

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЙНИХ ПОЛІНОМІВ НЬЮТОНА ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ СЕРЕДНІХ ДАТ ПЕРЕХОДУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ ПЕВНІ РІВНІ В УКРАЇНІ

Розглянуто недоліки існуючих методів обчислення дат переходу температури повітря через певні рівні та запропоновано новий метод їх визначення на основі застосування інтерполяційних поліномів Ньютона. Для 29 метеорологічних станцій України обчислено дати переходу температури повітря через 0°, 5°, 10° та 15°C за стандартний кліматологічний період 1961–1990 рр.

Ключові слова: дати переходу температури повітря через певні рівні; інтерполяційні поліноми Ньютона.

Загальна постановка наукової проблеми. Серед численних напрямів дослідження клімату і кліматичних ресурсів особливе місце посідає вивчення багаторічного режиму температури повітря, який відображає найсуттєвіші риси клімату. Термічними умовами визначається фізичний стан та перебіг найважливіших процесів в атмосфері. Температура повітря прямо чи опосередковано впливає ледь не на усі сторони життєдіяльності людини. Тож відомості про температуру повітря становлять значний інтерес як для окремих громадян, так і для цілих галузей економіки країни, насамперед для сільського й комунального господарства та енергетики.

При докладному описі термічного режиму значна увага приділяється аналізу повторюваності середньодобових температур повітря з інтервалом 5°C та тривалості періодів року з відповідними температурами. Ці величини використовуються насамперед з метою оцінки придатності кліматичних й агрометеорологічних умов того чи іншого регіону для вирощування певних видів сільськогосподарських культур.

Не менш важливими характеристиками термічного режиму є *дати переходу середньодобової температури повітря через 0, 5, 10, 15 та 20 C*. За такими датами не тільки характеризують особливості річного ходу температури повітря, але й виділяють кліматичні сезони з усім комплексом властивих їм погодних особливостей.

Оскільки невід'ємною властивістю клімату є його мінливість, то й дати переходу температури через зазначені вище рівні не є сталими. У зв'язку із цим застосування методів визначення дат переходу температури повітря через певні рівні може бути складовою частиною вирішення значно крупнішої проблеми оцінки сучасних кліматичних змін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дати сталого переходу температури повітря через певні рівні за середньодобовою температурою широко використовуються в агрометеорології (методи Д.А. Педея та А.В. Федорова). Деякі проблеми їх практичного застосування розглянуто в [7]. В основі цих методів визначення дати переходу температури лежить *зіставлення додатних і від'ємних відхилень сум середніх добових температур повітря*, отриманих за кожен день досліджуваного періоду.

Так, за методом А.В. Федорова, який використовується в практиці Українського гідрометеорологічного центру, датою сталого переходу температури повітря навесні вважається перший день періоду, сума додатних відхилень якого (U_{+Dt}) перевищує суму від'ємних відхилень (U_{-Dt}) будь-якого із наступних періодів цього сезону року з від'ємними відхиленнями температури. Відповідно, датою сталого переходу температури через певні рівні восени вважається перший день періоду, сума від'ємних відхилень якого перевищує суму додатних відхилень будь-якого із наступних періодів з

додатними відхиленнями. Беззаперечною перевагою цього методу є його фізична обґрунтованість, яка не залишає підстав для критики самого підходу щодо оцінки дат переходу температури повітря через певні рівні. Тож дати переходу температури повітря, обчислені цим методом для визначеного інтервалу часу, надалі будемо називати *істинними*.

Як на нашу думку, найбільші вади методу Федорова виявляються при обчисленні середніх багаторічних дат переходу температури повітря, оскільки для цього потрібні щоденні дані за увесь період дослідження. Крім того, осереднення за багаторічний період дат переходу температури повітря через певні рівні не забезпечує потрібної точності через велику міжрічну мінливість добових температур повітря. У зв'язку із цим надійні середні значення температури, а відтак й середні дати переходу температури повітря через певні рівні можна отримати тільки з дуже довгих рядів спостережень, яких зазвичай і немає в розпорядженні кліматолога.

