

ПОТОКИ ПРЯМИХ ТА ВІДБИТИХ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ В АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Київський національний університет будівництва і архітектури

Розглядаються особливості множини та підмножин сонячних променів стосовно задач інсоляції, геліотехніки та геліоосвітлення на базі моделі добового сонячного опромінення, прийнятої в дослідженнях та навчальному процесі.

Постановка проблеми. Всі наукові дослідження, пов'язані з сонячною геометрією, в прикладній геометрії архітектурно-будівельного напрямку в теперішній час виконуються на базі змінної моделі добового сонячного опромінення, яка показала свою ефективність і поширилась також на впровадження в навчальний процес [1]. Тому виникла проблема розглянути специфічні особливості обумовлені цією моделлю при її застосуванні.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В [1] наведено обґрунтування моделі у вигляді добового конуса сонячних променів за умови, що Земля на протязі кожної доби знаходиться на орбіті в одній точці, орбіта прийнята коловою, а рух по ній рівномірний. Рівномірне також обертання Землі навколо осі. Прийняті допущення спрощують пояснення та розрахунки і дають прийнятні для практики результати.

Постановка задачі. Розглянути множини та підмножини сонячних променів в практичних задачах на базі змінного напрямного добового конуса сонячних променів, який є конусом обертання.

Основна частина. В кожний момент часу потік сонячних променів уявляє собою в'язку паралельних прямих, тобто конгруенцію $K_g(1.0)$ першого порядку нульового класу. При цьому Сонце вважається невласною вершиною S^∞ в'язки. Згідно з прийнятою моделлю сонячного опромінювання [1], за якою Земля протягом доби залишається в одній точці, промені, що проходять через будь-яку точку T в околі Землі, утворюють напрямний добовий конус сонячних променів. Це конус обертання, вісь якого паралельна осі Землі і нахилена до площини орбіти під кутом $\varphi = 66,55^\circ$. Кожна твірна цього конуса задає напрям променів в заданий момент часу, тобто невласну вершину S_i^∞ в'язки. Всі твірні задають невласну траєкторію s^∞ Сонця. Промені за добу створюють комплекс $K_m(2)$ другої степені, бо кожна точка простору виділяє з нього круговий конус.

Таким чином, вся множина сонячних променів за рік в зручній для побудов формі представляється як 365 комплексів $K_m(2)$, кожен з яких має напрямний добовий конус змінної геометрії.

Кут α при вершині між твірною та віссю на протязі року міняється і в кожну добу рівен кута α між віссю та твірною, що задає напрям на Сонце. Встановлено, що косинус цього кута дорівнює: $\cos\alpha = \cos\varphi * \cos\gamma$.

де γ – кут повороту Землі на орбіті, відрахований від дня літнього сонцестояння 22.06 проти годинникової стрілки.

Всі добові конуси мають осі, паралельні осі Землі. Якщо обрати вершину в одній і тій же точці, то конуси будуть мати спільну вісь обертання та спільну вершину кута α . Двічі на рік при $\gamma=90^\circ$ та $\gamma=270^\circ$ кут α є прямим. Конуси вироджуються в площину перпендикулярну осі. Це відповідає дням рівнодення 2 березня та 21 вересня. Мінімальне значення $\alpha=\varphi$ виникає при $\gamma=0^\circ$ та $\gamma=180^\circ$. Ці положення відповідають дням літнього (22 червня) та зимнього (22 грудня) сонцестояння. Відмічені характерні дні поділяють річну множину променів на частини. Для північної півкулі верхні поли добових конусів задають всю множину сонячних променів в літню півроку, нижні поли – в зимову півроку. Четверті року між рівноденнями та сонцестояннями відповідає або зростанню або зниженню висоти сонцестояння.

