

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра основ архітектурного проектування,  
конструювання, дизайну та графіки

**03-07-122М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

та завдання до виконання практичних робіт  
**З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**«БУДІВЕЛЬНА ФІЗИКА»**

**АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА СВІЛОТЕХНІКА**

**Побудова сонячних карт і тіньового кутоміра**  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою  
«Архітектура та містобудування»  
спеціальності G17 «Архітектура та містобудування»  
денної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною  
радою з якості ННІБАД  
Протокол № 6 від 17.02.2026 р.



Рівне – 2026

Методичні вказівки та завдання до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Будівельна фізика» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Архітектура та містобудування» спеціальності G17 «Архітектура та містобудування» денної форми навчання. Архітектурно-будівельна світлотехніка. Побудова сонячних карт і тіньового кутоміру [Електронне видання] / Пугачов Є. В., Кундрат Т. М., Літніцький С. І., Зданевич В. А. Рівне : НУВГП, 2026. 46 с.

Укладачі: Пугачов Є. В., д.т.н., професор, професор кафедри основ архітектурного проектування, конструювання, дизайну та графіки;  
Кундрат Т. М., к.т.н., доцент кафедри основ архітектурного проектування, конструювання, дизайну та графіки;  
Літніцький С. І., к.т.н., доцент кафедри основ архітектурного проектування, конструювання, дизайну та графіки;  
Зданевич В. А.

Відповідальний за випуск: Ромашко В. М., д.т.н., проф., завідувач кафедри основ архітектурного проектування, конструювання, дизайну та графіки.

Керівник групи забезпечення спеціальності G17 «Архітектура та містобудування» к.арх., доц. Потапчук І. В.

© Є. В. Пугачов, Т. М. Кундрат,  
С. І. Літніцький, В. А. Зданевич, 2026  
© НУВГП, 2026

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ .....	5
1.1. Основні поняття.....	5
1.2. Різновиди сонячних карт .....	17
2. ПОБУДОВА СТЕРЕОГРАФІЧНИХ СОНЯЧНИХ КАРТ .....	25
3. ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ СОНЯЧНИХ КАРТ І ТІНЬОВОГО КУТОМІРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНИХ СОНЦЕЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ .....	32
3.1. Характеристики найбільш поширених стаціонарних сонцезахисних пристроїв.....	32
3.2. Принципи побудови комплексної сонячної карти .....	34
3.3. Використання тіньового кутоміру для визначення геометричних параметрів сонцезахисних пристроїв .....	35
4. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПОБУДОВИ СОНЯЧНОЇ КАРТИ І ТІНЬОВОГО КУТОМІРУ .....	40
5. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ.....	43
6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	45
6.1. Основна .....	45
6.2. Додаткова .....	46

## ВСТУП

Методичні вказівки до практичних робіт розроблено згідно силабусу курсу «Будівельна фізика» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю G17 «Архітектура та містобудування» денної форми навчання.

Наведено короткі теоретичні відомості та методичні вказівки щодо побудови стереографічних сонячних карт, комплексних стереографічних сонячних карт та тіньового кутоміру, приклади використання комплексних сонячних карт і тіньового кутоміру для визначення геометричних параметрів поширених сонцезахисних пристроїв та відповідні завдання.

Методичні вказівки спираються на досягнення як українських, так і зарубіжних вчених, що відображено у посиланнях на наведену основну та додаткову літературу. Зокрема, авторами розроблена комплексна сонячна карта для міста Рівне, що дозволяє раціонально проектувати сонцезахисні пристрої саме для нашого міста.

Методичні вказівки можуть бути використані в курсовому та дипломному проектуванні студентами спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія» для розрахунку інсоляції та сонцезахисних пристроїв.

---

\* На титульному аркуші зображена гравюра П. Рубенса «Проекція небесної сфери на площину (стереографічна)» – ілюстрація до книги «Opticorum libri sex: philosophis juxta ac mathematicis utiles» Francisci Aguilonii («Шість книг з оптики: корисні філософам та математикам», Франциск Агілоній, 1613 р.).

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

## 1.1. Основні поняття

**1. Координати Сонця [4, 5, 7, 8, 10, 11, 12]** – кути (рис. 1), за допомогою яких фіксується миттєве положення Сонця на небесній сфері (кутова або зенітна висота та азимут).

**Азимут** – кут  $A$ , що відраховується від напрямку на північ за годинниковою стрілкою (рис. 1). Змінюється в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Замість азимута часто використовують азимутальний кут Сонця (вимірюється у горизонтальній площині від напрямку на південь до сходу зі знаком «+», а до заходу – зі знаком «-»).

**Кутова висота Сонця** – кут  $h$  в сонячній площині між напрямком на Сонце і площиною горизонту (рис. 1). Якщо Сонце знаходиться над горизонтом, висота Сонця додатна і може бути в межах від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , інакше – від’ємна – в межах від  $0^\circ$  до  $-90^\circ$ .

**Зенітна висота Сонця** – кут  $\theta$  між віссю  $Z$ , спрямованою в зеніт, і напрямком на Сонце (рис. 1).



Рис. 1. Координати Сонця за [5]

2. Альмукантарат [2, 4, 5] – будь-яке паралельне горизонту мале коло небесної сфери (рис. 2).

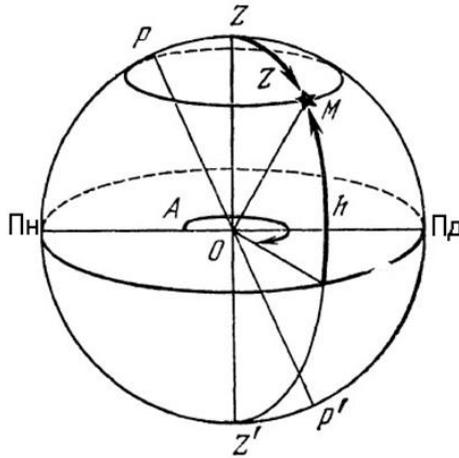


Рис. 2 Альмукантарат за [10]

3. Астрономічний полудень (сонячний полудень, істинний полудень) [5, 10, 11, 12] – момент часу, коли центр диска Сонця перетинає небесний меридіан у верхній кульмінації.

4. Вертикал [5] – велике коло небесної сфери, що проходить крізь зеніт та надир і дану точку  $S$  небесної сфери (рис. 3).

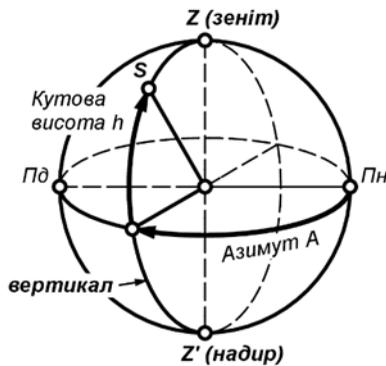


Рис. 3. Вертикал за [5]

**5. Годинний кут,  $\omega$ , град [2, 4, 5, 10, 11, 12]** – кут між поточною проєкцією сонячних променів на площину горизонту і проєкцією сонячних променів у сонячний полудень (коли Сонце у зеніті і годинний кут дорівнює нулю), вважається від’ємним до полудня і додатним – після полудня; є мірою сонячного часу  $t_c$  в кутових одиницях і змінюється за 1 годину на  $15^\circ$ , в радіанах дорівнює  $\omega = \pi t_c / 12$ ; причому сонячний час вимірюється від сонячного полудня (від’ємний до полудня і додатний – після).

**6. Годинна лінія [2, 4, 5, 10, 11, 12]** – крива на небесній сфері, що з’єднує положення Сонця з однаковим значенням сонячного часу всіх діб року, а також її відображення на сонячній карті.

**7. Горизонт математичний (лінія горизонту) [4, 5]** – лінія перетину площини горизонту з небесною сферою (рис. 4).

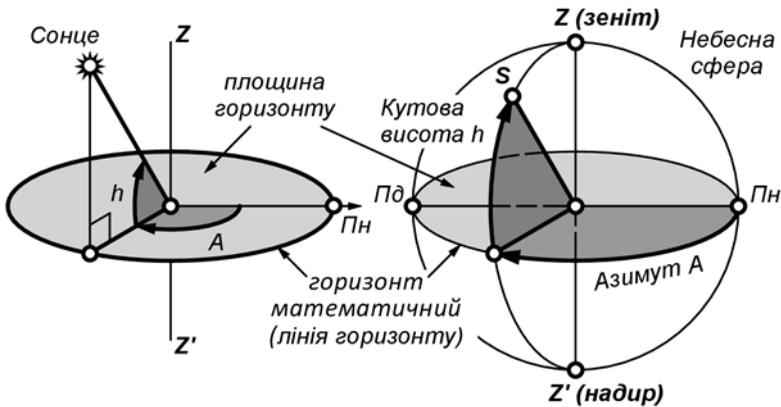


Рис. 4. Горизонт математичний за [5]

**8. Літнє сонцестояння [4, 5, 10, 11, 12]** – момент часу, коли центр Сонця проходить через найпівнічнішу точку екліптики (рис. 5), що має схилення  $+23^\circ 27'$  (точка літнього сонцестояння).

**9. Зимове сонцестояння [4, 5, 10, 11, 12]** – момент часу, коли центр Сонця проходить через найпівденнішу точку екліптики (рис. 5), що має схилення  $-23^{\circ} 27'$  (точка зимового сонцестояння).

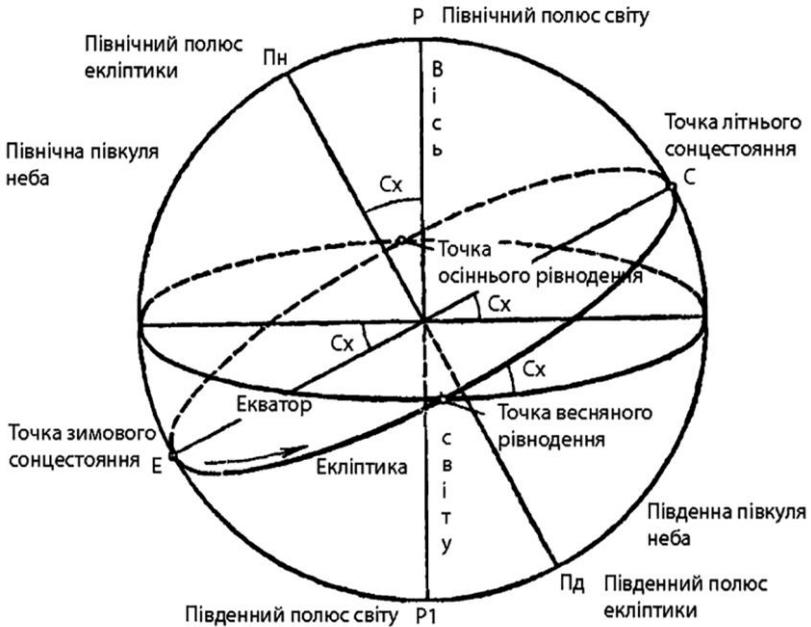


Рис. 5. Точки літнього і зимового сонцестояння та точки весняного і осіннього рівнодення за [10]

**10. Осіннє рівнодення [4, 5, 10, 11, 12]** – момент часу, коли схилення Сонця (його кутова відстань від небесного екватора на північ або на південь) дорівнює нулю (рис. 5), а кут між віссю обертання Землі і напрямком на Сонце стає прямим, тобто земні полюси рівновіддалені від Сонця (момент, коли Сонце перетинає небесний екватор, прямуючи на південь).

