

## ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВІДБИТОЇ ІНСОЛЯЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

*На основі раніше запропонованих моделей у вигляді напрямних добових конусів прямих і відбитих сонячних променів, змінних протягом року виконано геометричний аналіз можливостей використання в літню половину року відбитої від дзеркального засткління інсоляції.*

**Постановка проблеми.** Геометричне моделювання відбитого сонячного випромінювання знайшло своє застосування в геліотехніці, геліоосвітленні, в розрахунках природного освітлення. Підвищення поверховості та щільності забудови в сучасних умовах потребує як визначення простору для нових будівель, яке забезпечує збереження інсоляційних норм в існуючих будинках, так і пошук нових засобів підвищення показників інсоляції території та приміщень. В статті [1] було звернено увагу на можливість використання відбиття від зеркальних застлень фасадів будинків та наведено приклади використання автором при проектуванні відбиття від зеркальних поверхонь балконів.

Таким чином, виникла проблема розширення засад геометричного моделювання відбитого сонячного випромінювання стосовно використання його для інсоляції територій і приміщень.

**Аналіз останніх досліджень.** В рамках поставленої проблеми в якості відбиваючих поверхонь з урахуванням можливостей застосування скла в будівництві слід розглядати площини переважно вертикальні, а також похилі. З них можуть бути утворені призматичні пірамідальні та багатогранні поверхні. Рідше застосовуються гнуте скло, з якого можна утворити вертикальні чи похилі циліндричні поверхні. З поверхонь раціонально використовувати увігнуті, які забезпечать концентрування відбитих променів. Опуклі поверхні розсіюють відбиті промені в більшій мірі ніж площини. [2]

З багатьох джерел, присвячених моделюванню конгруенцій і поверхонь відбитих променів, питанням концентрації відбитих потоків, слід виділити в першу чергу роботи, пов'язані з відбиттям сонячних променів від площин [3], тому що найбільш поширене в архітектурі плоскі дзеркальні застклення.

**Постановка завдання статті.** Розглянути залежності від широти місцевості параметрів напрямного добового конуса сонячних променів а також побудову симетричних йому відносно нормалей площин відбиття напрямних добових конусів відбитих променів. Проаналізувати можливості концентрації відбитих променів при зміні площин відбиття. Навести приклад геометричного аналізу вирішення конкретної задачі з використання дзеркального застклення для відбитої інсоляції з урахуванням сонячної геометрії.

**Основна частина.** В статті [3] показано, що при відбитті від данної площини напрямному добовому конусу сонячних променів відповідає

напрямний добовий конус відбитих променів, який знаходиться по відношенню до першого в осьовій симетрії відносно нормалі до площини відбиття або в дзеркальній симетрії відносно цієї площини. При цьому на сонячній карті можна отримати уявну траєкторію Сонця для будь-яких днів року для використання при побудові відбитих променів аналогічно побудовам прямих сонячних променів.

Площина відбиття для відбитих променів являється умовно площиною горизонту і дає уявну лінію горизонту на сонячній карті, яка визначає уявну денну частину на добовому конусі відбитих променів.

У формуванні відбитого потоку променів беруть участь денні частини обох конусів. Це означає що тільки при горизонтальній площині відбиття всі падаючі промені від напрямку на схід Сонця до напрямку на його захід переходять у відбиті, тому що обидві денні частини симетричні відносно вертикальної осі.

При південній орієнтації вертикальної відбивальної площини азимуту падаючих променів знаходяться між  $90^\circ$  і  $135^\circ$ .

Для отримання параметрів напрямних добових конусів відбитих променів на основі симетрії і автоматизації розрахунків можна скористатись аналітичними залежностями, наведеними у статті [4]. На рис.1 дані також графічні побудови добових конусів сонячних променів для характерних днів року з урахуванням постійного кута  $\varphi$  нахилу осі Землі до площини орбіти та змінної величини  $\delta$  широти місцевості. Вказані в залежності від  $\delta$  максимальні значення  $H_{\max}^\circ$  висот сонцестояння опівдні 22.06, 22.03 і 21.09, 22.12. Для вертикальної відбивальної площини  $\omega$  важливо знати висоту сонцестояння  $H^\circ$  променів з азимутами  $90^\circ$  і  $135^\circ$ . На рисунку виконана побудова кута  $H^\circ$ . З урахуванням цих побудов виведена залежність:

$$\operatorname{tg} H^\circ = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi - \operatorname{tg}^2 \delta - 1}} \quad (1)$$

