

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СОНЯЧНОЇ КАРТИ ДЛЯ м. ХАРКІВ

*Студ. Вержбицька П.В., гр. А-436,
Науковий керівник к.ф.-м.н. доц. Загинайло І.В.
Одеська державна академія будівництва і архітектури*

Актуальність дослідження. Забезпечення комфортних параметрів мікроклімату у будівлях є однією з основних вимог до сучасного будівництва. Для зниження теплонадходжень до приміщень у періоди надлишкової інсоляції будівель найбільш ефективним способом є використання сонцезахисних пристроїв (СЗП) – елементів конструкції будівлі, призначених для захисту приміщень від впливу прямої сонячної радіації.

Для розробки ефективних СЗП зручно використовувати комплексні сонячні карти (КСК) із виділенням зон надлишкової інсоляції. Для визначення цих зон необхідно знати середні температури на кожну годину кожного дня року в місці, для якого складається КСК. По-перше, така інформація, якщо вона взагалі існує, відсутня у відкритому доступі. По-друге, складання за такими даними КСК є досить трудомістким, оскільки потребує обробки великого обсягу кліматологічної інформації. Тому розробка способу побудови КСК на базі обмеженої наявної кліматологічної інформації є актуальною проблемою.

Стан проблеми. В роботі О.В. Сергійчука [1] наведено приклад побудови КСК для м. Київ з використанням кліматологічних даних ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [2], а саме: на підставі середньомісячних температур та середньомісячних середньодобових амплітуд температур. Використовуючи рекомендовані в [2] формули для апроксимації добового ходу температури, О.В. Сергійчук отримав температурні графіки на 15 число кожного місяця року, на підставі яких методом двовимірної інтерполяції побудував поверхню функції двох змінних $t(T, D)$, де t – температура, T – час доби, D – день року. Ізоплета 21°C виділяє на цій поверхні область дат та часів можливого перегріву при інсоляції, ізоплета 8°C – область, коли потрібно включення опалення. Ізоплети 21°C та 8°C були спроектовані на сонячну карту, що відповідає широті Києва, наведену в ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 [3], таким чином було сформовано КСК.

Метод геометричного моделювання для побудови графіка добового перебігу середньомісячної температури запропоновано в [4]. Точки 21°C та 8°C цих

графіків теж проектується на сонячну карту та з'єднуються у відповідні ізоплети. Як приклад у [4] показано побудову КСК м. Ялта.

З нашої точки зору недоліки геометричних методів полягають в тому, що вони складніше піддаються автоматизації: програмування обчислень аналітичних методів значно простіше за програмування геометричних побудов.

Мета роботи. Розробити наскільки можна простий аналітичний метод розрахунку положення зони можливого перегріву на сонячній карті.

Отримані результати. Як приклад розглядатимемо м. Харків, який розташований на широті $50^{\circ}02'$. Використовуватимемо відповідну сонячну карту для північної широти 50° , яка наведена в [3]. Також скористаємося наведеними в [2] кліматологічними даними для м. Харків. Ці дані, а саме – середньомісячні значення температури t_{cm} та середньомісячні середньодобові амплітуди температур A – представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Середньомісячні параметри температурного режиму м. Харків

місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{cm}, ^{\circ}C$	-5,9	-5,1	0,0	9,0	15,5	18,9	20,7	19,7	14,1	7,5	1,0	-3,7
$A, ^{\circ}C$	5,9	6,0	6,5	9,5	10,8	10,4	10,4	10,6	9,9	8,1	5,1	5,0

Для відновлення добового перебігу середньомісячної температури на 15 число кожного місяця скористаємось рекомендованими в [2] формулами:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2x-9-3T_{\min}}{9+T_{\min}}\right) + t_{cm} \quad \text{при} \quad 0 \leq x < T_{\min} \\
 t &= \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2x-15-T_{\min}}{15-T_{\min}}\right) + t_{cm} \quad \text{при} \quad T_{\min} \leq x < 15, \\
 t &= \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2x-21+T_{\min}}{9+T_{\min}}\right) + t_{cm} \quad \text{при} \quad 15 \leq x < 24
 \end{aligned} \tag{1}$$

де t – поточне значення температури, x – поточний час, $T_{\min}$ – час добового мінімуму температури, який настає через 15 хв. після сходу Сонця.