**11. Весняне рівнодення [4, 5, 10, 11, 12]** – момент часу, коли схилення Сонця (його кутова відстань від небесного екватора на північ або на південь) дорівнює нулю (рис. 5), а кут між віссю обертання Землі і напрямком на Сонце стає прямим, тобто земні полюси рівновіддалені від Сонця.

**12. Небесна півсфера, небозвід, небо [2, 4, 5, 10, 11, 12]** – частина небесної сфери (рис. 6), що розташована вище площини горизонту (математичного).

**13. Небесна сфера [2, 4, 5, 10, 11, 12]** – уявна сфера довільного радіуса, на яку проєкціюються небесні світила (рис. 1); центром сфери зазвичай є розрахункова точка.

**14. Прямовисна лінія (основний напрямок, зв'язаний зі спостерегачем) [5]** – пряма лінія, що проходить через центр небесної півсфери (точку спостереження  $O$ ), яка збігається з напрямком сили тяжіння в точці спостереження (рис. 6).

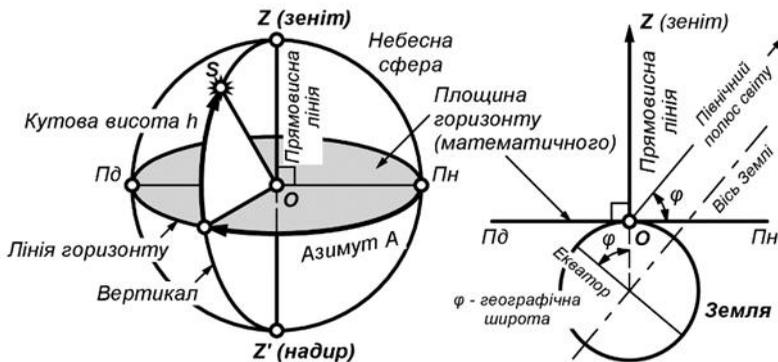


Рис. 6. Прямовисна лінія за [5]

**15. Сонячна карта [2, 3, 4, 5, 10, 11, 12]** – інструмент для інсоляційних розрахунків, що являє собою проєкцію на горизонтальну площину денної небесної півсфери, на якій відображені сонячні траєкторії, годинні лінії та координатна сітка, що складається з азимутальних ліній та альмукантаратів; може бути

ортогональною, стереографічною та ін. (рис. 7); будується для конкретної географічної широти.

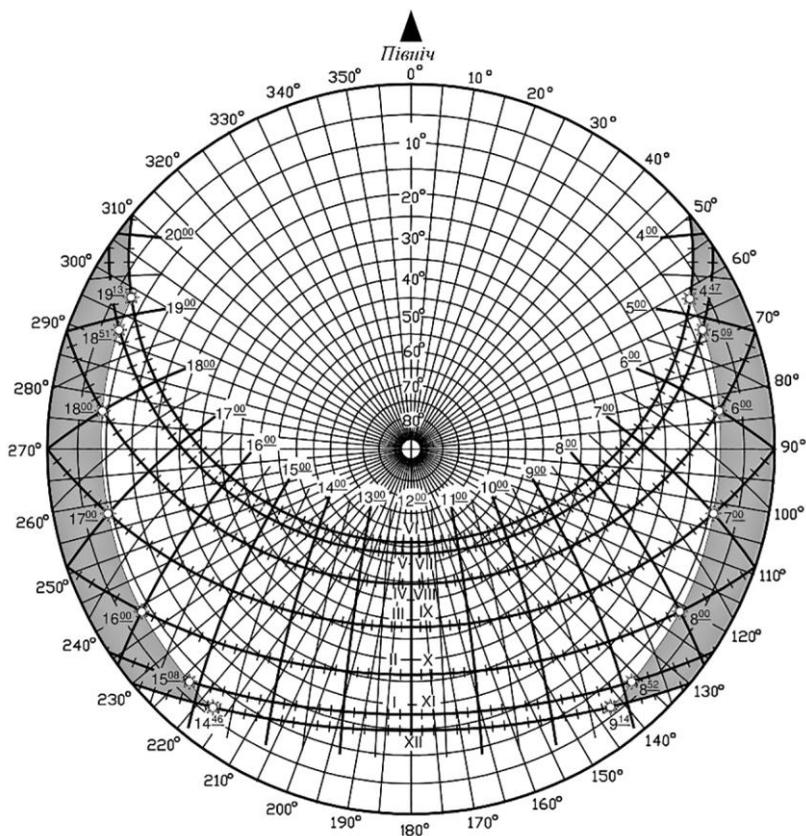
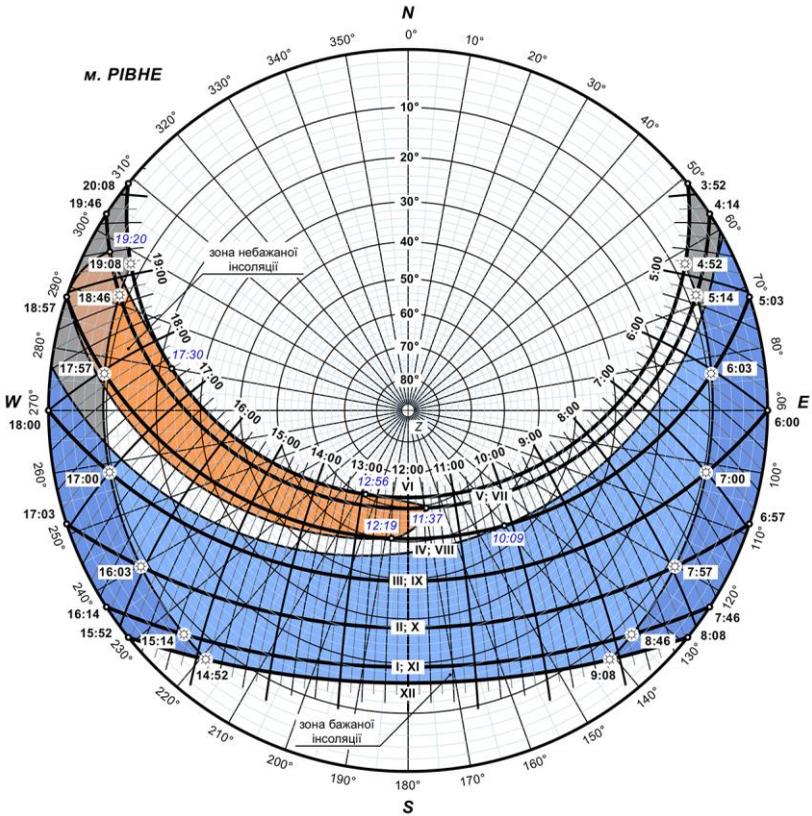


Рис. 7. Сонячна карта  
(для  $52^\circ$  пн. ш.) за [2]

**16. Сонячна карта комплексна [5, 6, 9, 12]** – сонячна карта (рис. 8) з нанесеними на неї даними про місцеві особливості клімату: зонами бажаної і небажаної інсоляції, які відповідають опалювальному періоду та періоду перегріву (періоду охолодження будівель) протягом року.



Комплексна сонячна карта  
з зонами бажаної та небажаної інсоляції  
(м. РІВНЕ,  $\varphi = 50^{\circ}37'11''$  пн. ш.)

Рис. 8. Сонячна карта комплексна  
для міста Рівне за [5]

**17. Сонячний час [2, 4, 5]** – в діючих нормах проектування час, що пройшов з моменту, коли Сонце знаходилось у найнижчій точці сонячної траєкторії до моменту, що розглядається; у Північній півкулі Сонце о 12:00 за сонячним часом має азимут  $180^{\circ}$  (знаходиться на Півдні).

**18. Стереографічна проєкція [6, 12]** – центральна проєкція точок і ліній сфери з деякого центра  $S$ , що належить сфері, на площину, дотичну до сфери в протилежній точці діаметра сфери, інцидентного точці  $S$  (рис. 9).

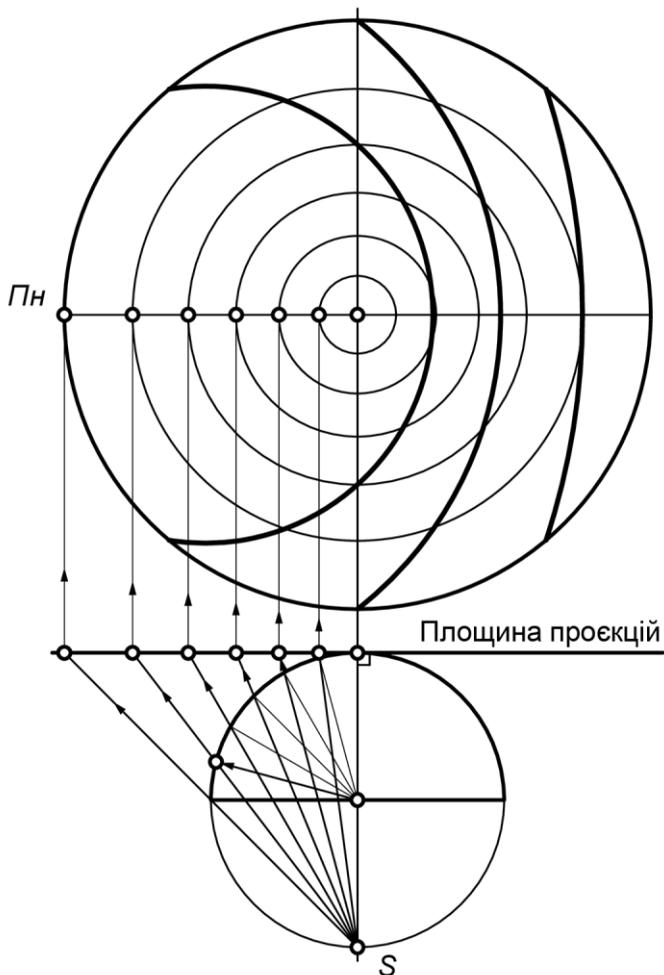


Рис. 9. Стереографічна проєкція за [5]

**19. Схилення Сонця [4, 5, 6, 10, 11, 12]** – кут між напрямом на Сонце і площиною екватора Землі (**рис. 10**); інакше – кутова відстань на небесній сфері від площини небесного екватора до Сонця; додатне на північ від небесного екватора і від’ємне на південь; значення залежить від дня року.

