

Summary

Variational methods based on Fermat's principle, Bellman equations, and the Eikonal equation enable modeling binder and composite hardening. They help predict weak zones formed at the contact of hardening fronts from different active particles and caustics from crystallization wave self-intersections. Analyzing these geometries and minimizing their impact enhances material strength.

ЛІТЕРАТУРА

1. Haderer K.P., Schieborn Dirk, Granular matter and the time-dependent viscous eikonal equation. *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 2012. Volume 241, Issue 5. P. 616-622,
2. Голдстейн Г. Классическая механика. Голдстейн Г. Классическая механика. М., Наука, 1975 г. 416 с.
3. Sethian, J. A. *Level Set Methods and Fast Marching Methods: Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 378 p
4. Мацько І. К., Кравець Л. Б., Яворський І. М., Заяць В. М. Модель вібраційного відгуку від тіла з тріщиною. Відбір і обробка інформації. 2009. Вип. 30. С. 34 – 43.

УДК 515.14+551.58

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СОНЯЧНОЇ КАРТИ ДЛЯ м. ОДЕСА

Студ. Навроцький Н.В., гр. БЦІ-205,

Науковий керівник к.ф.-м.н. доц. Загинайло І.В.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Актуальність дослідження. Для розробки ефективних сонцезахисних пристроїв (СЗП) ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 [1] рекомендує використовувати комплексні сонячні карти (КСК) із виділенням зон можливого перегріву, де інсоляція вважається надлишковою, та зон переохолодження, де інсоляція є бажаною та відіграє роль пасивного опалення. Тіньова маска розробленого СЗП має поглинати зону можливого перегріву на сонячній карті та не перекривати зону бажаної інсоляції. При цьому в ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 ані самих КСК, ані методу їх розрахунку не приведено. Тому розробка КСК для різних міст України – актуальна задача, яка має важливе практичне значення.

Стан проблеми. Для побудови КСК необхідно мати звичайну сонячну карту для відповідної широти та дані багаторічних спостережень добового ходу температури на кожний день року. На жаль, такі детальні кліматологічні дані або взагалі відсутні, або відсутні у вільному доступі. В роботі О.В. Сергейчука [2] приведено приклад розрахунку КСК для м. Київ на підставі обмежених кліматологічних даних, що містяться в ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [3]. На підставі цих даних були розраховані добові ходи середньомісячних температур та було графічно побудовано річну поверхню функції $t(T,D)$, де t – температура повітря, T – час доби, D – день року. Вище ізолінії 21°C на цій поверхні відображається область дат та часів можливого перегріву при інсоляції, нижче ізолінії 8°C – область, коли інсоляцію бажано використовувати для пасивного опалення. Ізолінії 21°C та 8°C були спроектовані на сонячну карту для широти Києва. В роботі [4] також з використанням обмежених кліматологічних даних та методу геометричного моделювання побудована КСК для м. Ялта.

В роботі [5] здійснено аналітичний розрахунок розташування зони перегріву на сонячній карті м. Харків. При цьому окрім кліматологічних даних [3] були використані дані астрономічного щорічника, з якого для розрахунків зон перегріву та недогріву були отримані час сходу Сонця та його екваторіальні координати на кожен день року.

Мета роботи. 1. Вдосконалити аналітичний метод розрахунку КСК, який був запропонований в [5], додавши в нього розрахунок часу сходу Сонця та його координат без залучення таблиць астрономічного щорічника.
2. Побудувати КСК для м. Одеси.

Метод розрахунку. Для створення КСК м. Одеси було прийнято рішення використовувати не рекомендовану в ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 сонячну карту для 46° ПШ, а побудувати сонячну карту для реальної широти міста, яка становить $46,48^{\circ}$ ПШ. Для розрахунку сонячних траєкторій використано спрощений алгоритм, приведений в [6]. Оскільки даний алгоритм враховує еліптичність земної орбіти та повільні зміни орієнтації земної вісі, то поясний час перетину Сонцем небесного меридіану дещо змінюється від доби до доби. Згідно з ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 відлік сонячного часу належить вести від моменту нижньої кульмінації Сонця. Для забезпечення сумісності сонячних карт, отриманих за використанням алгоритмом, з сонячними картами ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010, які побудовані в припущеннях кругової форми орбіти Землі та сталості нахилу земної вісі до площини екліптики, було прийнято рішення вважати момент перетину Сонцем небесного меридіану у верхній кульмінації за 12:00 сонячного

часу, та вести відлік сонячного часу протягом поточного світлового дня від цього моменту. Сонячною траєкторією вважалася траєкторія центру сонячного диску.