При необхідності визначення  $H_{\max}^\circ$  та  $H^\circ$  променів у площині  $\omega$  або інших величин у будь-який день року потрібно визначити кут  $\alpha$  між твірною добового конуса та його віссю за залежністю [2]:

$$\cos \alpha = \cos \varphi \cdot \cos \gamma = 0,3979 \cos \gamma \quad (2)$$

де  $\gamma$  - кут повороту Землі по орбіті, відрахований від 22 червня.

Розподіл змінного сонячного освітлення визначається на основі побудови ліній ходу тіней і конвертів тіней. Такий підхід можна поширити на відбите сонячне світло і отримувати лінії ходу сліду відбитого променя (точки інсоляції) і конверту відбивної інсоляції (КВІ).

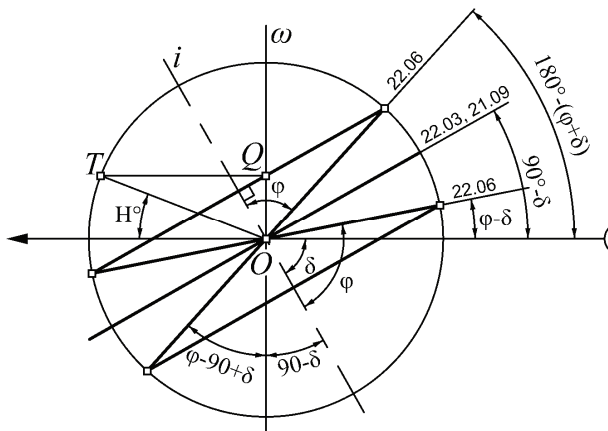


Рис.1

На рис.2 в проекції на вертикальну площину, паралельну осі Землі задана деяка точка  $A$  на вертикальній лінії і побудовані напрямні добові конуси  $\Phi$  і  $\Phi'$  прямих і відбитих променів в дні сонцестояння, а також площина променів в дні рівнодення при вертикальній відбивній площині  $\omega$  для деякої широти  $\delta$ . Конуси і площини симетричні відносно нормалі  $n_1$  до відбитої площини  $\omega$ , орієнтованої на південь.

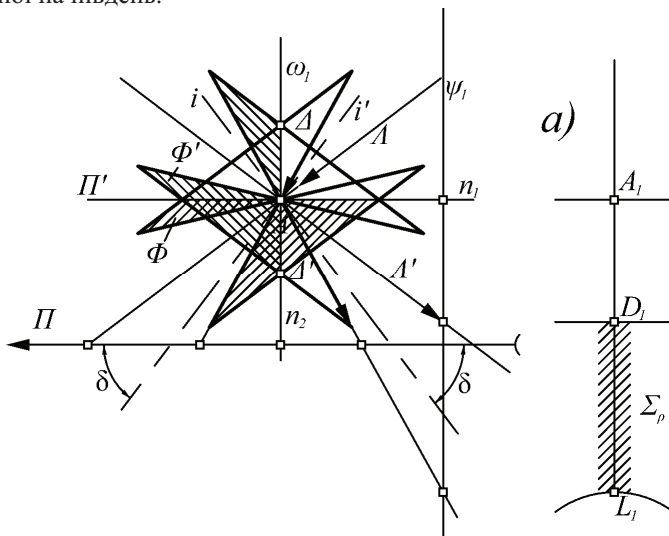


Рис.2

В нормах і задачах по інсоляції враховуються періоди року між рівноденням і літнім сонцестоянням. Тому розглядаються тільки напрямні

фігури літньої пори року. На рисунку в денних частинах конусів для дня літнього сонцестояння симетричними відносно нормалі  $n_{верт}$  є сектори  $\Delta$  і  $\Delta'$ , у дні рівнодення симетричними є літні сектори  $\Lambda$  і  $\Lambda'$ , що знаходяться перед південною стороною площини  $\omega$

Результати перетину  $\Delta'$  і  $\Lambda'$  з будь-якою площиною дають лінії  $l_s$  та  $d_s$  ходу точок інсоляції, на основі яких можна побудувати конверти інсоляції відбитими променями. На рис.2,а показано результат відбиття від вертикальної площини  $\omega_1$  і побудову ліній  $l_s$  та  $d_s$  на площині  $\psi_1$ , що інсолюється відбитими променями. Між лініями  $l_s$  і  $d_s$  розміщуються лінії інсоляції для всіх днів літнього півріччя утворюючи смугу  $\Sigma_s$  інсоляції. Ці лінії являються однією гілкою гіпербол.