Годинний поділ множини сонячних променів не залежить від положення Землі на орбіті, тому що значення кута φ постійне. Площини цього кута паралельні між собою і перпендикулярні площині орбіти. Назвемо ці площини полуденними. Твірна напрямного добового конуса, яка знаходиться в полуденній площині є напрямною для всієї множини паралельних променів о 12 годині дня за сонячним часом незалежно від дня року, тобто напрямною для полуденної Кг(1.0).

Осьові площини конусів, взяті з кроком 15° дадуть напрямні твірні для інших годинних Кг (1.0). Можна отримувати і хвилинні напрямні для кута $\frac{15^\circ}{60}$.

Поділ на денні і нічні множини променів залежить від ширини місцевості δ . Якщо прийняти поверхню Землі за сферу, а площину горизонту Π вважати дотичною до неї, то добовий конус з вершиною в точці дотику розділяється площиною горизонту на денну і нічну частину. Неважко встановити, що кут нахилу осі конуса до площини горизонту буде рівним широті δ . Кут δ і кут між віссю і площиною горизонту взаємно перпендикулярні.

Твірні добового конуса, які знаходяться в площині горизонту Π вказують напрями сходу і заходу Сонця. Відзначені особливості мають місце і для південної півкулі як симетричні відповідно площинам горизонту.

В [2] визначено азимут β точки сходу влітку через вираз:

$$\text{Cos}\beta = \frac{\text{cos}\alpha}{\text{cos}\delta}.$$

Виходячи з симетрії відносно напрями схід-захід та південь-північ сектор точок сходу за рік, обмежується азимутами β та $180-\beta$ а сектор точок сходу-азимутами $360^\circ-\beta$ та $180^\circ+\beta$. Кожного дня точки сходу і заходу симетричні відносно початку координат. Напрями на точки сходу обходять свій сектор двічі за годинниковою стрілкою і проти неї, напрями на точки заходу – проти годинникової стрілки і за нею.

В залежності α від доби року та площини горизонту від широти місцевості γ дозволяють моделювати ситуації опромінення Землі в будь-яку добу та годину на будь-якій широті, визначати відповідні підмножини сонячних променів.

Зміна широти місцевості дає наступні характерні положення. На екваторі площин горизонту проходить через вісь конуса і ділить його в будь-який день року навпіл. Значить цілий рік день і ніч рівні між собою, схід і захід Сонця відбувається в протилежних точках горизонту. В дні рівнодення двічі на рік Сонце буває в зеніті.

На протязі Рака ($23,45^{\circ}$ півн. широти) в день літнього сонцестояння один раз Сонце знаходиться в зеніті. На інших широтах між екватором і протягом Рака Сонце двічі проходить через зеніт.

На широті $66,55^{\circ}$ площина горизонту дотикається до літньої поли конуса в день літнього сонцестояння та зимової в день зимового сонцестояння. В ці дні точки сходу та заходу збігаються на горизонті. Це означає, що 22 червня день триває 24 години, а ніч 0 годин, а 22 грудня навпаки день 0 годин, а ніч 24 години.

На полюсі площина горизонту збігається з площиною рівнодення. Це означає що 21 вересня та 22 березня Сонце за добу «прокотиться» по лінії горизонту. Між 22 березня і 21 вересня Сонце не сідає за лінію горизонту (півроку полярний день), а між 21 вересня та 22 березня Сонце не виходить ізза лінії горизонту (полярна ніч).

На широтах між полярним колом та полюсом площина горизонту двічі дотикається до літньої пори, та двічі до зимньої. Відповідні дати обмежують полярний день та полярну ніч.

Для задач інсоляції важливі закономірності, які виникають при побудові тіней зовні будівлі та світлових плям при попаданні сонячних променів через світлопрорізи внутрі будівлі.

При побудові тіней від будівлі для заданого моменту доби тінеутворюючі контури будівлі виділяють з Кг (1,0) поверхні паралельних променів. Це площина, циліндрична, складчаста поверхні відповідно при контурах у вигляді відрізка прямої, дуги кривої, ламаної лінії з прямими або криволінійними ланками. Циліндричні поверхні утворюються також як обгортні до поверхонь куполів.