Розрахунки сонячних координат на 22 число кожного місяця з інтервалом 10 хв. були виконані в MS Excel. За результатами цих розрахунків на полі азимутів та альмукантаратів сонячної карти були побудовані відповідні сонячні траєкторії та годинні лінії.

Для визначення зон можливого перегріву та бажаної інсоляції також були використані наведені в [3] кліматологічні дані, а саме середньомісячні значеннями температури t_{cm} та середньомісячні амплітуди добових температур A (представлені у таблиці 1).

Таблиця 1.

Середньомісячні параметри температурного режиму м. Одеса [3]

місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{cm}, ^\circ C$	-1,3	-0,6	2,9	9,2	15,3	19,6	22	21,6	17	11,3	5,8	1,1
$A, ^\circ C$	5,3	5	5,3	6,4	6,9	7,5	8	8,1	7,8	6,5	5,4	5,1

На підставі цих даних відновлювалися добові ходи середньомісячної температури, при цьому вважалось, що отримані добові ходи середньомісячної температури відповідають ходам на 15 число кожного місяця за винятком лютого, для якого такою датою вважалось 14 число. Відновлення добових ходів середньомісячної температури здійснювалось згідно з наступними формулами, рекомендованими в [3]:

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

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} розраховувався час сходу Сонця, при цьому моментом сходу вважався момент появи верхнього краю сонячного диску над площиною горизонту. Визначався цей момент часу з урахуванням рефракції в земній атмосфері у вигляді поправки до висоти Сонця. Розрахунок проводився за тим самим алгоритмом, що використовувався при розрахунку сонячних траєкторій.

Отримані результати.

Аналіз отриманих за формулами (1) кривих добового ходу середньомісячної температури (див. рис. 1) показав, що:

- 1) температурні криві з листопаду по березень включно розташовані нижче відмітки 8°C , тобто ці криві цілком знаходяться в зоні недогріву;
- 2) температурні криві квітня та листопаду двічі перетинають відмітку 8°C , тобто ці криві частково знаходяться в зоні недогріву, а частково – в зоні умовного комфорту;
- 3) температурні криві травня, вересня та жовтня розташовані вище відмітки 8°C та нижче відмітки 21°C – тобто ці криві цілком знаходяться в зоні умовного комфорту;
- 4) температурні криві червня липня та серпня двічі перетинають відмітку 21°C , тобто ці криві частково знаходяться в зоні перегріву, а частково – в зоні умовного комфорту. Причому, найбільша тривалість зони перегріву трапляється саме в липні.

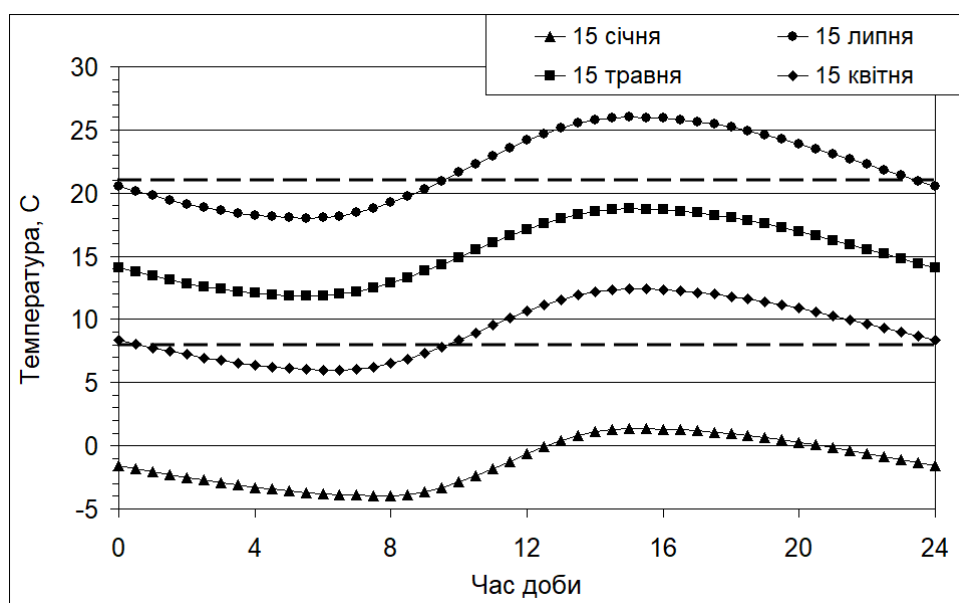


Рис. 1. Добовий хід температури в м. Одеса в січні, квітні, травні та липні.