Для визначення $T_{\min}$ ми скористалися астрономічним календарем [5], в якому наведено часи сходу Сонця для широти 50° за місцевим (сонячним) часом. В таблиці 2 представлені часи сходу Сонця T_{cx} (год.:хв.) на 15 число кожного місяця та відповідні $T_{\min}$ (год.).

$T_{\text{сх}}$ та T_{min} на 15 число кожного місяця у м. Харків

місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_{\text{сх}}$	7:52	7:11	6:14	5:08	4:15	3:50	4:08	4:49	5:35	6:22	7:13	7:52
T_{min}	8,12	7,43	6,48	5,38	4,50	4,08	4,38	5,07	5,83	6,62	7,47	8,12

Аналіз отриманих за формулами (1) кривих добового ходу температури показав, що перевищення температурою позначки 21°C відбувається у червні, липні та серпні – див. рис. 1. Причому, найбільша тривалість зони перегріву трапляється саме в липні: з 09:54 по 21:26.

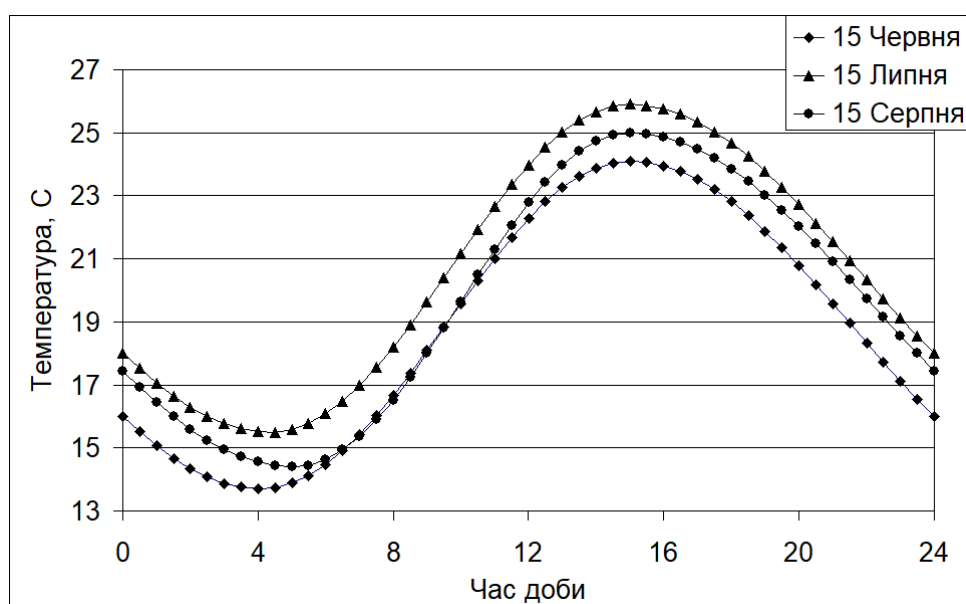


Рис. 1. Добовий хід температури в м. Харків в червні – серпні

Для того, щоб встановити діапазон дат, коли відбувається перегрів для кожної півгодинної позначки часу, було побудовано графіки зміни температури в залежності від дати з квітня по вересень на кожні півгодини з 10:00 по 21:00. На рис. 2 показано деякі отримані графіки (на кожен годинну позначку). Дати (15 число кожного місяця) тут виражені у місяцях за формулою $z = m + 15/d$, де m – номер місяця, d кількість днів в місяці. Всі лінії на графіках двічі перетинають відмітку 21°C .

Дані графіки виявилось оптимальним наближати бікубічними параболою виду

$$y = k_6 z^6 + k_4 z^4 + k_2 z^2 + k_0, \quad (2)$$

де y – температура для півгодинних відміток, $k_{6,4,2,0}$ – апроксимаційні коефіцієнти.