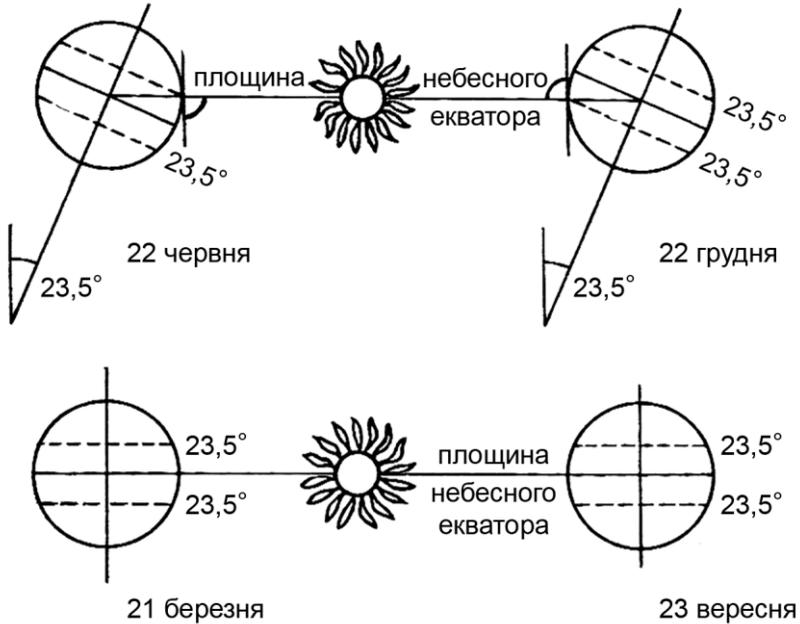


Рис. 10. Схилення Сонця в дні сонцестояння та рівнодення за [11]

**20. Тіньовий кутомір [2, 5, 12]** – графічний інструмент для побудови тіньових масок екрануючих елементів, які мають горизонтальні ребра; являє собою систему кривих – тіньових масок від прямолінійних будинків нескінченної довжини з кутовою висотою над розрахунковою точкою  $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, \dots, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$ , та систему радіальних ліній (**рис. 11**); сонячна карта і тіньовий кутомір повинні мати однаковий масштаб.

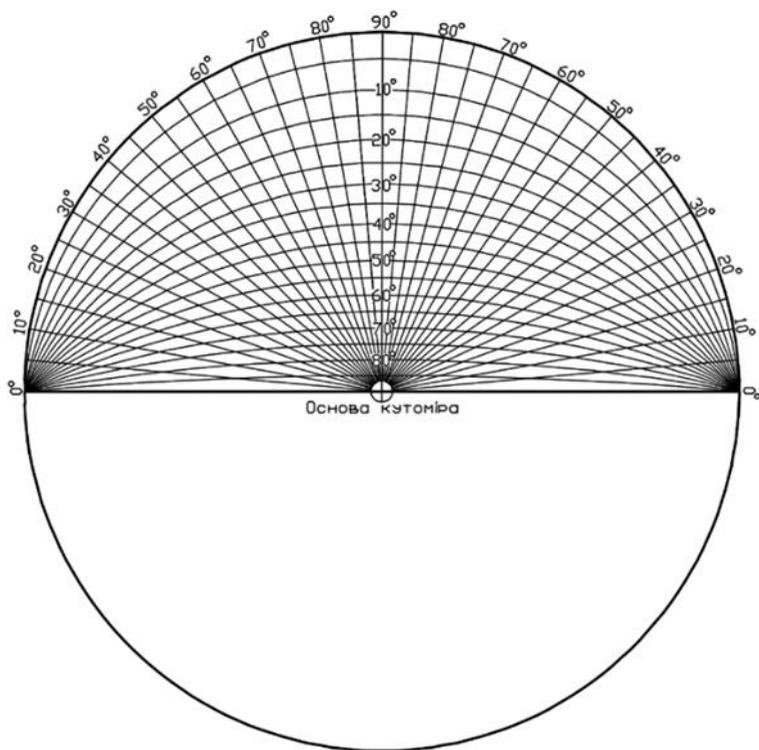


Рис. 11. Тінювий кутомір за [2]

**21. Тінювий кут вертикальний [12]** – кут між проєкцією сонячного променя на вертикальну площину, перпендикулярну до вертикальної площини фасаду, і нормаллю до площини фасаду (рис. 12, кут  $\epsilon$ ).

**22. Тінювий кут горизонтальний [12]** – кут між проєкцією сонячного променя на горизонтальну площину і нормаллю до вертикальної площини фасаду (рис. 12, кут  $\delta$ ).

**23. Тінюва маска [2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12]** – графічне відображення на сонячній карті чи інсоляційній лінійці зони екранування небозводу певним об'єктом.

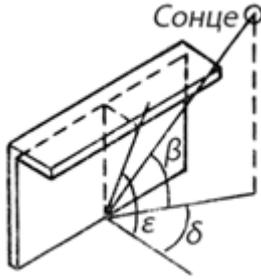


Рис. 12. Тіньові кути та кутова висота Сонця:  $\varepsilon$  – вертикальний,  $\delta$  – горизонтальний,  $\beta$  – кутова висота Сонця за [12]

**24. Тіньова маска сонцезахисного пристрою [2, 5, 8, 9, 12]** – тіньова маска сонцезахисного пристрою (горизонтального, вертикального, загального положення, комбінованого) як екрануючої розрахункову точку елемента (рис. 13).

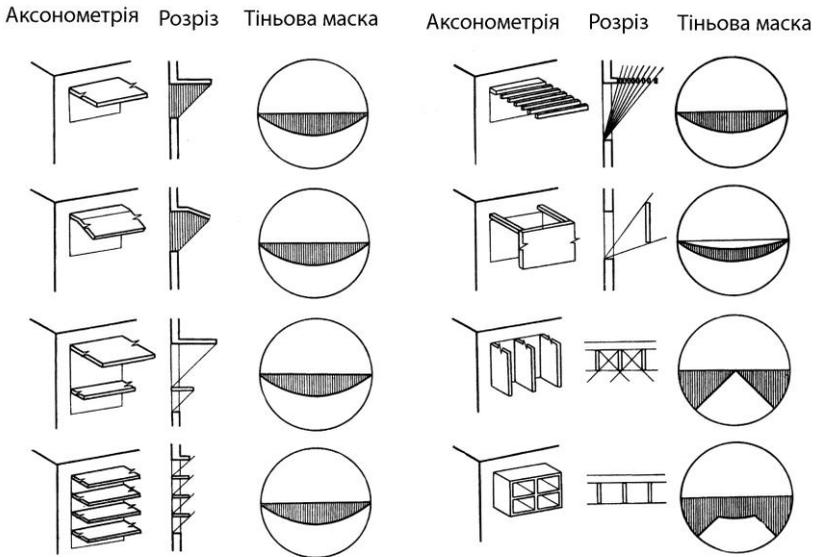


Рис. 13. Форми тіньових масок найбільш розповсюджених стаціонарних сонцезахисних пристроїв за [6]

**23. Ізоплети температур повітря [5, 12]** – криві рівної усередненої температури повітря (ізотерми), накреслені в прямокутній координатній сітці, по одній з осей якої відкладені години доби, а по іншій – місяці року (рис. 14); використовується, зокрема, для визначення періоду перегріву при побудові комплексних сонячних карт та визначенні геометричних параметрів сонцезахисних пристроїв.

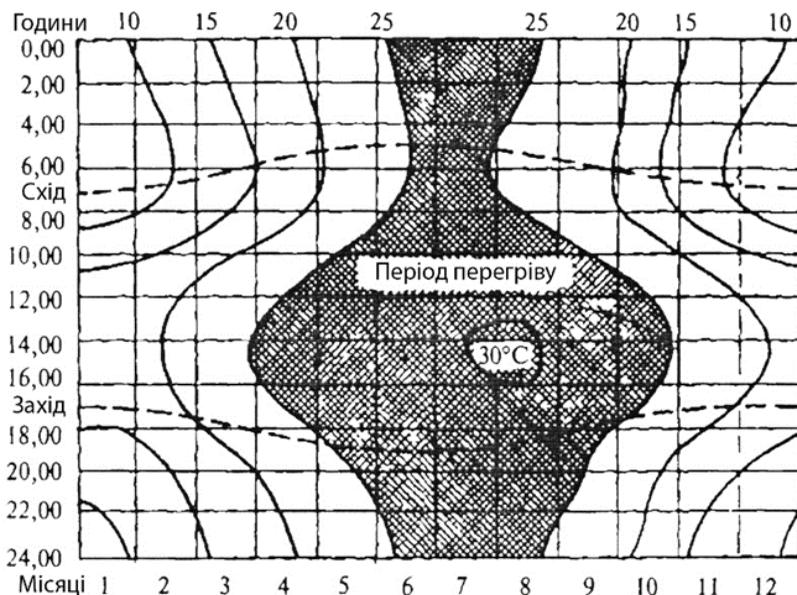


Рис. 14. Ізоплети температур повітря за [12]

**24. Період перегріву [5]** – період року, коли треба всіляко захищати людей від прямої дії Сонця.

## 1.2. Різновиди сонячних карт

Для розв'язання інсоляційних задач використовують різні сонячні карти, які відрізняються способом проєкціювання небесної сфери на площину, що відмічене в означенні терміну **Сонячна карта**, наведеному вище.

Різновидом сонячної карти є **сонячна діаграма Гунара Плейжела** [8, 10], запропонована шведським архітектором Г. Плейжелом (**рис. 15**), що побудована в радіально-кільцевій системі координат. Інший приклад [1] – проєкція «Калоти» (**рис. 16**).

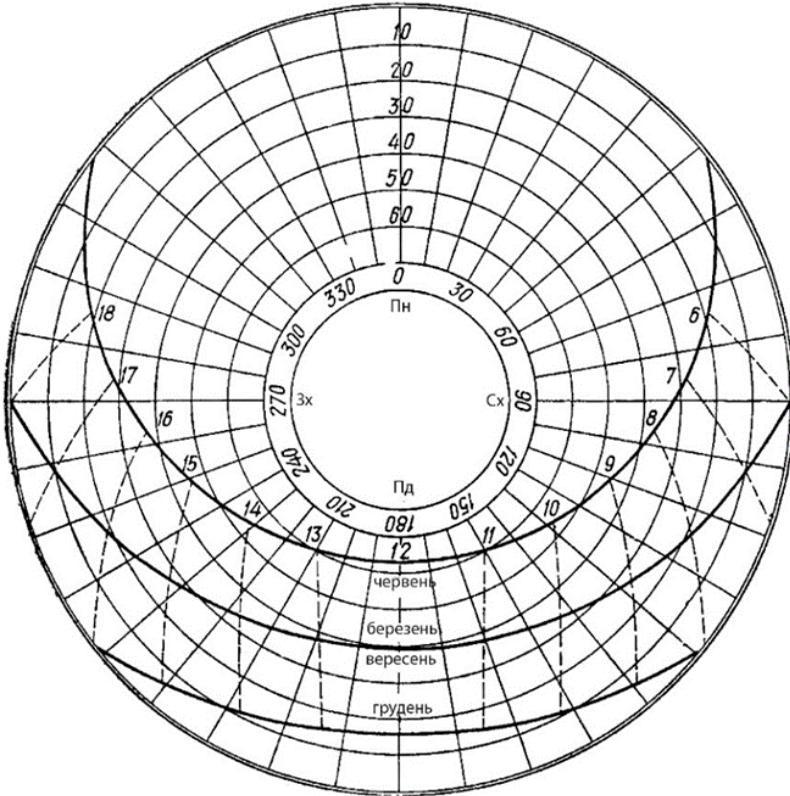


Рис. 15. Сонячна діаграма Гунара Плейжела за [10]