Для того, щоб встановити діапазон дат, коли відбувається недогрів або перегрів, було проаналізовано річні графіки зміни середньої температури для кожної півгодинної позначки часу. Такі графіки були отримані з додбових ходів температури на середину кожного місяця. На рис. 2 показано деякі з отриманих графіків. Вздовж вісі абсцис відкладено дату, виражену за формулою $z = m - 1 + D/d$, де m – номер місяця, D – номер дня місяця, для якого розрахована добова хода температури, d кількість днів в місяці.

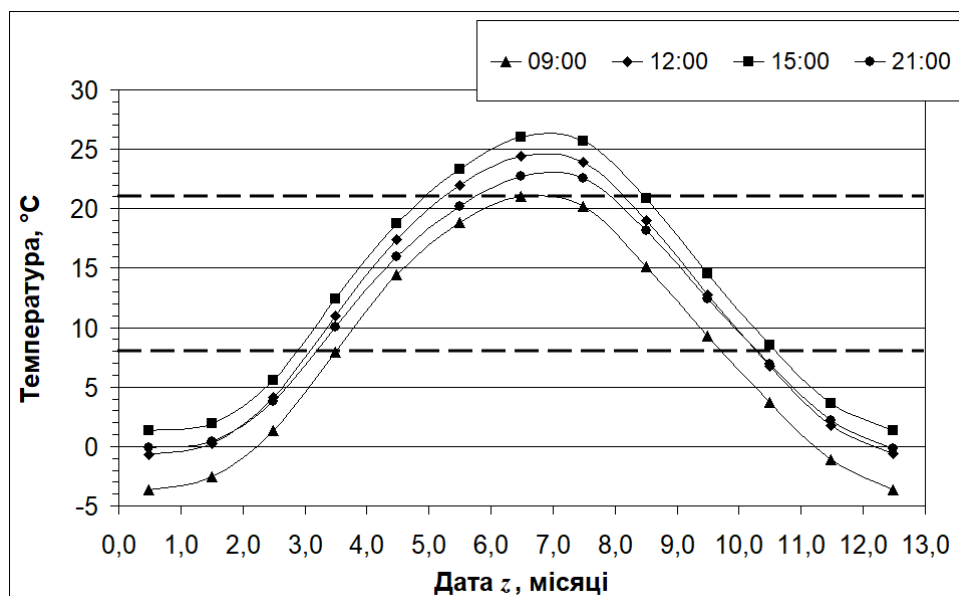
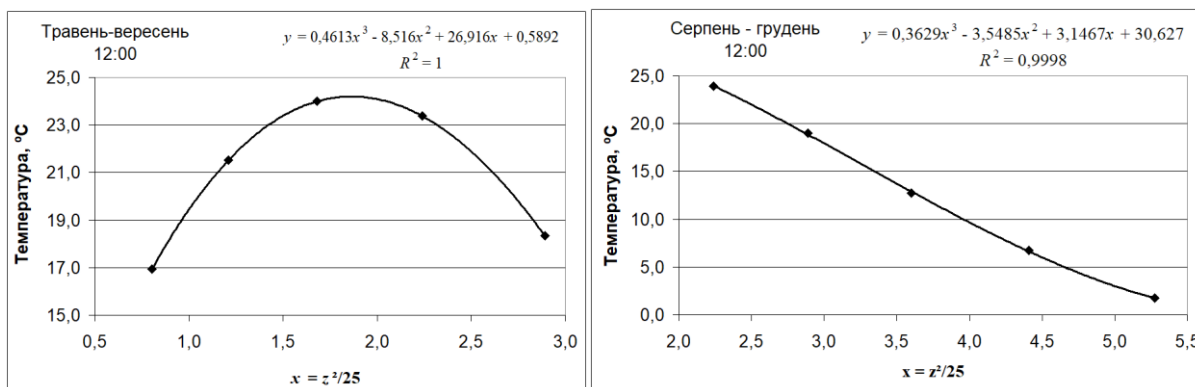


Рис. 2. Річний хід середньої температури в м. Одеса на 9:00, 12:00, 15:00 та 21:00 за сонячним часом.