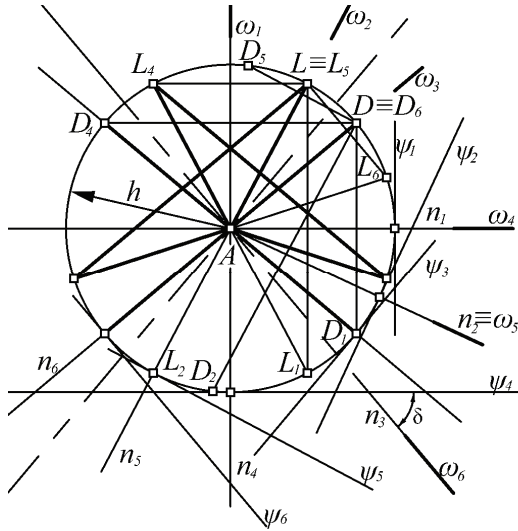


Рис.3

На рис. 3 для широти  $\delta$  задані проекції AL і AD полуденних променів добового конуса падаючих променів дня літнього сонцестояння та площини рівнодення, а також відбивні площини  $\omega_1$ - $\omega_6$  та нормалі  $n_1$ - $n_6$  до них. Серед площин вертикальна  $\omega_1$  та горизонтальна  $\omega_4$ , площини  $\omega_2$  та  $\omega_3$ , які проходять через AL та AD, площини  $\omega_5$  та  $\omega_6$ , перпендикулярні цим прямим. Для кожної з площин отримані точки  $L_1$  та  $D_1$ ,  $L_2$  та  $D_2$ ,  $L_3$  та  $D_3$ , ...  $L_6$  та  $D_6$ , симетричні їх нормалям  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ...  $n_6$ . Ці точки визначають твірні  $AL_1$ ,  $AL_2$ ,  $AL_3$  ...  $AL_6$  добових конусів відбитих променів в день літнього сонцестояння та відбиті промені  $AD_1$ ,  $AD_2$ ,  $AD_3$ ...  $AD_6$  в день рівнодення.

Для створення однакових умов опромінення відбитими променями площини  $\psi_1$ - $\psi_6$ , що інсолюються, обрані паралельними відповідно площинам  $\omega_1$ - $\omega_6$ , та на однаковій віддалі  $h$  від точки А. Для кожної з площин  $\psi_1$ - $\psi_6$  отримані трійки точок  $A_1$ ,  $D_1$ ,  $L_1$  –  $A_6$ ,  $D_6$ ,  $L_6$ , які являються основами нормалей

та слідами відбитих променів в дні літнього сонцестояння та рівнодення. Ці точки визначають ширину смуг  $\Sigma_s$  інсоляції та її положення відносно основи нормалі. (див. рис. 2,a).

Побудови смуг інсоляції для площин  $\psi_1$ - $\psi_6$  виконуються як для  $\psi_1$  на рис. 2,a.

Порівняння смуг інсоляції для  $\psi_1$ - $\psi_6$  (на рис.3 не показані) дає наступні висновки. На горизонтальній площині  $\psi_4$  відбувається більша концентрація відбитої енергії між на вертикальній площині  $\psi_1$ . Найбільша концентрація на площинах  $\psi_5$  і  $\psi_6$ , де в полудень знаходиться в zenіті уявна точка відбитих променів в день літнього сонцестояння або в день рівнодення. На площинах  $\psi_2$  і  $\psi_3$  одна з точок  $L_2$  або  $D_3$  знаходиться на нескінченності, смуга інсоляції розтягується, даючи найменшу концентрацію.

Реальні умови прямого і відбитого сонячного опромінення для заданої широти  $\delta$  дозволяють вести розрахунки в конкретних проектних ситуаціях.