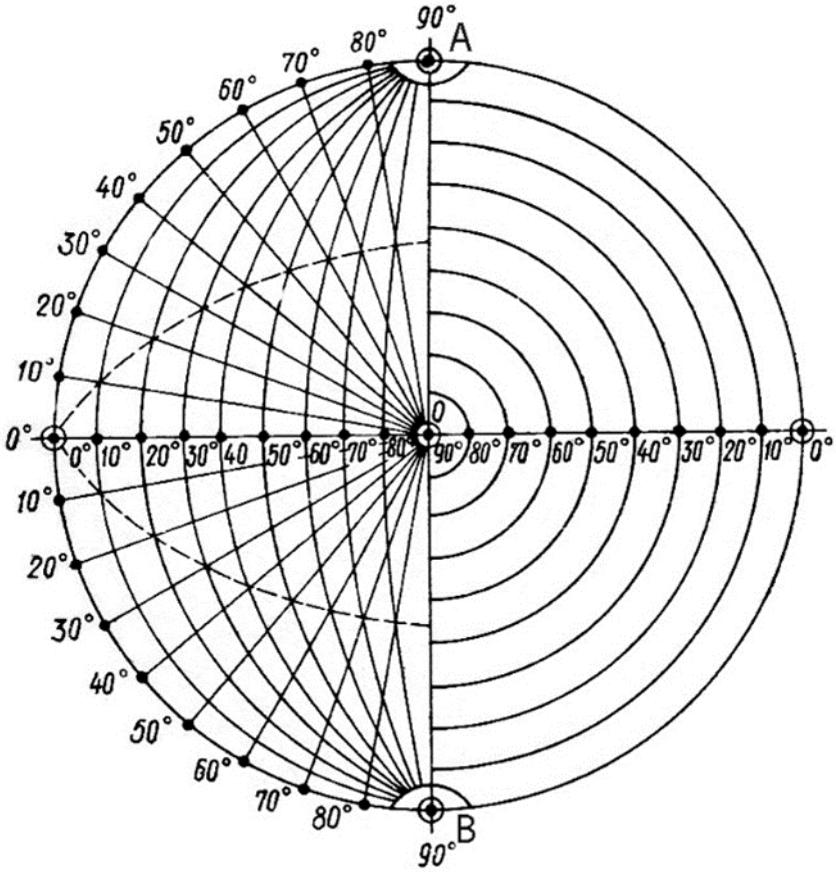


Рис. 16. Діаграма для побудови проєкцій на калоті за [1]

Для проєціювання на площину горизонту використовують такі методи: гномонічної, ортографічної, еквідистантної та стереографічної проєкції.

В методі *гномонічної проєкції* [12] використовується принцип дії сонячного годинника. Центром проєкції є точка, де розташований спостерігач (рис. 17, рис. 21).

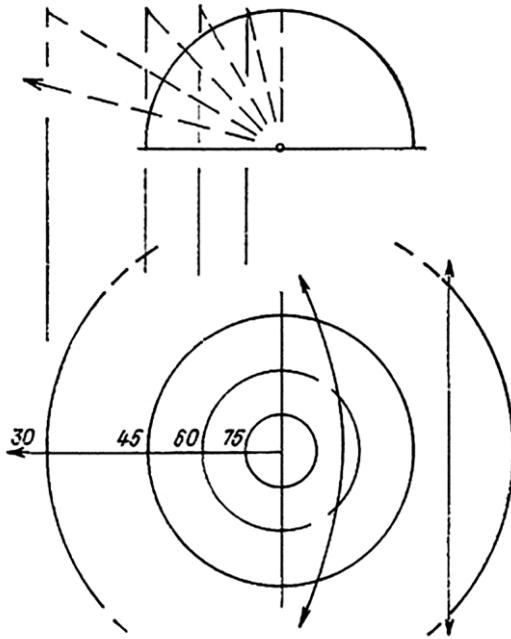


Рис. 17. Метод гномонічної проєкції за [12]

Головний недолік цього методу полягає в тому, що горизонт поширюється до нескінченності. Тому, якщо необхідно показати на сонячній карті обмеженої величини малі значення кутової висоти Сонця, то масштаб ділянки навколо зеніту буде дуже малим.

*Ортографічна проєкція* небесної півсфери [12] обмежена колом горизонту. Точки небесної півсфери проєкціюють на горизонтальну площину за допомогою паралельних вертикальних прямих, як це показано на **рис. 18**.

Недолік цього методу проєкціювання полягає в тому, що кола кутової висоти (альмукантарати), розмежовані однаковою кутовою відстанню, в результаті проєкціювання майже зливаються поблизу кола горизонту (**рис. 21**), що знижує точність графіка, тоді як в області зеніту проміжки між ними доволі

великі. Тому такий спосіб проєкціювання прийнятний для районів екваторіальної зони, а для широт приблизно від  $40^\circ$  і вище практично неможливий.

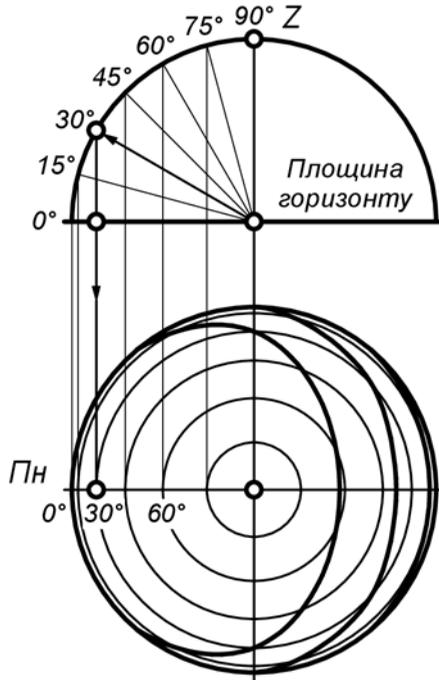


Рис. 18. Метод ортографічної проєкції за [5]

Метод *еквідистантної проєкції* [12] позбавлений цього недоліка. Точки небесної півсфери проєкціюються за допомогою радіальної проєкції на площину, обмежену колом горизонту (рис. 19). При цьому центр проєкції зміщується вниз відносно положення спостерігача (центру небесної півсфери) на відстань, яка в 1,6–1,75 разів перевищує радіус небесної півсфери. Кола кутової висоти (альмукутарати) в цьому випадку стають розділеними на однакові проміжки. Цей метод використовують переважно у США.

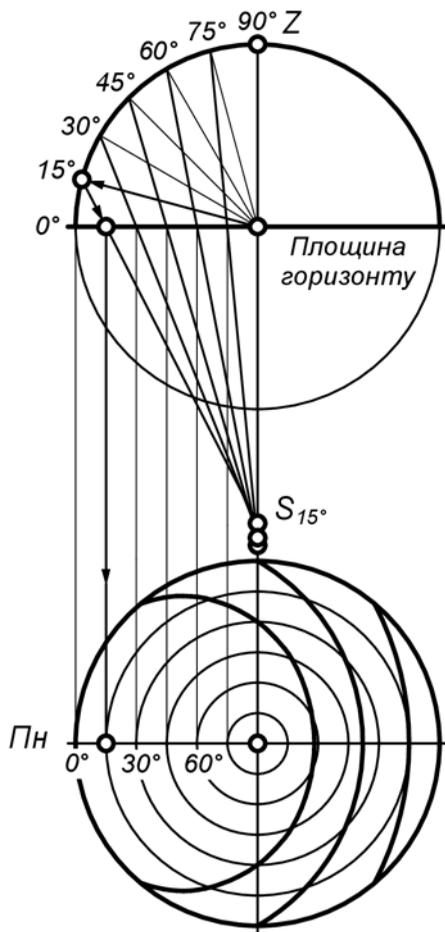


Рис. 19. Метод еквідистантної проєкції: відстань між колами (проєкціями альмукантаратів) – однакова за [5]

В методі *стереографічної проєкції* [12] (рис. 9, 21) небесна півсфера проєкціюється центрально з надиру (рис. 1, 3, 4, 6) на площину горизонту (рис. 20), яка паралельна площині проєкцій, показаній на рис. 9. При цьому зберігаються всі переваги, властиві проєкціюванню на площину, дотичну до небесної сфери в точці, протилежній точці надиру [6], а саме: будь-які

перерізи небесної півсфери по колу зображуються теж колами, що суттєво полегшує математичну обробку даних і побудову проєкцій траєкторій Сонця та інших ліній сонячної карти.

При цьому відстань між проєкціями кіл кутової висоти (альмукантаратами) стає більшою біля горизонту, ніж в області зеніту, але це вважається перевагою методу, оскільки дозволяє отримати краще розрізнення в області малих значень кутової висоти Сонця. Метод стереографічної проєкції використовується в Україні, Австралії, Великобританії, країнах Британської співдружності.

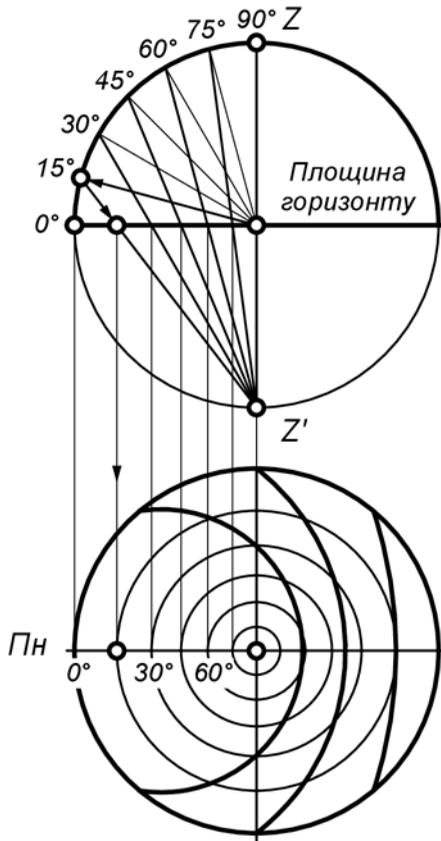


Рис. 20. Метод стереографічної проєкції за [5]

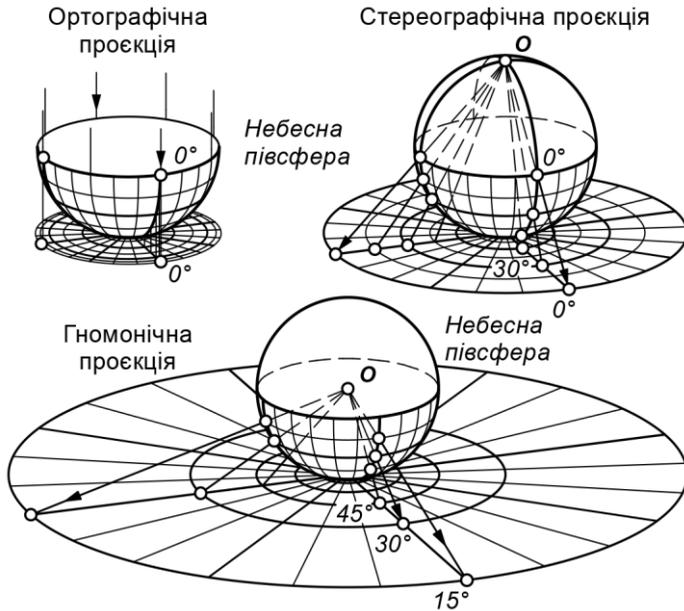


Рис. 21. Ортографічна, стереографічна та гномонічна проєкції небесної півсфери (аксонометрія)

Залежно від широти місцевості, для якої будується сонячна карта, проєкції траєкторій Сонця в характерні дні року (літнє і зимове сонцестояння та рівнодення) мають вигляд, ескізно показаний на **рис. 22**. Для решти днів року траєкторії Сонця розмістяться між траєкторіями літнього і зимового сонцестояння. Екваторіальна діаграма (для широти  $0^\circ$ ) симетрична сама собі.