Для аналітичного визначення перетинів графіків річного ходу температур з лініями $t = 8^{\circ}\text{C}$ та $t = 21^{\circ}\text{C}$ було бажано виразити ці графіки у вигляді функцій $t(z)$, однак знайти для них досить точну апроксимацію не вдалося. Тому було прийняте рішення робити кускову апроксимацію: на ділянках січень-травень травень-вересень та серпень-грудень залежність $t(z)$ виявилось можливим задовільно апроксимувати бікубічними поліномами (2):

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

де $k_{6,4,2,0}$ – апроксимаційні коефіцієнти. Для визначення коефіцієнтів $k_{6,4,2,0}$ з достатньою кількістю (4-5) значущих цифр за допомогою інструменту «параметри лінії тренда» MS Excel виявилось необхідним зробити підстановку $x = z^2/25$, після чого бікубічне рівняння (2) до того ж перетворилося в звичайне кубічне. Коефіцієнти кореляції для апроксимацій кубічною параболою всіх отриманих графіків $t(x)$ були не меншими за 0,9998. На рис. 3 показано приклади апроксимації кубічними параболою графіків температури $t(x)$ для відмітки часу $T = 12:00$ з визначенням коефіцієнтів апроксимації та квадрату коефіцієнту кореляції R^2 .



а)

б)

Рис. 3. Графіки зміни температури на 12 годин дня та їх апроксимації з визначенням коефіцієнтів апроксимації та кореляції а) у травні-вересні, б) у серпні-грудні.

Діапазон дат перегріву та/або недогріву на кожній півгодинній відмітці було знайдено шляхом розв'язання кубічних рівнянь $t(x) = 21$, $t(x) = 8$ з отриманими значеннями коефіцієнтів. Рівняння розв'язувались за тригонометричною формулою Вієта. Після знаходження коренів рівняння робилася зворотна підстановка для переходу від x до z : $z = 5\sqrt{x}$. Далі величина z перетворювалась у звичний формат дати.

В таблиці 2 наведено розраховані діапазони дат, в яких відбувається перегрів на певні часи доби за сонячним часом.

Таблиця 2

Дати початку та завершення перегріву на деяких відмітках часу для м. Одеса

Час	8:48	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30
Дата початку	22.07	11.07	01.07	24.06	19.06	14.06	10.06	07.06	04.06	02.06	31.05
Дата завершення	22.07	03.08	12.08	19.08	24.08	28.08	02.09	05.09	08.09	10.09	12.09
Час	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00
Дата початку	29.05	28.05	28.05	28.05	29.05	29.05	31.05	02.06	04.06	06.06	08.06
Дата завершення	13.09	14.09	14.09	14.09	14.09	13.09	13.09	12.09	11.09	10.09	08.09

В таблиці 3 наведено розраховані діапазони дат, в яких відбувається недогрів на певні часи доби за сонячним часом.

Для отриманих точок з координатами [час; дата початку] та [час; дата завершення] відповідні координати Сонця у форматі [азимут A ; висота h_0] були розраховані за алгоритмом [6] та спроектовані на сонячну карту Одеси. Отримані точки були об'єднані лініями, що визначили області перегріву та недогріву. – див. рис. 4.

Дати завершення та початку недогріву на півгодинних відмітках часу
для м. Одеса

Час	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30
Дата початку	-	15.10	15.10	16.10	17.10	19.10	21.10	23.10	26.10	29.10	01.11	04.11
Дата завершення	23.04	22.04	21.04	20.04	18.04	16.04	15.04	13.04	11.04	09.04	07.04	04.04
Час	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30
Дата початку	07.11	10.11	12.11	14.11	15.11	16.11	16.11	16.11	16.11	16.11	16.11	15.11
Дата завершення	3.04	1.04	31.03	29.03	28.03	27.03	27.03	27.03	27.03	28.03	28.03	29.03