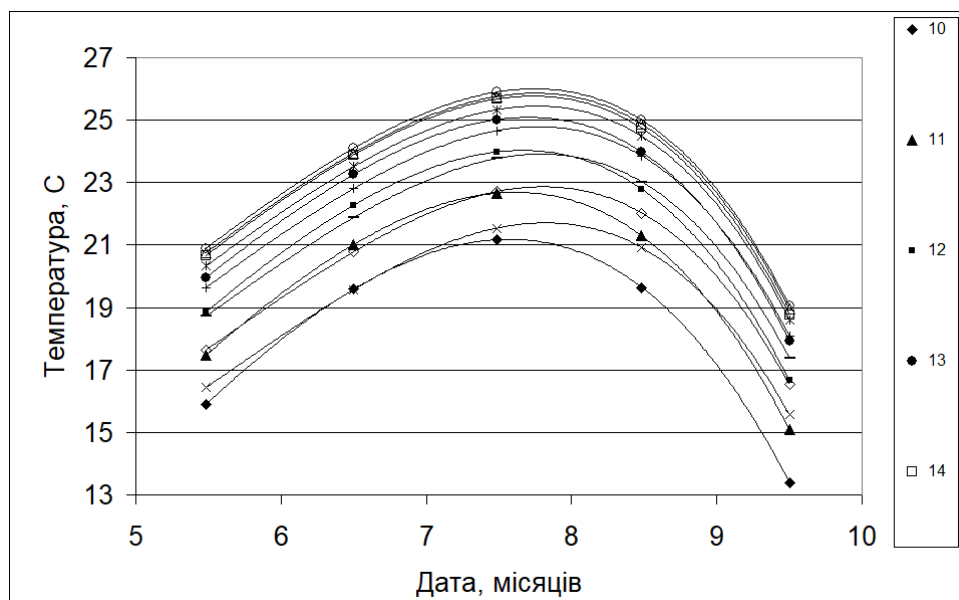


Рис. 2. Хід температури для годинних відміток в травні – вересні

Для визначення коефіцієнтів k за допомогою MS Excel з достатньою кількістю значущих цифр виявилось необхідним зробити підстановку $x = z^2/25$, після чого бікубічне рівняння (3) перетворилося в кубічне. Коефіцієнти кореляції для апроксимацій кубічною параболою всіх отриманих графіків $y(x)$ перевищували 0,9999. На рис. 3 показано приклад апроксимації кубічною параболою графіка температури $y(x)$ для відмітки часу $T = 12:00$ з визначенням коефіцієнтів апроксимації та коефіцієнту кореляції R^2 .

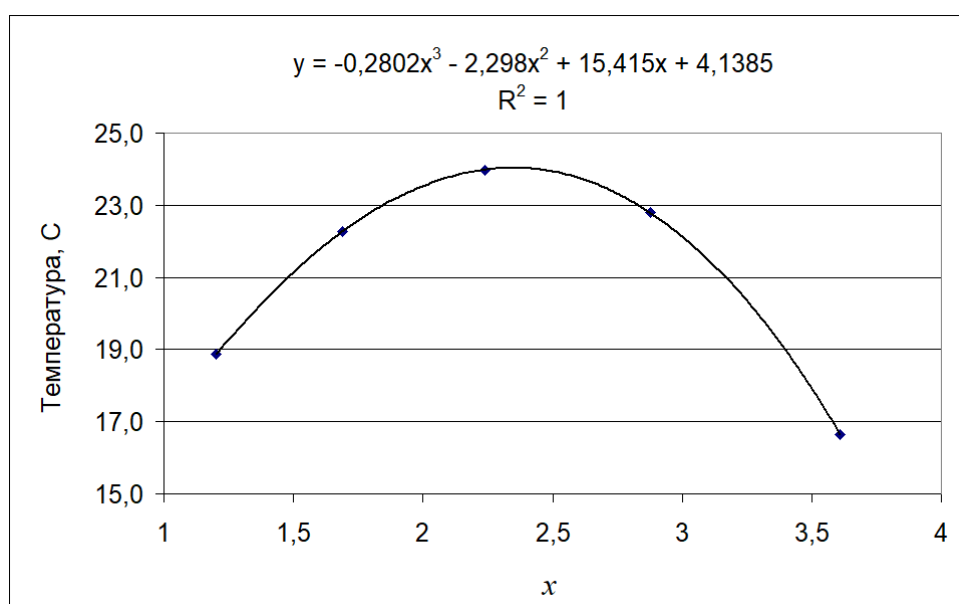


Рис. 2. Графік зміни температури на 12 годин дня у травні – вересні та його апроксимація кубічною параболою з визначенням коефіцієнтів апроксимації