Між тим, більш затребуваними практикою кліматологічного обслуговування народного господарства є саме середні за багаторічний період дати переходу температури повітря [5]. У цьому зв'язку особливого значення набуває питання методу визначення середніх дат переходу середньодобової температури повітря через певні рівні.

Перед тим як приступати до аналізу інших методів, вважаємо за потрібне погодитися з авторами [7] в частині невдалості і навіть невизначеності терміну «стійкий» щодо переходу температури повітря через певні рівні. Надалі пропонуємо розглядати це визначення як надмірне і користуватися терміном «середні дати переходу температури повітря». При цьому сам термін змістовно нічого не втрачає.

На сьогодні існують декілька альтернативних методів визначення середніх дат переходу середньодобової температури повітря через певні межі, які слід класифікувати як *непрямі методи*, оскільки в них обчислення зазначених характеристик здійснюється без звертання до вихідних матеріалів спостережень. З усіх непрямих методів визначення середніх дат переходу температури повітря через певні межі найбільшого поширення набули метод гістограм та обчислення за інтерполяційною формулою І.А. Гольцберг.

Як відомо, *метод гістограм* передбачає побудову й аналіз згладженого графіка річного ходу температури повітря за їхніми середніми місячними значеннями за багаторічний період. Якість кліматологічних оцінок при застосуванні цього методу значною мірою визначається ретельністю побудови й аналізу такого графіка, а тому залежить від досвіду й практичних навичок самого дослідника. Окрім певного суб'єктивізму, до переліку вад цього методу можна додати незручність користування, усе ще велику трудомісткість і порівняно малу точність. Не дивно, що ще наприкінці 70-х років ХХ ст. відомі радянські кліматологи Н.В. Кобишева та Г.В. Наровлянський висловили сумніви в доцільності застосування методу гістограм в епоху всезагальної автоматизації опрацювання метеорологічної інформації [6].

Основним недоліком *інтерполяційної формули І.А. Гольцберг* є її лінійний характер, який забезпечує достатню точність обчислень лише при рівномірному зростанні або спаданні температури повітря в перехідні сезони року, але значно завищує або занижує оцінки температури повітря в околі точок максимальної і мінімальної температур та в околі точок перегину графіка річного ходу температури.

Відомі також спроби використання з метою інтерполяції температури повітря *рівняння парабол* [4]. Однак для опису періодичного процесу, яким є річний хід температури повітря, таке наближення може використовуватися тільки на певних часових відрізках.

Формулювання цілей і постановка завдання. Основною метою даного дослідження є з'ясування можливостей та оцінка точності обчислення середніх дат переходу температури повітря в Україні через певні рівні за допомогою інтерполяційних поліномів Ньютона. Відповідно до мети, ставляться такі завдання:

- показати принципові переваги застосування інтерполяційних поліномів Ньютона для обчислення дат переходу температури повітря перед іншими методами, які використовуються в кліматологічній практиці;
- провести порівняльну оцінку точності визначення дат переходу температури повітря в Україні різними методами;
- обчислити дати стійкого переходу температури повітря в Україні за стандартний кліматологічний період 1961–1990 рр.

Виклад основного матеріалу дослідження. В математичних термінах обчислення дат переходу температури повітря через певні рівні за відомими середніми місячними значеннями температури можна класифікувати як задачу інтерполяції. Відомо, що *інтерполюванням* є визначення проміжних значень деякої функції $y = f(x)$, яку задано у вигляді таблиці емпірично отриманими значеннями $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$. При цьому встановлюється наближений функціональний зв'язок $y = \varphi(x)$, який задовольняє спостереженим значенням y .

Нижче буде обговорюватися *метод інтерполяції поліномами Ньютона для нерівновіддалених вузлів* [2, 3].