Аналогічні графіки для полюсів відображають тільки півріччя. При цьому сонячна траєкторія в день рівнодення збігається з колом горизонту, а протягом зимового півріччя міститься нижче горизонту. Протягом літнього півріччя Сонце не заходить за горизонт і рухається вгору по спіралі з центром, що відповідає положенню спостерігача, до висоти  $23,5^\circ$  в день сонцестояння, а потім – знову вниз в бік горизонту.

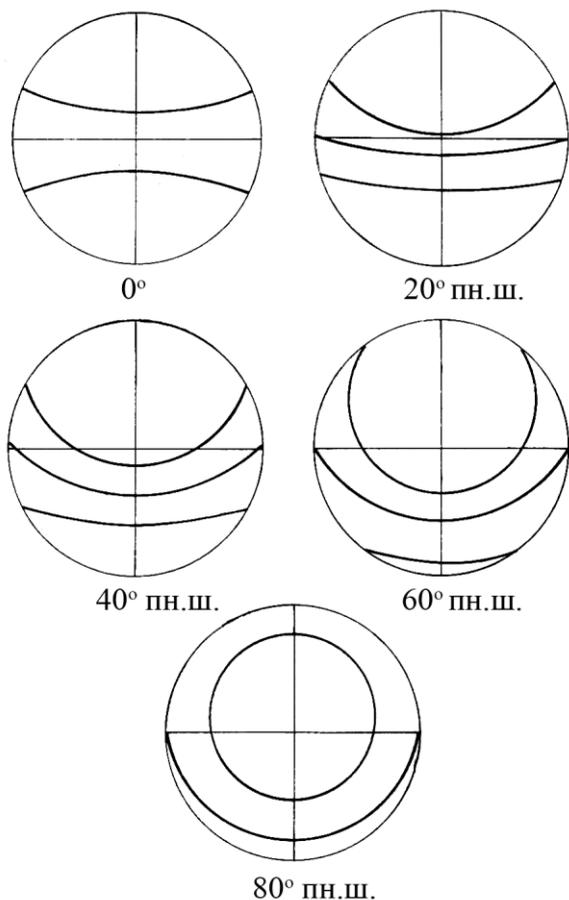


Рис. 22. Проекції сонячних траєкторій в характерні дні року для різних широт за [12]

Лінії сонячного полудня на кожному з п'яти графіків являють собою частину вертикального радіусу. Час сходу Сонця в дні рівнодення – 06:00 годин. Влітку – раніше, взимку – пізніше. Час заходу Сонця в дні рівнодення – 18:00 годин. Влітку – пізніше, взимку – раніше.

## 2. ПОБУДОВА СТЕРЕОГРАФІЧНИХ СОНЯЧНИХ КАРТ

Координати Сонця можна обчислити за відомими формулами [8, 10, 11, 12]:

$$\sin \gamma = \sin \Delta \cdot \sin \varphi + \cos \Delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega; \quad (1)$$

$$\cos \alpha = (\cos \varphi \cdot \sin \Delta - \cos \Delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega) / \cos \gamma; \quad (2)$$

$$\Delta = 23,45 \cdot \sin((360/365) \cdot (284+n)), \quad (3)$$

де  $\gamma$  – кутлова висота Сонця, град,  $\alpha$  – азимут Сонця, град,  $\Delta$  – схилення Сонця, град,  $\varphi$  – географічна широта місцевості (південна – зі знаком мінус), град,  $\omega$  – годинний кут ( $15^\circ$  для кожної години після полудня; ранкові години зі знаком мінус,  $\omega = 15 \cdot t_c$ ),  $n$  – порядковий номер дня року, рахуючи з 1-го січня,  $t_c$  – сонячний час в годинах, який вимірюється від моменту, коли Сонце знаходиться на півдні, до того моменту, коли воно сходить або заходить в цей день року (в бік сходу – зі знаком «-», в бік заходу – зі знаком «+», а коли Сонце на півдні – дорівнює нулю).

Причому вважається, що протягом дня схилення Сонця не змінюється ( $n$  – ціле число), оскільки це не впливає суттєво на необхідну в будівельній світлотехніці точність. Залежність схилення Сонця в градусах від номера дня року показана на **рис. 23**.

В момент сходу і заходу Сонця його кутлова висота дорівнює нулю, тому з рівняння (1), підставивши  $0$  замість  $\sin \gamma$  ( $\sin(0) = 0$ ), можна визначити час сходу і заходу Сонця в годинах для конкретного дня року на даній широті:

$$\text{для сходу: } t_{cx} = -\arccos(-\operatorname{tg} \Delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) / 15; \quad (4)$$

$$\text{для заходу: } t_{zx} = \arccos(-\operatorname{tg} \Delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) / 15. \quad (5)$$

Формули (4) і (5) можна використати для побудови залежностей сонячного часу сходу і заходу Сонця на даній широті ( $\varphi = \text{const}$ ) від номера дня року  $n$ .

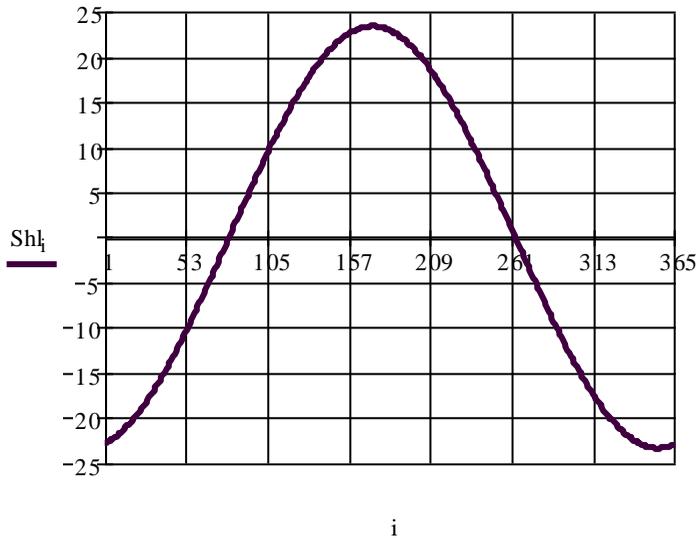


Рис. 23. Схилення Сонця в градусах (вертикальна вісь) залежно від дня року (горизонтальна вісь)

Якщо в рівняння (1) підставити значення сонячного часу  $t_c = 0$ , то можна отримати залежність кутової висоти Сонця в сонячний полудень, як функцію двох аргументів – широти місцевості і дня року, тобто – поверхню. А якщо в (1) підставити значення сонячного часу  $t_c = 0$  і конкретне значення широти місцевості, то можна отримати залежність кутової висоти Сонця в сонячний полудень від номера дня року.

Побудова сонячної карти для заданої широти місцевості складається з таких дій.

1. Спочатку викреслюють коло обраного радіусу  $r$  (достатньо великого для зручності користування картою, наприклад,  $150 \text{ мм}$ ) та два діаметри, що перетинаються під прямим кутом. Вони позначають чотири головні точки горизонту (**рис. 24**). Вертикальний діаметр продовжують в напрямі до півночі, щоб отримати геометричне місце центрів усіх дуг сонячних траскторій.

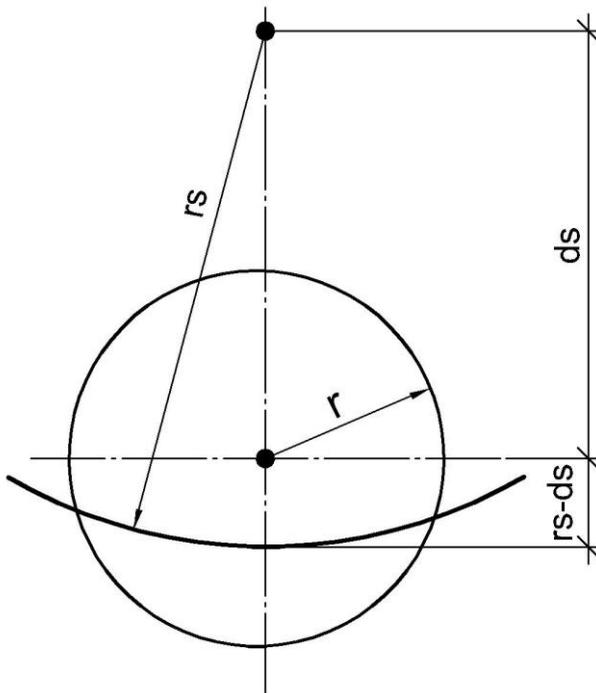


Рис. 24. Побудова сонячних траєкторій за [12]

2. Для кожної дуги сонячної траєкторії (кожної дати) розраховують її радіус  $rs$  та відстань її центру від центру кола  $ds$ :

$$rs = r \cdot \cos \delta / (\sin \varphi + \sin \delta); \quad (6)$$

$$ds = r \cdot \cos \varphi / (\sin \varphi + \sin \delta), \quad (7)$$

де  $\varphi$  – географічна широта місцевості, для якої будується сонячна карта,  $\delta$  – сонячне схилення для даного дня року.

Точна величина схилення коливається в межах чотирирічного циклу (циклу високосних років), але для визначення його середнього значення в конкретний день року можна скористатися формулою (3). Як правило, достатньо мати сім сонячних траєкторій для таких дат:

- 22 червня –  $\Delta = 23,45^\circ$ ;
- 15 травня, 30 липня –  $\Delta = 18,7^\circ$ ;
- 15 квітня, 30 серпня –  $\Delta = 8,9^\circ$ ;
- 21 березня, 23 вересня –  $\Delta = 0^\circ$ ;
- 15 жовтня, 28 лютого –  $\Delta = -8,9^\circ$ ;
- 15 листопада, 28 січня –  $\Delta = -18,7^\circ$ ;
- 22 грудня –  $\Delta = -23,45^\circ$ .

Потім викреслюють лінії сонячних траєкторій, як показано на **рис. 24**. Для кривих, що відповідають зимовому періоду, може знадобиться продовжити вертикальний діаметр на більші відстань, оскільки їх радіус буде більшим.