Тіні за якусь частину доби, побудовані через заданий інтервал, складають конверт тіней.

При побудові світлових плям, які дають в приміщенні промені, що проникають через світлопроріз, отримується конверт інсоляції.

В основі побудов конвертів лежить побудова ліній ходу тіней від точок. Через будь-яку точку М проходить напрямний добовий конус сонячних променів. Лінія t ходу тіні від точки М є результат перетину добового конуса з площиною чи поверхнею. Види ліній перетину залежать від їх взаємного положення. Так площина горизонту між полярними колами в дні рівнодення перетне площину променів по прямій, а в останні дні поверхню добового конуса – по гіперболі, асимптоти якої вказують напрями на схід і захід Сонця, між ними одна вітка гіперболи літня, друга зимня. Вершини гіперболи на цих вітках дають довжини тіней в полуденній площині.

На полярному колі тіні мають форму парабол. За полярним колом тіні мають форму еліпсів, а на початку і вкінці полярного дня – парабол. На полюсі

тіні мають форму кіл. Все це передбачає прийняте знаходження Землі щодоби в одній точці орбіти.

При спільній осі добових конусів кожна годинна площина відповідає своєму часу, а положення в ній напрямної твірної не залежить від широти місцевості, а тільки від дня року. Значить, напрямні твірні в даний момент часу належать одній площині, а вся множина сонячних променів в просторі паралельна цій площині.

Це використовують при створенні сонячних годинників. Тінеутворюючий елемент (гномон) встановлюється паралельно осі Землі, тобто під кутом δ до площини горизонту. На площині горизонту (або іншій площині чи поверхні) будуються і позначаються сліди годинних площин. У цьому випадку тінь від гномона буде належать сліду площини, положення якої визначає час. Напрями променів в площині впливають тільки на довжину тіні.

В [2] запропоновано спосіб побудови сонячного годинника для будь-якого тінеутворюючого об'єкта: обеліска, вертикальної стійки, рогу будинку, ребра балкону, нахиленої прямої обрізу покрівлі чи будь-якої іншої деталі будівлі чи малої архітектурної форми. Через обрану точку M тінеутворюючого об'єкта проводиться уявна пряма, паралельна осі Землі під кутом δ до площини горизонту, рівним широті місцевості. Через цю пряму проводиться годинні площини і знаходяться їх сліди на будь-якій площині чи поверхні τ . Відлік часу відбувається по моменту, коли лінія ходу m тіні точки M на τ перетне відповідний слід годинної площини.

Потоки відбитих сонячних променів в задачах інсоляції, геліотехніки та геліоосвітлення мають значення у двох випадках: *а)* при перенаправленні або концентрації світлової чи теплової сонячної енергії змінного напрямку, *б)* при транспортуванні її по світловодах в приміщення будівель, недоступні для опромінення через світлопрозорі огороження.

У першому випадку при застосуванні плоских відбивачів відбиті промені залишаються паралельними. Тому напрямним для всієї множини відбитих сонячних променів служить добовий конус, дзеркальний відносно площини відбиття добовому конусу прямих сонячних променів [4]. Для направлення відбитих променів в одному напрямі потрібне управління площиною (геліостатом) протягом дня (обертання навколо осі добового конуса прямих сонячних променів) та протягом сезону (подобовою зміною кута α при вершині конуса).

Застосування відбивних поверхонь в кожний момент доби при нерухомій поверхні дає конгруенцію відбитих променів так, що кожний відбитий промінь знаходиться в площині, заданій падаючим променем та нормаллю. Конгруенція має фокальні фігури, але не має фокусів у вигляді точок. Тому для концентрації сонячної енергії обирають область найбільшого згущення (класифокальну).