Нехай функція $y = f(x)$ задана таблично і $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ – значення аргументу, а $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ – відповідні значення функції, де різниці $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i \neq 0, i = \overline{0, n-1}$ не рівні між собою. Співвідношення $[x_i, x_{i+1}] = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}, i = \overline{0, n-1}$ називаються різницевиими операторами першого порядку; $[x_i, x_{i+1}, x_{i+2}] = \frac{[x_{i+1}, x_{i+2}] - [x_i, x_{i+1}]}{x_{i+2} - x_i}, i = \overline{0, n-2}$ – різницевиими операторами другого порядку і т.д.

Тоді *інтерполяційна формула Ньютона для нерівновіддалених вузлів* набуде вигляду:

$$P_n(x) = y_0 + [x_0, x_1] \cdot (x - x_0) + [x_0, x_1, x_2] \cdot (x - x_0) \cdot (x - x_1) + \dots + [x_0, x_1, \dots, x_n] \cdot (x - x_0) \cdot (x - x_1) \cdot \dots \cdot (x - x_{n-1}), \quad (1)$$

де x – шукане значення аргументу.

Для обчислення середньодобових температур повітря в окремі дні року можна обмежитися шістьма найближчими до шуканої дати вузлами таблиці (три вузли – перед шуканою датою і ще три – після неї). Відомими вважатимемо 12 значень цієї температури $t(x_i), i = 1, 2, \dots, 12$, які за припущенням припадають на середину, тобто на 15 число окремих місяців року з номерами днів 15 – для січня; 46 – для лютого; 74 – для березня і т.д. При виборі найближчих до шуканої дати вузлів таблиці слід врахувати, що деяким датам на початку календарного року (від 1 січня до 14 березня) можуть передувати від одного до трьох вузлів з кінця таблиці, а після деяких дат наприкінці року (від 16 жовтня до 31 грудня) слідує від одного до трьох вузлів на початку таблиці. Вважаючи середню багаторічну температуру повітря періодичною функцією з періодом 1 рік, маємо $x_i \pm 365 = x_i, t(x_i \pm 365) = t(x_i)$.

Таким чином, застосування інтерполяційних поліномів Ньютона дозволяє оцінити середню добову температуру повітря у будь-який день року, встановити значення

мінімальної й максимальної температур, у загальному випадку відмінних від середніх температур найхолоднішого та найтеплішого місяців року, вирішувати інші задачі. Високу якість згладжування річного ходу температури повітря з допомогою інтерполяційних поліномів Ньютона ілюструє рис. 1.