Діапазон дат перегріву на кожній півгодинній відмітці було знайдено шляхом розв'язання кубічних рівнянь $k_6x^3 + k_4x^2 + k_2x + k_0 = 21$ з отриманими значеннями коефіцієнтів $k_{6,4,2,0}$. Рівняння розв'язувались за допомогою тригонометричної формули Вієта. Після знаходження коренів рівняння робилась зворотна підстановка для переходу від x до z : $z = 5\sqrt{x}$. В таблиці 3 наведено розраховані діапазони дат, в яких відбувається перегрів на певні часи.

Таблиця 3

Дати початку та завершення перегріву на півгодинних відмітках для м. Харків

Час	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
Дата початку	06.07	23.06	14.06	08.06	02.06	27.05	23.05	19.05	17.05	15.05	15.05	15.05
Дата завершення	27.07	09.08	16.08	22.08	26.08	31.08	03.09	05.09	06.09	07.09	08.09	07.09
Час	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:26
Дата початку	16.05	18.05	20.05	23.05	26.05	31.05	05.06	01.06	17.06	24.06	03.07	14.07
Дата завершення	07.09	06.09	06.09	05.09	03.09	01.09	29.08	27.08	23.08	19.08	13.08	05.08

Для отриманих точок з координатами [час; дата початку] та [час; дата завершення] за допомогою сонячних ефемерид шляхом перетворення з екваторіальних до альт-азимутальних координат було знайдено кутову висоту Сонця h_o :

$$h_o = 90 - \arccos \left(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \left(S_0 + \frac{366,25}{365,25} T - \alpha \right) \right) \quad (3)$$

де T – місцевий сонячний час, φ – географічна широта, λ – довгота (для Харків $\lambda = 36^\circ 15'$), S_0 , α і δ – значення зіркового часу у грінвічську північ на дату розрахунку, пряме піднесення та схилення Сонця відповідно, які наведені в [5] на кожний день року. Результати розрахунку h_o показано в таблицях 4.1 – 4.2.

Таблиця 4.1

Висоти Сонця для межі початку області перегріву

Час	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
Дата початку	06.07	23.06	14.06	08.06	02.06	27.05	23.05	19.05	17.05	15.05	15.05	15.05
h_o , градусів	53,6	58,1	60,9	62,3	62,1	60,4	57,8	54,2	50,4	46,0	41,7	37,2
Час	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:26
Дата початку	16.05	18.05	20.05	23.05	26.05	31.05	05.06	01.06	17.06	24.06	03.07	14.07
h_o , градусів	32,6	28,2	23,7	19,3	15,5	11,2	По за межами врахованої інсоляції					

Таблиця 4.2

Висоти Сонця для межі завершення області перегріву

Час	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
Дата завершення	27.07	09.08	16.08	22.08	26.08	31.08	03.09	05.09	06.09	07.09	08.09	07.09
h_o , градусів	50,5	51,0	51,6	51,3	50,5	48,2	47,5	42,7	39,4	35,6	31,3	27,5
Час	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:26
Дата завершення	07.09	06.09	06.09	05.09	03.09	01.09	29.08	27.08	23.08	19.08	13.08	05.08
h_o , градусів	23,0	18,7	13,9	По за межами врахованої інсоляції								

Отримані точки [час; h_o] були нанесені на сонячну карту для північної широти 50° та об'єднані лінією, що визначила область перегріву – див. рис. 3.