Для уявлення всієї множини променів корисно розшарувати конгруенцію нормалей на поверхні нормалей і отримувати поверхню відбитих променів. В [4] таке розшарування виконано для відбивних поверхонь 2-го порядку. Це площини нормалей вздовж твірних циліндричних і конічних поверхонь, гіпери нормалей вздовж твірних косих поверхонь, конічні поверхні

нормалей вздовж колових перерізів. В [5] показані отримувані поверхні відбитих променів 3-го та 4-го порядків вздовж твірних косої поверхні та колових перерізів нерозгортних поверхонь.

У другому випадку при транспортуванні сонячного світла на основі відбиття та заломлення виникають потоки ламаних променів. В [6] показано, що при цьому конгруенція $K\gamma$ (1,0) паралельних сонячних променів перетворюється в кожній наступній ланці в нормальну конгруенцію тому, що прямі ланок нормальні до лінії або поверхні фронту хвилі (ортотоміки) від джерела світла у вигляді точки, лінії, відсіка поверхні тому, що ортотоміки є огинаючими множинами сфер. Стосовно потоку ламаних променів сонячного світла, то він складається з конгруенції $K\gamma$ (1,0), отриманих з допомогою відбивних площин. Кожне послідовне відбиття має свій напрямний конус. Можна при виборі площин добитись, щоб кінцевий напрямний конус повтори конус першої ланки паралельних сонячних променів. Це змоделює в закритому приміщенні дійсну картину сонячного опромінення.

При оцінці інсоляції приміщень визначаються її тривалість і порівнюються з нормативними вимогами. При цьому розрахунки ведуться для приміщень першого поверху з урахуванням затінення іншими будівлями.

З висотою вплив оточуючого середовища зменшується. Доцільно було б побудувати графік надлишкової інсоляції і розробляти заходи по використанні надлишкової частини при сонцезахисті, при зменшенні тепловтрат через світлопрозорі огороження, при перетворенні в тепло чи електроенергію для автономного самозабезпечення чи передачі в зовнішню мережу.

Висновок. Проведений огляд дозволяє враховувати виявленні особливості в подальших дослідженнях.

Література

1. Світлопрозорі огороження будинків. Навчальний посібник /О.Л.Підгорний, І.М. Щепетова, О.В. Сергійчук та ін.. –К.: Видавець Домашевська О.А. 2005. –282с.
2. *Підгорний О.Л.* Сонячний годинник як архітектурний об'єкт, розрахунок та побудова. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. –К.: КНУБА,1999. – Вип. 60. –С.9-14
3. *Підгорний О.Л.* Добовий конус відбитих сонячних променів. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. –К.: КНУБА,2004. – Вип. 74. –С.10-19
4. *Підгорний О.Л.* Розшарування конгруенції нормалей поверхонь 2-го порядку вздовж ліній плоских перерізів. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. –К.: КДТУБА,1966. – Вип. 60. –С.8-14
5. *Подгорный А.Л.* Поверхность отраженных лучей. // Прикладная геометрия и инженерная графика. –К.: Будівельник,1975. – Вип. 20. –С.13-16
6. *Підгорний О.Л.* Моделювання ланцюжків прямих, відбитих та деформованих випромінювань на основі поєднання хвильового та променевого

трактувань розповсюдження коливань. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. –Харків: ХДУХТ,2004. – Вип. 4. – С.20-31

ПОТОКИ ПРЯМЫХ И ОТРАЖЕННЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ В АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЕ

А.Л. Подгорный

Рассматриваются особенности множеств и подмножеств солнечных лучей относительно задач инсоляции, гелиотехники и гелиоосвещения на основе модели суточного солнечного облучения, принятой в исследованиях и учебном процессе.

STREAMS OF DIRECT AND REFLECTED SUNBEAMS IN THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

O.L. Podgorny

Features of manifolds and subsets of sunbeams in relation to the tasks of insolation, solar radiation engineering and helio-lightings are examined. Approach is based on the basis of model of day's sun irradiation accepted in researches and educational process.