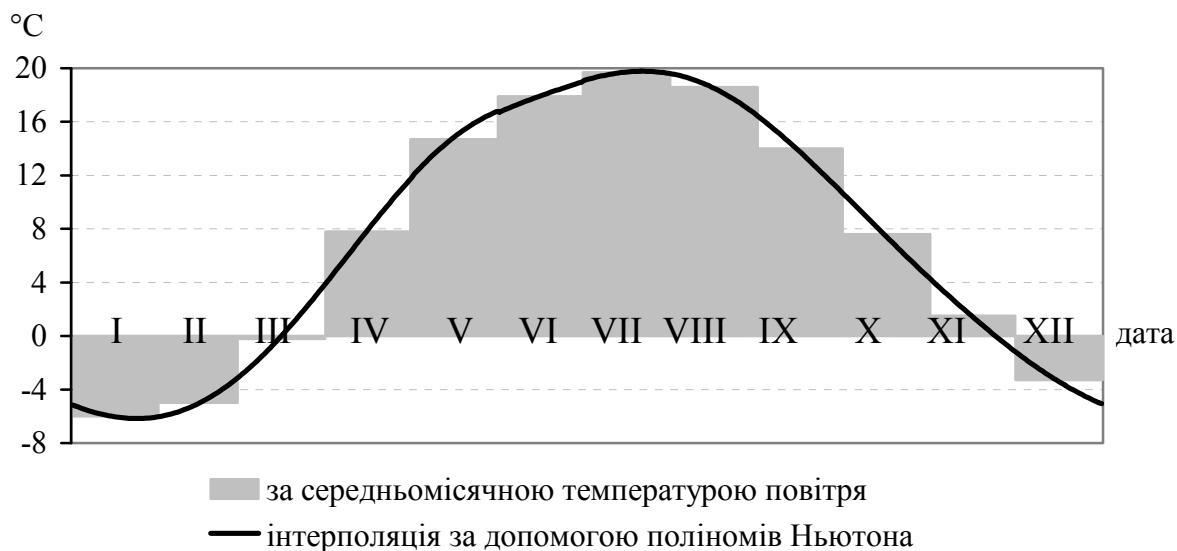


Рис. 1 – Річний хід температури повітря на метеорологічній станції Київ, відтворений з допомогою інтерполяційних поліномів Ньютона (вибірка даних за [1]).

Приступимо до порівняння дат переходу температури повітря на окремих метеорологічних станціях України, визначених запропонованим та традиційними способами для одного і того самого періоду спостережень. В даній роботі в якості тестових рядів середніх місячних температур повітря використано дані додатка до монографії [1], які ґрунтуються на первинних матеріалах спостережень за період від початку роботи метеорологічних станцій до 1980 р., в окремих випадках – до 1983 р. Дати переходу температури повітря через певні рівні, отримані запропонованим методом, зіставлялися з датами, отриманими в традиційний спосіб для цих самих рядів й наведеними в зазначеній вище монографії.

В табл. 1 представлено дати переходу температури повітря через рівні 0° , 5° , 10° та 15°C в м. Києві.

Як видно із табл. 1, порівняно з іншими методами, застосування інтерполяційних поліномів Ньютона дало задовільний результат, який у більшості випадків забезпечує кращу точність визначення дат переходу температури повітря. Запропонований метод дає також найменше сумарне відхилення дат переходу температури повітря. За цим показником його точність в 1,5 і більше раз перевищує точність обчислень порівняно із традиційними методами.

Порівняємо точність визначення дат переходу температури повітря запропонованим методом через певний рівень, наприклад через 0°C , для різних метеорологічних станцій (табл. 2).

Аналіз табл. 2 показує, що похибка обчислення запропонованим методом дат переходу температури повітря через 0°C не перевищує 3–4 дні, причому у 75 % усіх випадків вона не перевищує два дні. Середнє відхилення обчислених у такий спосіб дат переходу температури повітря через 0°C від істинних їх значень становить 1,9 днів навесні та на 2,1 днів – восени. Загальне середнє відхилення від істинних дат переходу температури через 0°C для методу інтерполяції Ньютона становить 1,95 дня, що задовольняє сучасні вимоги науки і практики в обчисленні таких дат.

Таблиця 1 – Дати переходу температури повітря через певні межі, обчислені різними методами, м. Київ

Метод визначення дати переходу	Температура, °С								Сумарне відхилення, днів
	0		5		10		15		
	весна	осінь	весна	осінь	весна	осінь	весна	осінь	
За допомогою гістограм	14 III	26 XI	4 IV	28 X	24 IV	4 X	21 V	9 IX	22
За формулою І.А. Гольцберг	16 III	23 XI	4 IV	29 X	21 IV	5 X	20 V	9 IX	19
Зіставлення відхилень сум середньодобових температур	13 III	27 XI	11 IV	31 X	21 IV	4 X	25 V	12 IX	34
Метод інтерполяції Ньютона	16 III	24 XI	5 IV	28 X	24 IV	4 X	17 V	9 IX	13
Істинні значення	20 III	21 XI	5 IV	29 X	24 IV	4 X	15 V	12 IX	–