3. Для побудови годинних ліній визначають відстань

$$dt = r \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

і викреслюють на такій відстані від осі схід–захід лінію, паралельну цій осі. Вона є геометричним місцем всіх центрів годинних дуг (**рис. 25**).

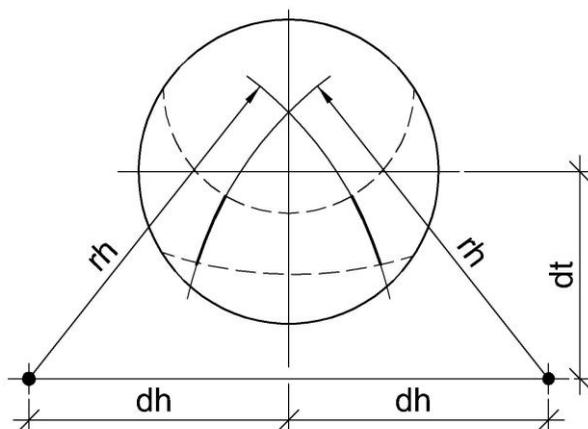


Рис. 25. Побудова годинних дуг за [12]

Для кожної годинної дуги визначають радіус  $rh$  та відстань  $dh$  по горизонталі від цього центру до продовженої осі північ–південь:

$$rh = r / (\cos \varphi \cdot \sin(15 \cdot h)); \quad (9)$$

$$dh = r / (\cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(15 \cdot h)), \quad (10)$$

де  $h$  – число годин після сонячного полудня.

Зрозуміло, що для  $h = 0$  (сонячний полудень)  $rh = \infty$ ,  $dh = \infty$  і дуга кола перетворюється на пряму лінію – вісь північ–південь, оскільки знаменники у формулах (9) і (10) дорівнюють 0.

Потім викреслюють дуги з центрами праворуч для денних годин та центрами ліворуч для ранкових годин, як це показано на **рис. 25**. Для побудови годинних ліній через півгодини або навіть через 10 хвилин необхідно в формули (9) і (10) підставляти відповідні значення  $h$  в годинах. Наприклад, 1,5; 2,5; 3,5 і так далі – для півгодинних ліній. Для побудови годинних ліній (засічок) через 10 хвилин ( $1/6$  або 0,1666 години) треба підставляти, відповідно, 1,1666; 1,3333 і так далі.

Перевірити правильність побудови годинних ліній і сонячних траєкторій можна за таким критерієм: годинні лінії, що відповідають 6:00 та 18:00 повинні перетинатися із сонячною траєкторією в дні рівнодення в точках сходу і заходу, відповідно.

4. Шкалу азимутів по периметру сонячної карти будують з будь-якими інтервалами (наприклад,  $5^\circ$ ), викреслюючи відповідні радіальні лінії в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

5. Кутову висоту (альмукантарати) моделюють за допомогою концентричних кіл, радіуси яких  $r_\gamma$  для відповідної кутової висоти  $\gamma$  визначають за формулою:

$$r_\gamma = r \cdot \cos \gamma / (1 + \sin \gamma). \quad (11)$$

На цьому побудова сонячної карти завершується.

Для використання сонячної карти в задачах сонцезахисту вона доповнюється тіньовим кутоміром, який, як вже відмічалось в означенні терміну **Тіньовий кутомір**, повинен мати однаковий масштаб з сонячною картою.

Побудова тіньового кутоміра виконується в такій послідовності.

1. Викреслюється коло такого ж радіусу, що й для сонячної карти. В ньому проводять горизонтальний діаметр (основа кутоміра) і вертикальну осьову лінію (рис. 26).

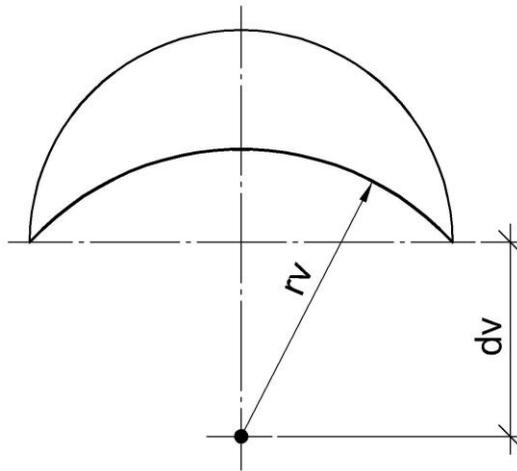


Рис. 26. Побудова тіньового кутоміра за [12]

2. З точки перетину горизонтального діаметра і вертикальної осьової лінії проводять радіальні прямі з бажаним проміжком (наприклад,  $5^\circ$ ) – утворюється шкала горизонтальних тіньових кутів.

3. Продовжують вертикальну осьову лінію вниз – таким чином утворюється геометричне місце центрів усіх дуг кутоміра.

4. Розраховують радіуси  $rv$  і відстані  $dv$  до центру півкола за формулами:

$$rv = r / \cos \varepsilon; \quad (12)$$

$$dv = r \cdot \operatorname{tg} \varepsilon, \quad (13)$$

де  $\varepsilon$  – обрані значення вертикальних тіньових кутів.

Тіньовий кутомір показано на **рис. 11** та дещо інший варіант – на **рис. 27**, де горизонтальний кут затінення (тіньовий кут, **рис. 12**)  $\delta$  має додатний і від’ємний знаки.

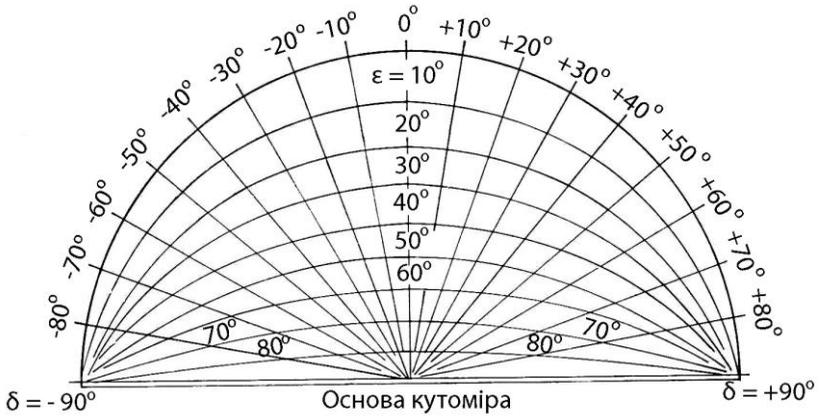


Рис. 27. Тіньовий кутомір за [12]

### 3. ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ СОНЯЧНИХ КАРТ І ТІНЬОВОГО КУТОМІРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНИХ СОНЦЕЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ

#### 3.1. Характеристики найбільш поширених стаціонарних сонцезахисних пристроїв

*Горизонтальний сонцезахисний пристрій* характеризується вертикальним тінювим кутом  $\varepsilon$ . Його тінюва маска має вигляд сегменту (рис. 28), яку можна отримати за допомогою відповідної дуги тінювого кутоміра.

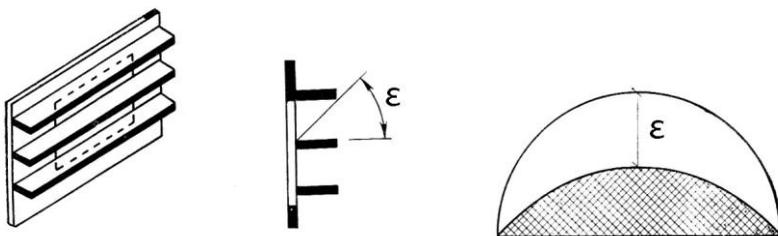


Рис. 28. Горизонтальний сонцезахисний пристрій та його тінюва маска за [12]

*Вертикальний сонцезахисний пристрій* характеризується горизонтальним тінювим кутом або кутами  $\pm\delta$ , і його тінюва маска має вигляд одного або двох секторів (рис. 29), які можна побудувати за допомогою відповідних радіусів тінювого кутоміра.

*Стільниковий сонцезахисний пристрій* є комбінацією горизонтальних і вертикальних елементів і характеризується як вертикальним ( $\varepsilon$ ), так і горизонтальним ( $\delta$ ) тінювими кутами. Його тінюва маска сполучає в собі форму як сегмента, так і одного або двох секторів (рис. 30).

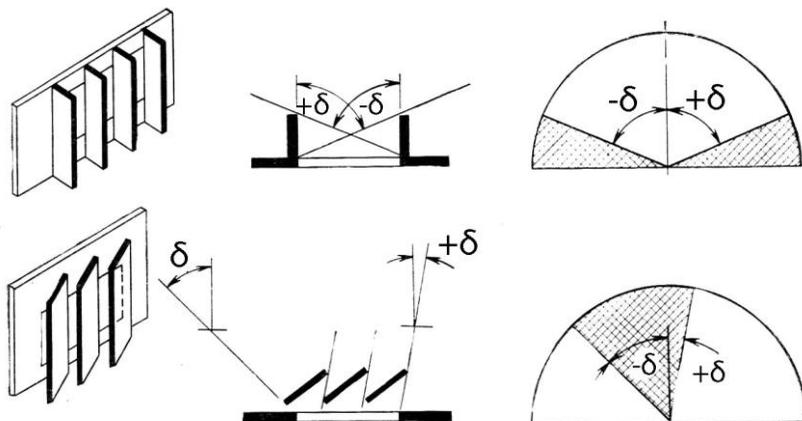


Рис. 29. Вертикальні сонцезахисні пристрої та їх тіньові маски за [12]

Якщо тіньову маску накласти на сонячну карту, то розрахункова точка, розміщена в межах тіньової маски, буде знаходитися в тіні протягом всього року, а на точки поза маскою буде падати сонячне світло.

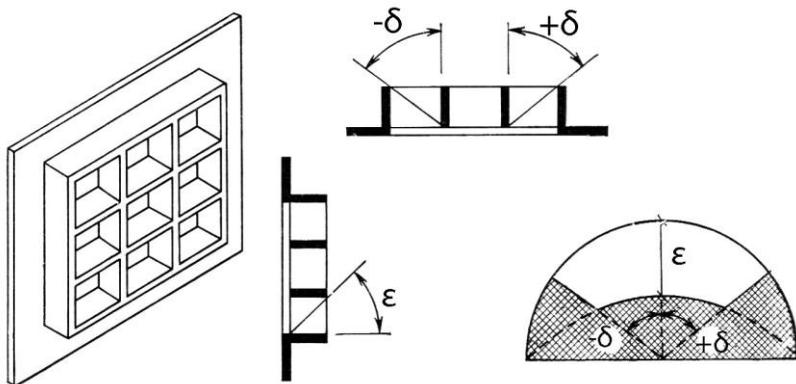


Рис. 30. Стільниковий сонцезахисний пристрій та його тіньова маска за [12]

### 3.2. Принципи побудови комплексної сонячної карти

Комплексна сонячна карта (**рис. 8**) відрізняється від звичайно сонячної карти тим, що на ній показано зони перегріву і бажаної інсоляції. Для побудови згаданих зон треба мати (або побудувати) **Ізоплети температур повітря** для даної місцевості, що є, по суті, матрицею місяців і годин, в яку внесені середні годинні значення температури повітря в межах доби для кожного місяця (**рис. 14**). Це дозволяє в матриці показати ізотерму, що відповідає нижній межі зони комфорту. Ізотерма є границею періоду перегріву.