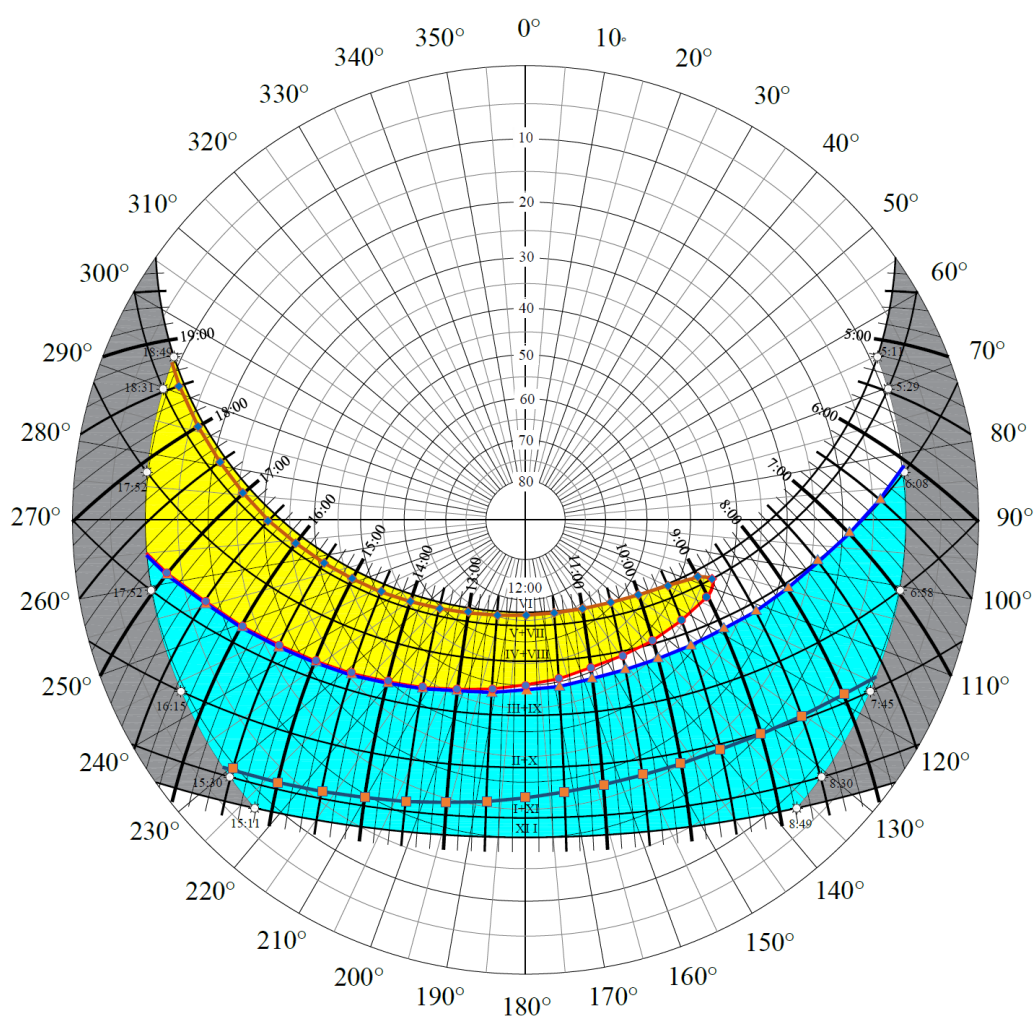


Рис. 4. КСК м. Одеса ($46,48^\circ$ ПШ) з зонами перегріву та недогріву:
лінія початку весняного перегріву позначена маркерами у вигляді ромбів,
лінія завершення перегріву восени позначена маркерами у вигляді кіл,
лінія початку недогріву восени позначена маркерами у вигляді квадратів,
лінія завершення недогріву весною позначена маркерами у вигляді трикутників.

Комплексні сонячні карти м. Одеси у форматах pdf, wmf, та dwg доступні для вільного завантаження з веб-сайту Конференції за посиланням <https://sites.google.com/site/odabaphysicsconf/complex-sun-path-diagrams>

Висновки.

1. Розроблена сонячна карта м. Одеси з визначеною зоною можливого перегріву при інсоляції та зоною бажаної 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.

Summary

A polar-type Sun's path diagram for Odessa-city with a defined zone of probable overheating during insolation and zone of desirable insolation has been developed. The development method is described in detail, which is completely analytical and easily amenable to automation. The resulting Sun's path diagram can be used to optimize the design of sun protection.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення. / Нац. стандарт України. Вид. офіц. Київ: Укрархбудінформ, 2010. 90 с.
2. Сергейчук О. В. Побудова комплексних сонячних карт за нормативними кліматичними даними. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. С. 149-153.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. / Нац. стандарт України. Вид. офіц. Київ: Укрархбудінформ, 2011. 123 с.
4. Методические рекомендации по оценке влияния солнцезащитных устройств на энергосбережение зданий различного назначения. / За заг. ред. А.В. Спиридонова. М.: 2019. 56 с.
5. Вержбицька П.В. Розробка комплексної сонячної карти для м. Харків: тези доп. V Всеукр. наук.-практ. конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених *Фізичні основи сучасних технологій в будівельній індустрії*. Одеса: ОДАБА, 2023. С. 151-157.
6. Jean Meeus. *Astronomical Algorithms*, Second Edition. Publisher: Willmann-Bell, 1999. 477 p.