Таблиця 2 – Дати переходу добової температури повітря через 0°С

Метеорологічна станція	У бік зростання температури			У бік зниження температури		
	Справжні середні дати	Дати переходу за методом інтерполяції поліномами Ньютона	Відхилення (днів)	Справжні середні дати	Дати переходу за методом інтерполяції поліномами Ньютона	Відхилення (днів)
Київ	20 III	16 III	4	21 XI	24 XI	3
Полтава	21 III	20 III	1	21 XI	20 XI	1
Харків	22 III	20 III	2	22 XI	24 XI	2
Тернопіль	12 III	15 III	3	28 XI	26 XI	2
Умань	14 III	16 III	2	26 XI	24 IX	2
Луганськ	14 III	16 III	2	26 XI	24 XI	2
Дніпропетровськ	14 III	14 III	0	26 XI	28 XI	2
Синельникове	16 III	16 III	0	27 XI	28 XI	1
Хуст	24 II	27 II	3	9 XII	7 XII	2
Одеса	28 II	2 III	2	17 XII	20 XII	3

Таким чином, ретельна перевірка показала високу точність запропонованого методу, що дозволяє рекомендувати його для оцінки дат переходу температури повітря через певні рівні для будь-якого іншого проміжку часу. В табл. 3 представлено результати обчислення дат стійкого переходу температури повітря через певні межі для стандартного кліматичного періоду (1961–1990 рр.), які отримано на основі таблиць «Кліматичного кадастру України», підготовленого співробітниками Центральної геофізичної обсерваторії.

За відсутності у зазначеному виданні окремих таблиць з датами переходу температури повітря через певні рівні, табл. 3 можна використовувати навіть з метою оцінки кліматичних норм відповідних величин.

Таблиця 3 – Дати переходу середньої добової температури повітря через певні рівні за методом інтерполяції Ньютона для окремих метеорологічних станцій України. 1961–1990 рр.

Метеорологічна станція	Температура, °С							
	0		5		10		15	
	навесні	восени	навесні	восени	навесні	восени	навесні	восени
Вінниця	15 III	27 XI	4 IV	29 X	24 IV	3 X	22 V	5 IX
Дніпропетровськ	12 III	2 XII	31 III	1 XI	18 IV	8 X	10 V	16 IX
Донецьк	14 III	29 XI	31 III	29 X	18 IV	6 X	12 V	14 IX
Житомир	16 III	26 XI	5 IV	29 X	25 IV	1 X	23 V	3 IX
Запоріжжя	8 III	10 XII	28 III	8 XI	16 IV	13 X	8 V	20 IX
Івано-Франківськ	8 III	2 XII	1 IV	1 XI	25 IV	5 X	28 V	5 IX
Київ	12 III	26 XI	1 IV	1 XI	21 IV	5 X	14 V	8 IX
Кіровоград	13 III	30 XI	1 IV	31 X	20 IV	7 X	14 V	13 IX
Луганськ	13 III	2 XII	30 III	30 X	15 IV	6 X	8 V	14 IX
Луцьк	11 III	1 XII	3 IV	1 XI	25 IV	3 X	25 V	4 IX
Львів	10 III	29 XI	3 IV	2 XI	27 IV	3 X	31 V	1 IX
Миколаїв	2 III	15 XII	26 III	12 XI	15 IV	17 X	7 V	24 IX
Одеса	26 II	27 XII	28 III	22 XI	20 IV	21 X	15 V	26 IX
Полтава	16 III	24 XI	2 IV	28 X	20 IV	4 X	13 V	11 IX
Рівне	14 III	28 XI	4 IV	31 X	24 IV	2 X	26 V	3 IX
Сімферополь	6 II	8 I	22 III	27 XI	15 IV	20 X	14 V	23 IX
Суми	20 III	19 XI	6 IV	24 X	23 IV	29 IX	16 V	4 IX
Тернопіль	15 III	26 XI	6 IV	29 X	27 IV	1 X	30 V	1 IX
Ужгород	17 II	12 XII	17 III	13 XI	12 IV	17 X	11 V	18 IX
Харків	17 III	23 XI	2 IV	27 X	19 IV	3 X	12 V	10 IX
Херсон	4 III	16 XII	27 III	12 XI	15 IV	15 X	10 V	21 IX
Хмельницький	14 III	27 XI	4 IV	30 X	25 IV	2 X	24 V	4 IX
Черкаси	14 III	28 XI	2 IV	30 X	20 IV	5 X	14 V	10 IX
Чернівці	7 III	3 XII	30 III	4 XI	22 IV	8 X	21 V	10 IX
Чернігів	18 III	22 XI	5 IV	25 X	24 IV	29 IX	19 V	3 IX
Плай	5 IV	7 XI	2 V	5 X	28 VI	30 VIII	–	–
Пожежевська	6 IV	11 XI	3 V	10 X	19 VI	31 VIII	–	–
Карабі-Яйла	15 III	10 XII	10 IV	30 X	10 V	26 IX	26 VI	24 VIII
Ай-Петрі	19 III	5 XII	16 IV	27 X	19 V	21 IX	13 VII	11 VIII