За відсутності більш точної інформації період перегріву можна визначати за середньою річною температурою повітря, від якої залежить акліматизація, та відносною вологістю повітря (**табл. 1**) – чим вища вологість, тим нижче межа зони комфорту [12].

Далі отриману ізотерму переносять на сонячну карту, яка є, по суті, теж матрицею дат і годин, тільки в інших – криволінійних – координатах. Трудність перенесення полягає в тому, що на сонячній карті кожна траєкторія Сонця відповідає двом датам, тобто одній річній матриці місяців і годин на сонячній карті будуть відповідати дві криві: одна для періоду з грудня по червень, а друга – з червня по грудень (**рис. 31**).

Таблиця 1

**Температура нижньої межі зони комфорту**

Середня відносна вологість повітря, %	Середня річна температура, °C		
	>20	15–20	<15
30	26	23	21
30–50	25	22	20
50–70	23	21	19
70	22	20	18

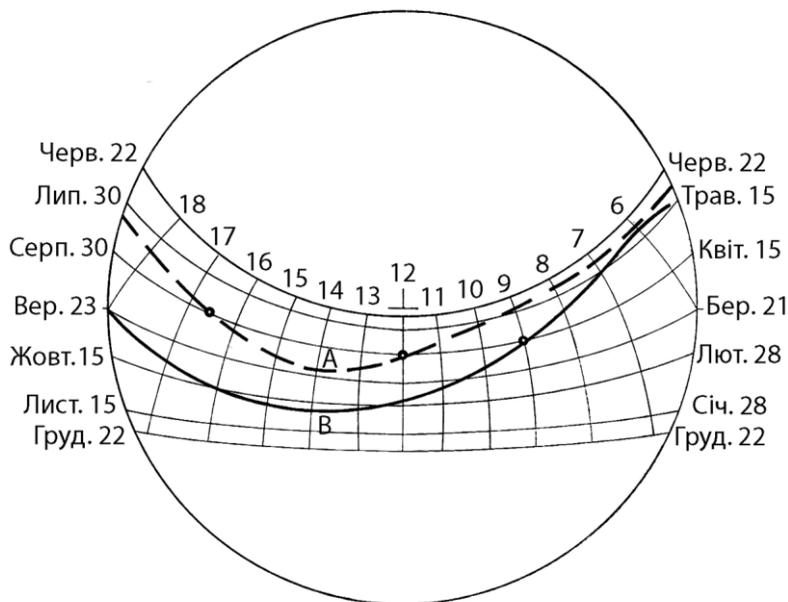


Рис. 31. Критичні ізотерми, перенесені на сонячну карту для широти  $25^\circ$  за [12]:

*A* – для періоду з грудня по червень,  
*B* – з червня по грудень

### 3.3. Використання тіньового кутоміру для визначення геометричних параметрів сонцезахисних пристроїв

Якщо вікно (у північній півкулі) зорієнтовано на південь (рис. 32), то форма кривих *A* і *B* наближається до форми тіньової маски горизонтального сонцезахисного пристрою. Але тіньова маска симетрична відносно лінії полудня, а криві *A* і *B* – ні, тому необхідний певний компроміс між формою тіньової маски і формою кривих *A* і *B*.

Для ізотерми *A* (грудень–червень) мінімальна тіньова маска буде при  $\varepsilon = 65^\circ$  (рис. 32); повна тіньова маска – при  $\varepsilon = 35^\circ$

для ізоТЕРМИ *B* (червень–грудень); горизонтальний сонцезахисний пристрій перестане діяти при  $\varepsilon = 45^\circ$  після 16:00 год з 15-го жовтня по 28-е лютого, а при  $\varepsilon = 50^\circ$  – після 13:00 год з 20-го жовтня по 23-є лютого і після 15:00 з 15-го жовтня по 28-е лютого.

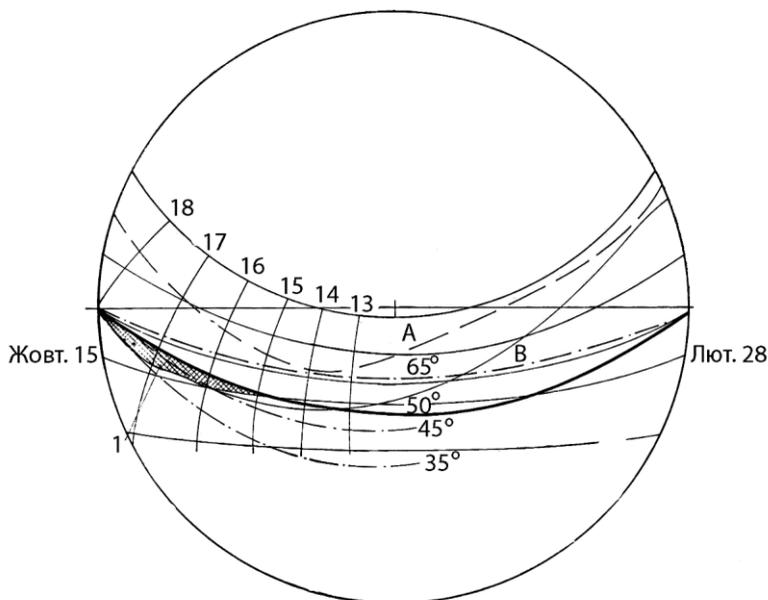


Рис. 32. Визначення необхідної тіньової маски за [12]:

1 – час небажаного проникнення сонячної радіації в приміщення при  $\varepsilon = 50^\circ$

Таким чином, при вертикальному тіньовому куті  $\varepsilon = 50^\circ$  маємо компромісне рішення геометрії горизонтального сонцезахисного пристрою. Але в цей час температура повітря лише несуттєво перевищує нижню межу зони комфорту.

Для вікна, зорієнтованого на південь (у північній півкулі) або на північ (у південній півкулі), використання горизонтального сонцезахисного пристрою, як правило, не дає

задовільні результати. Зазвичай найбільш економічні результати, тобто максимальну відповідність комбінованої тіньової маски формі контуру періоду перегріву дозволяє отримати та чи інша комбінація горизонтального і вертикального сонцезахисних пристроїв.

На **рис. 33** показаний процес розробки геометричних параметрів комбінованого сонцезахисного пристрою (вікно зорієнтоване на південний захід) для такого ж періоду перегріву, як і в попередньому прикладі. Показано декілька можливих комбінацій вертикального і горизонтального тіньових кутів, причому вибір кінцевого варіанту рішення зумовлений тим, що він забезпечує чітку компоновку реально використовуваних сонцезахисних пристроїв.

У всіх варіантах утворюється повна тіньова маска для ізотерми  $B$ .

Варіанти:

$$\varepsilon = 40^\circ, \delta = -3^\circ \dots +90^\circ;$$

$$\varepsilon = 30^\circ, \delta = +13^\circ \dots +90^\circ;$$

$$\varepsilon = 20^\circ, \delta = +25^\circ \dots +90^\circ;$$

$$\varepsilon = 10^\circ, \delta = +34^\circ \dots +90^\circ.$$

Прийнятний компроміс –  $\varepsilon = 30^\circ, \delta = +25^\circ \dots +90^\circ$  – показаний під комплексною сонячною картою у вигляді варіантів розрізу і плану комбінованого сонцезахисного пристрою. При цьому частина ізотерми  $B$  (дуга заштрихованої фігури) не екранується сонцезахисним пристроєм.

На **рис. 34** показано вирішення аналогічної задачі. Вертикальний тіньовий кут  $\beta = 50^\circ$  і горизонтальний тіньовий кут  $\gamma = 59^\circ$  забезпечують повну тіньову маску. Таких сполучень вертикальних і горизонтальних тіньових кутів може бути багато, і серед них проєктувальник може обирати найбільш раціональні, зважаючи, наприклад, на конструкцію чи світлову активність сонцезахисних пристроїв.

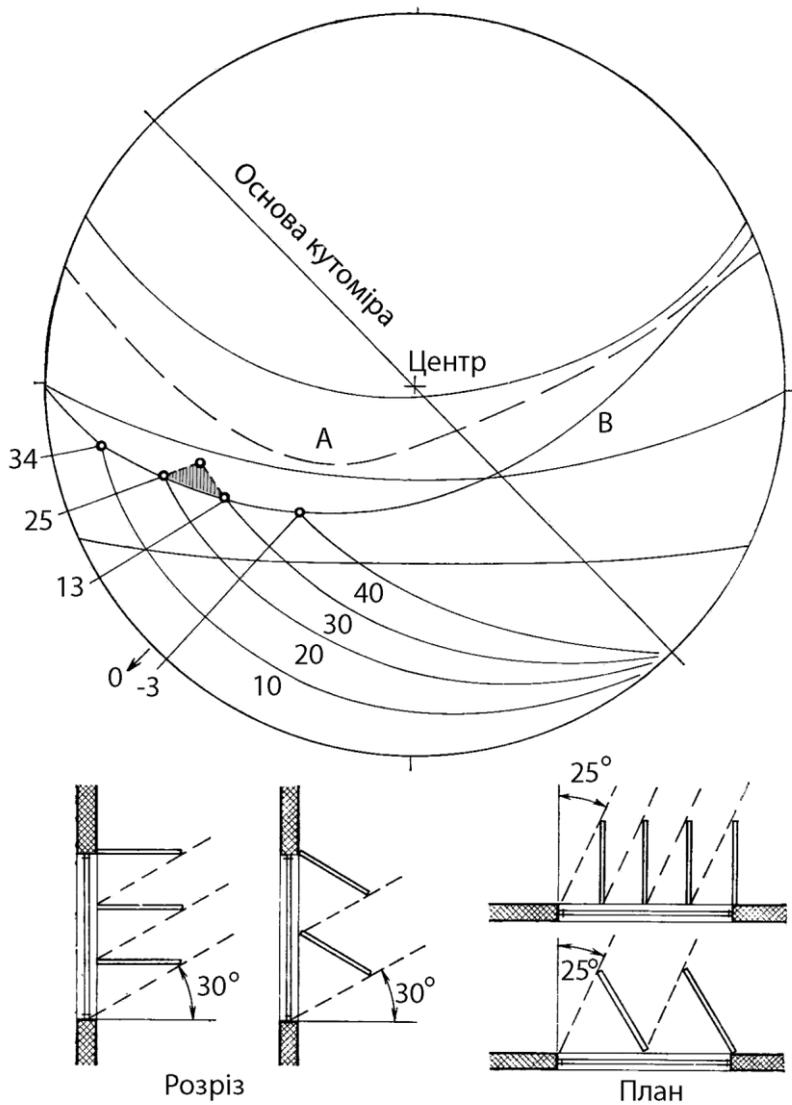


Рис. 33. Визначення геометричних параметрів комбінованого сонцезахисного пристрою за [12]