Розглянемо приклад визначення розмірів, які забезпечують повне використання відбитого сонячного світла в літню половину року, при південному фасаді одного будинку з дзеркальним застеленням і північному фасаді будинку, що інсолюється. Нехай висота сонцестояння опівдні в день рівнодення дорівнює  $H_1^\circ$ , в дні літнього сонцестояння  $H_2^\circ$ , віддаль між будинками рівна  $l$  (рис.4).

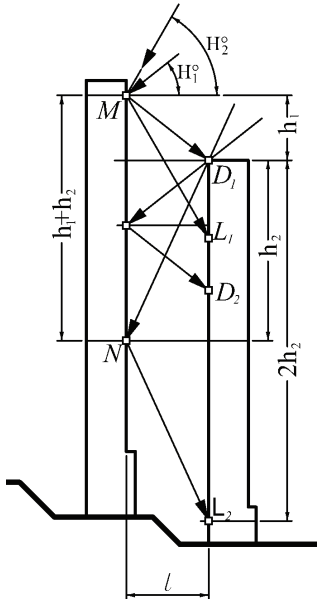


Рис.4

Для того, щоб в рівнодення почалось опромінення, верхня точка М застелення повинна бути вище від точки  $D_1$  опромінення на величину  $h_1 = l \cdot \text{tg } H_1^\circ$ .

Промінь в день літнього сонцестояння, що проходить через точку  $D_1$ , дасть нижчу точку  $N$  засклення на віддалі від  $D_1$  по висоті рівну  $h_2 = l \cdot \operatorname{tg} H_2^\circ$ . Звідси висота засклення  $MN = l \cdot (\operatorname{tg} H_1^\circ + \operatorname{tg} H_2^\circ)$ , а висота опромінення  $D_1L_2 = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} H_2^\circ$ . При цьому смуга інсоляції променями, що проходять через верх засклення обмежується горизонтальною прямою, що проходить через  $D_1$ , та гіперболою, що проходить через  $L_1$ . Смуга інсоляції променями, що проходять через верхне горизонтальне ребро фасаду, що інсолується, обмежується горизонтальною прямою, яка проходить через  $D_2$  та гіперболою, що проходить через  $L_2$ .

Для  $\delta = 50^\circ$  при  $l = 30$  м  $h_1 = 25,17$  м,  $h_2 = 60,17$  м. При більших значеннях  $l$  або зменшенні висотних показників відбиті потоки використовуються неповно.

**Висновки.** Відбите дзеркальним склінням світло можна використовувати для додаткової інсоляції територій та приміщень будівель, але обов'язково виконувати розрахунки на основі реальних умов, що визначаються змінною сонячною геометрією.

### Література

1. *Витвицкая Е. В.* Зеркальные остекления фасадов зданий для обеспечения инсоляции в застройке. //Технічна естетика дизайн. К.: 2011. Вип.9.-с.45-50

2. *Підгорний О. Л., Щенетова І. М., Сергейчук О. В., Зайцев О. М., Процюк В. П.,* Світлопрозорі огороження будинків. Навчальний посібник. К.: Видавець Домашевська О.А. 2005.-282с.

3. *Підгорний О. Л.* Добовий конус відбитих сонячних променів. // Прикл. геом. та інж. графіка –К.: 2004. Вип.74.-С.9-13.

4. *Подгорный А. Л.* К вопросу автоматизации инсоляционных расчётов. // Прикл. геом. и инж. графика.-К.: 1981 Вип.31.-С.12-15

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАЖЁННОЙ ИНСОЛЯЦИИ В АРХИТЕКТУРЕ

*А. Л. Подгорный*

На основе ранее предложенных моделей в виде направляющих суточных конусов прямых и отражённых солнечных лучей, изменяемых в течение года, выполнен геометрический анализ возможностей использования в летнюю половину года отражённой от зеркального остекления инсоляции.

## GEOMETRIC ANALYSIS OF USAGE POSSIBILITY OF REFLECTED INSOLATION IN ARCHITECTURE

*A. L. Podgornyi*

Based on previously proposed models (directing cones of direct and reflected Sun rays, changing during the year) geometric analysis of possibility of usage of insolation reflected from mirrored glassing during summer half of year was made.