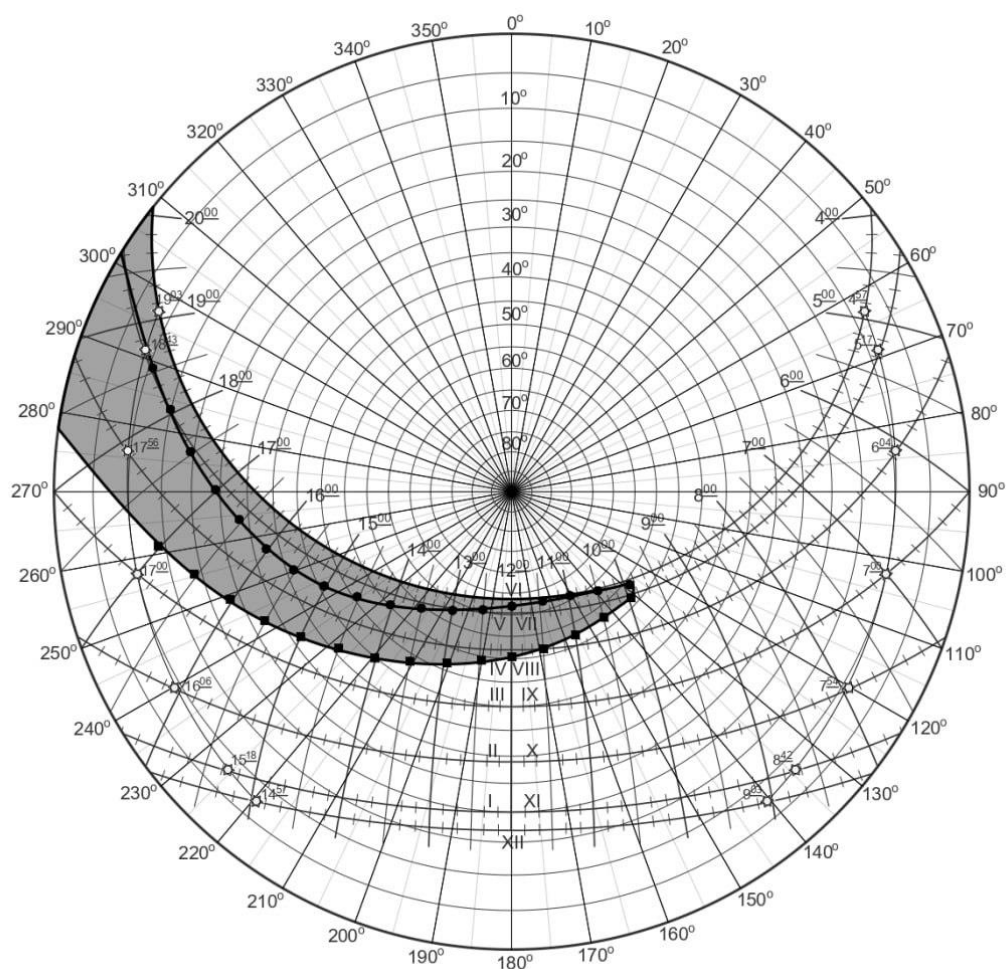


Рис. 3. Сонячна карта м. Харків з зоною перегріву.
 круглі маркери – позначки дат початку сезону перегріву
 квадратні маркери – позначки дат кінця сезону перегріву.

Висновки

1. Розроблена сонячна карта м. Харків з визначеною зоною можливого перегріву при інсоляції може бути використана для проектування оптимальних сонцезахисних пристроїв в цьому місті.
2. Запропонований метод розробки карти є цілком аналітичним, для його реалізації достатньо використання електронних таблиць на кшталт MS Excel.
3. Подальший розвиток методу може полягати в тому, щоби відмовитися від використання астрономічних календарів та замість цього безпосередньо розраховувати сонячні ефемериди за відомими астрономічними алгоритмами, наприклад, [6].

Summary

A solar map of the Kharkiv-city with a defined zone of probable overheating during insolation has been developed. The development method is described in detail, which is completely analytical and easily amenable to automation. The resulting solar map can be used to optimize the design of sun protection devices.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сергейчук О. В. Побудова комплексних сонячних карт за нормативними кліматичними даними. / Сучасні проблеми моделювання. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – С. 149-153.
2. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).
3. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення: ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2010. – 90 с. – (Національний стандарт України)
4. Методические рекомендации по оценке влияния солнцезащитных устройств на энергосбережение зданий различного назначения. / ред. кол.: А.В. Спиридонов (керівник) та ін. – М.: 2019. – 56 с.
5. Астрономічний календар. 2022 / ред. кол.: А. П. Відьмаченко (гол. ред.) та ін.; ГАО НАН України. – Київ: Академперіодика, 2021. – 214 с.
6. Jean Meeus. Astronomical Algorithms, Second Edition / Publisher: Willmann-Bell, 1999. – 477 P.