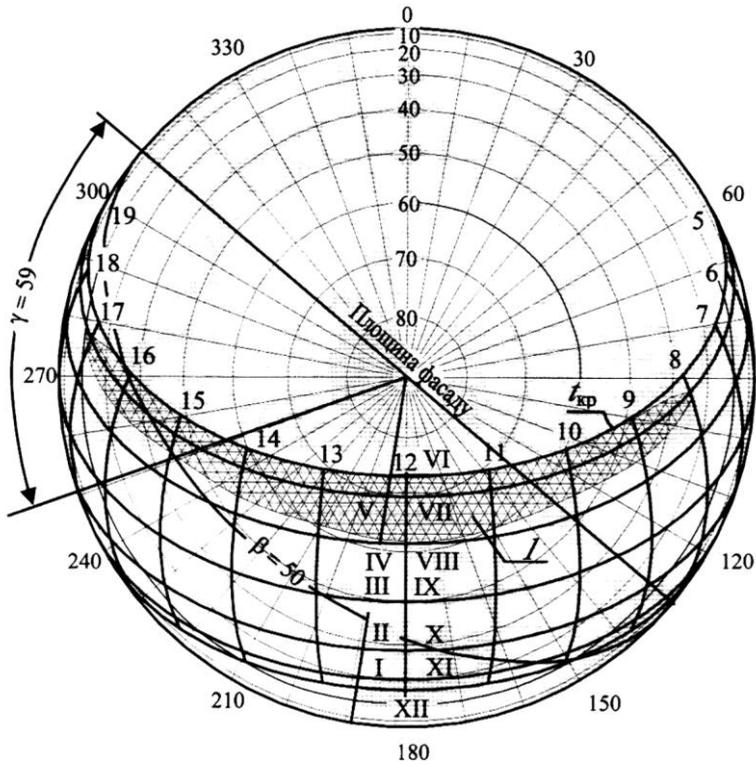


Рис. 34. Визначення геометричних параметрів комбінованого сонцезахисного пристрою за [6]:  
 I – зона перегріву,  $t_{кр}$  – ізоплета критичної температури,  
 $\beta$  – вертикальний тіньовий кут,  
 $\gamma$  – горизонтальний тіньовий кут

#### 4. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПОБУДОВИ СОНЯЧНОЇ КАРТИ І ТІНЬОВОГО КУТОМІРУ

**ЗАВДАННЯ 1.** Для заданого району будівництва побудувати сонячну карту і тіньовий кутомір до неї.

Район будівництва для виконання завдання обираються за **таблицею 2** відповідно до номеру варіанту, що збігається з номером за порядком у списку в журналі.

Таблиця 2

Номер варіанту	Район будівництва	Широта, ° п. ш.
1.	Алмати	43,2567
2.	Баку	40,3776
3.	Ташкент	41,2646
4.	Осло	59,9127
5.	Стокгольм	59,3328
6.	Гданськ	54,3520
7.	Бухарест	44,4323
8.	Стамбул	41,0138
9.	Копенгаген	55,6759
10.	Рим	41,9027
11.	Сана	44,2067
12.	Афіни	37,9794
13.	Скоп'є	41,9964
14.	Белград	44,8040
15.	Лісабон	38,7069
16.	Мадрид	40,4136
17.	Тирана	41,3275
18.	Гельсінкі	60,1698
19.	Душанбе	38,5357
20.	Ашхабад	37,9600
21.	Гавр	49,4938
22.	Туніс	36,8189
23.	Гібралтар	36,1408
24.	Рейк'явік	64,1355

продовження табл. 2

Номер варіанту	Район будівництва	Широта, ° п. ш.
25.	Сарасво	43,8486
26.	Каїр	30,0626
27.	Тель-Авів	32,0809
28.	Доха	25,2793

**ЗАВДАННЯ 2.** Користуючись комплексною сонячною картою для міста Рівне (**рис. 8**) та тіньовим кутоміром, узгодженим з картою (**рис. 35**), визначити геометричні параметри комбінованого сонцезахисного пристрою для вікна заданої в таблиці 3 орієнтації.

Таблиця 3

Номер варіанту	Орієнтація (азимут) вікна, $A, ^\circ$
1.	110
2.	115
3.	120
4.	125
5.	130
6.	135
7.	140
8.	145
9.	150
10.	155
11.	160
12.	165
13.	170
14.	190
15.	195
16.	200
17.	205
18.	210
19.	215

продовження табл. 3

Номер варіанту	Орієнтація (азимут) вікна, $A, ^\circ$
20.	220
21.	225
22.	230
23.	235
24.	240
25.	245
26.	250
27.	255
28.	260

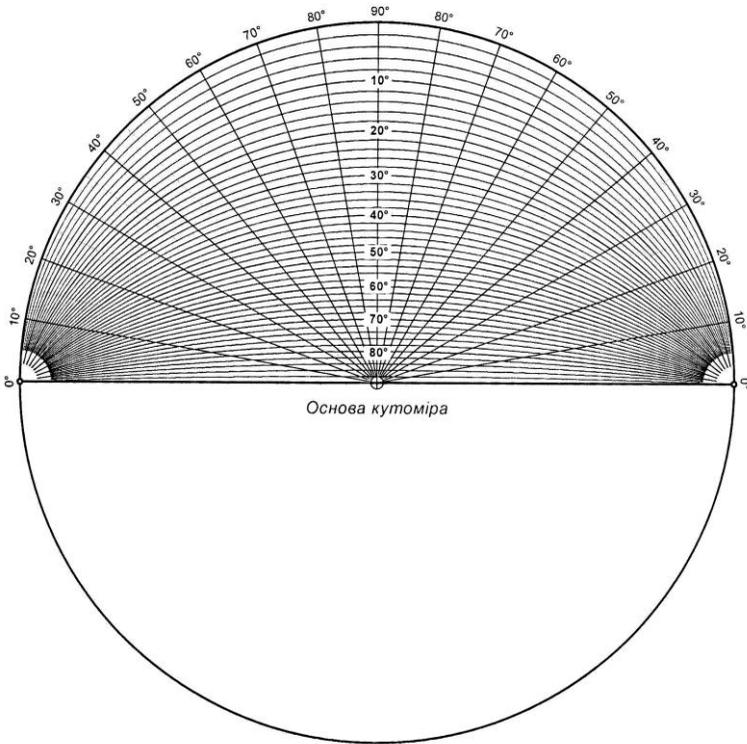


Рис. 35. Тіньвий кутомір для міста Рівне

## 5. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

1. Які параметри задають координати Сонця на небесній півсфері?
2. Чим відрізняються кутова висота Сонця і його зенітний кут?
3. Які проєкції застосовують при побудові сонячних карт? Їх переваги і недоліки. Яка проєкція використовується в Україні?
4. Що таке сонячний час і як він пов'язаний з годинним кутом?
5. Які параметри на сонячній карті задають координату довільної точки?
6. Що відображає годинна лінія на сонячній карті?
7. Чим комплексна сонячна карта відрізняється від звичайної?
8. Що таке схилення Сонця? Від чого воно залежить? В чому вимірюється і в яких межах змінюється? Яке значення схилення Сонця в дні весняного і осіннього рівнодення? Коли значення схилення Сонця максимальне, а коли – мінімальне?
9. Як відображається альмукантарат на сонячній карті?
10. Яким чином з формул для координат Сонця можна визначити сонячний час його сходу і заходу в певний день року?
11. Для чого використовується тіньовий кутомір і що на ньому відображено?
12. Яким чином тіньовий кутомір узгоджується з сонячною картою?
13. Скільки параметрів задають координати Сонця на небесній півсфері і на сонячній карті?
14. Які вихідні параметри для побудови сонячної карти?
15. Чому на комплексній сонячній карті виникають дві, а не одна критичні ізотерми?

16. Назвіть найбільш поширені стаціонарні сонцезахисні пристрої.

17. Назвіть характерні дні року з огляду на значення в ці дні схилення Сонця (рис. 36).



Рис. 36. Екліптика за [5]

18. Які елементи відображаються на сонячній карті?

19. Для якого місяця на сонячній карті сонячна траєкторія найдовша? А найкоротша?

20. Для якого місяця на сонячній карті сонячна траєкторія починається точно на сході, а закінчується точно на заході?

21. Коли кутова висота Сонця найбільша і як її визначити в конкретний день року на даній широті?

22. У який спосіб критична ізотерма з ізоплети температур повітря переноситься на сонячну карту?

## 6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### 6.1. Основна

1. Вернеску Д., Эне А. Инсоляция и естественное освещение в архитектуре и градостроительстве. Київ : Будівельник, 1983. 86 с.

2. ДСТУ-Н Б В.2.2–27:2010. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с.

3. Жидкова Т. В., Апатенко Т. М. Будівельна фізика. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 405 с.

4. Казаков Г. В. Архітектурна фізика: основні поняття і величини. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 260 с.

5. Пугачов Є. В., Зданевич В. А., Кундрат Т. М., Літницький С. І. Ілюстрований термінологічний тлумачний словник з будівельної світлотехніки: природного освітлення, інсоляція, сонцезахист, використання сонячної енергії. Рівне : Волинські обереги, 2024. 432 с.

6. Світлопрозорі огороження будинків / О. Л. Підгорний, І. М. Щепетова, О. В. Сергейчук та інші. Київ : Вид. Домашевська О. А., 2005. 282 с.

7. Скриль І. Н., Скриль С. І. Основи архітектурної світлології (розрахунок і проектування природного, штучного й сумішеного освітлення та інсоляції). Київ : Вища школа, 2006. 214 с.

8. Штейнберг А. Я. Расчет инсоляции зданий. Київ : Будівельник, 1975. 119 с.

9. Штейнберг А. Я. Солнцезащита зданий. Київ : Будівельник, 1986. 104 с.

10. Aronin J. E. Climate and Architecture. New York : Reinhold, 1953. 304 pp.

11. Markus, T. A. and Morris, E.N. Buildings, Climate and Energy. London : Pitman Publishing Limited, 1980. 540 p.

12. Szokolay S. V. Environmental science handbook for architects and builders. London, New York : The Construction Press Lancaster, 1980. 532 p.

## 6.2. Додаткова

13. Підгорний О. Л. Сонячний годинник як архітектурний об'єкт, розрахунок та побудова. *Прикл. геометрія та інж. графіка*. 1999. Вип. 66. С. 9–14.

14. Підгорний О. Л. Геометрія сонячного опромінення і проблеми архітектурного проектування та геліотехніки. *Сборник научных трудов: Межведомственный научно-технический сборник. Спецвыпуск*. 2004. С. 10–19.

15. Пугачов Є. В. Модельовання річного ходу тривалості інсоляції похилої площини. *Вісник НУВГП*. 2005. Вип. 3 (31). С. 248–255.

16. Пугачов Є. В. Інсоляція та опромінення похилої площини з урахуванням імовірності сонячного сяяння. *Вісник кийвського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск)*. 2006. № 4 (30). С. 133–137.

17. Сергейчук О. В., Насехіпур Мехді. Перетворення світлопрорізів та затінюючих елементів при розрахунку інсоляції за методом граничної поверхні інсоляції. *Праці Тавр. держ. агротехніч. академії*. 2007. Вип. 4. Т. 34. С. 103–108.