as a result of measurements from the weather station for the geographical location of the main building of KNUCA. As a result of the comparative analysis, a model closer to reality was identified and, on its basis, actual data on the duration of outdoor temperatures standing for the city of Kyiv with a temperature step of 1°C were developed. The obtained temperature data were compared with those that were developed in previous studies, as well as with the temperature data that are contained in the cancelled standard. The curve of the long-term run of the moving average outdoor air temperatures for the winter periods of 1973-2023 and its polynomial trend are constructed and compared with the curve that characterizes the run of the moving average five-year temperatures for the winter periods of 1861-1970 and its polynomial trend.*

*Key words: climate changes, Rossander's graph, duration of temperature standing.*