Висновки та перспективи подальших розробок. В роботі проаналізовано недоліки традиційних і деяких нових методів обчислення дат переходу температури повітря через задані рівні та запропоновано новий метод їх визначення за допомогою інтерполяційної формули Ньютона. На основі оцінок похибок обчислення дат переходу температури повітря різними методами стосовно істинних дат її переходу через певні рівні, показано переваги запропонованого методу над іншими.

За допомогою запропонованого методу для 29 метеорологічних станцій України (25 обласних центрів та чотирьох гірських станцій в Українських Карпатах та Кримських горах) уперше обчислено кліматологічні норми дат переходу температури повітря через певні рівні. Виконання аналогічних обчислень для решти метеорологічних станцій України дозволить побудувати детальні карти дат переходу температури повітря через певні рівні для стандартного кліматичного періоду 1961–1990 рр., а також представити результати обчислення тривалості відповідних періодів та їх зміни в умовах сучасних змін клімату.

Список літератури

1. *Бабиченко В.Н.* Температура воздуха на Украине / В.Н. Бабиченко, С.Ф. Рудышина, З.С. Бондаренко, Л.М. Гущина. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 400 с.
2. *Ващенко Г.В.* Вычислительная математика: Основы алгебраической и тригонометрической интерполяции / Г.В. Ващенко. – Красноярск: СибГТУ, 2008. – 64 с.
3. *Демидович Б.П.* Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1966. – 664 с.
4. *Каган Р.Л.* О восстановлении годового хода моментов метеорологических рядов / Р.Л. Каган, Е.И. Федорченко // Тр. ГГО. – 1975. – Вып. 348. – С. 99-111.
5. *Кобышева Н.В.* Климатология / Н.В. Кобышева, С.И. Костин, Э.А. Струнников. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 344 с.
6. *Кобышева Н.В.* Климатологическая обработка метеорологической информации / Н.В. Кобышева, Г.Я. Наровлянский. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 296 с.
7. *Скриник О.А.* Задача визначення дати стійкого переходу приземної температури повітря через певне фіксоване значення (аналіз методів) / Скриник О.А., Сніжко С.І. // Український гідрометеорологічний журнал. – 2008. – № 3. – С. 56-66.

Применение интерполяционных полиномов Ньютона для вычисления средних дат перехода температуры воздуха через определенные уровни в Украине.

Затула В.І., Затула Д.В.

Рассмотрены недостатки существующих методов вычисления дат перехода температуры воздуха через определенные уровни и предложен новый метод их определения на основе применения интерполяционных полиномов Ньютона. Для 29 метеорологических станций Украины вычислены даты перехода температуры воздуха через 0°, 5°, 10° и 15°C за стандартный климатологический период 1961–1990 гг.

***Ключевые слова:** даты перехода температуры воздуха через некоторые уровни; интерполяционные полиномы Ньютона.*

Newton interpolation polynomials application for calculation of average dates of air temperature transition through determined levels in Ukraine.

Zatula V.I., Zatula D.V.

The shortages of the existing calculation methods of the transition dates of the air temperature through determined levels are examined. The new method of their identification on base of the using Newton interpolation polynomials is offered. The dates of the transition of the air temperature through 0°, 5°, 10° and 15°C for standard climatological period 1961-1990 are calculated for 29 weather stations of the Ukraine.

***Keywords:** transition dates of the air temperature through determined levels; Newton interpolation polynomials.*