

ГЕОМЕТРИЧНА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА МОДЕЛЬ «ATMOSPHERIC RADIATION» ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДІВНИЦТВА

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Постановка проблеми. При визначенні форми, об'ємно-планувального вирішення енергоефективних будівель, оптимізації розподілу утеплювача по поверхні теплоізоляційної оболонки проектувальникам необхідно мати значення потоків сонячної (прямої та розсіяної) і теплової радіації, котрі надходять на довільно орієнтовану площину за фіксовані проміжки часу (опалювальний період, період перегріву, півроку, рік) з урахуванням мінливості метеорологічних факторів. Ці данні повинні бути закладені у норми з будівельної кліматології чи, при наймі, у нормах повинні бути первісні кліматичні параметри, достатні для подальшого розрахунку потоків за допомогою комп'ютерних програм. Необхідність створення таких норм и відповідного програмного забезпечення вже стала очевидною, що і було реалізовано в процесі роботи над ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011 «Будівельна кліматологія», який набуває чинності з 1.11.2011 р.

Аналіз основних досліджень. Кількість моделей для розрахунків атмосферної радіації досить велика, до того ж кількість і якість вхідних даних для них стрімко зростає. Теорія фундаментальних процесів перенесення радіації в атмосфері Землі добре вивчена, є багато літератури на цю тему, розроблено величезне число методів розрахунку. Збільшується складність програмного забезпечення, його структура й зв'язки з програмним забезпеченням суміжних наукових дисциплін. На даний час створені пакети програм для розрахунку радіаційних характеристик, такі як DISORT [1], FASCODE [2], ECHAM-HOPE [3], IOC «Атмосферна радіація» [4] і ін. Відома бібліотека програм LIBRADTRAN [5], що на основі окремих програм дозволяє створювати нові комп'ютерні пакети для розрахунків радіації. Однак всі вони потребують досить велику кількість сервісних програм, велику апріорну метеорологічну інформацію. Усе це приводить до того, що розрахунки з використанням названих програм здатні здійснити лише висококваліфіковані фахівці-метеорологи. Програми не пристосовані до потреб проектувальників будівельної галузі.

Постановка завдання. Метою дослідження було створення геометричної комп'ютеризованої моделі «Atmospheric Radiation», спрямованої на розв'язання задач оптимізації форми будинків та інших задач, пов'язаних з аналізом надходження радіації на поверхні складної форми у будівництві.

Основна частина. Модель реалізована у вигляді ППП «Atmospheric radiation» у середовищі «Matlab». Структура ППП наведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура ППП "Atmospheric radiation"

Основою пакету є три вкладені пакети програм, що розраховують енергетичну освітленість довільної площини прямою сонячною радіацією, енергетичну яскравість дифузної (розсіяної та відбитої від підстильної поверхні) сонячної радіації та енергетичну яскравість довгохвильової (від атмосфери та землі) радіації.

Енергетична освітленість *прямою сонячною радіацією* довільної площини при умовах ясного неба визначається за відомою формулою [6]

$$I_{\text{пр}0} = Ip^m,$$

де I – енергетична освітленість прямою сонячною радіацією цієї площини без врахування поглинення і розсіяння атмосферою; p – прозорість атмосфери; m – оптична маса атмосфери для поточного променя Сонця.

I визначається за відомими формулами як функція від географічної широти φ , номера місяця N , дня місяця n , часу доби, куту нахилу α і азимуту β вектора нормалі \mathbf{N} площини, що інсолується.

При визначенні m враховується кривина атмосфери та рефракція світлових променів. Прозорість атмосфери визначається за формулою

$$p = (0,906m_1^{0,018})^{T_m} \cdot (m/m_1)^{a_m},$$

де m_1 – оптична маса атмосфери при якій визначено значення фактору мутності T_m (зазвичай 1,5 чи 2), a_m – деяка постійна для конкретного значення p величина. Ця формула є розвитком методу П.М. Тверського приведення коефіцієнту прозорості атмосфери до заданого значення оптичної маси [6].

При хмарному небі інтенсивність опромінення площини сонячними променями $I_{\text{пр}}$ розраховується за формулою

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{пр}0} (1 - n_{ho}),$$

де n_{ho} – кількість хмар у напрямі на Сонце у долях одиниці з врахуванням проекційного збільшення кількості хмар при зменшенні висоти Сонця за рахунок їх висоти.

ППП “Direct solar radiation” має 5 рівнів і складається з 13 програм, що визначають окремі геометричні та фізичні характеристики прямого сонячного опромінення.

Енергетична яскравість *розсіяної сонячної радіації* розраховується, виходячи з припущення пропорційності енергетичного та світлового потоку розсіяної радіації, що має підставу, оскільки основна частина розсіяної радіації припадає на видиму область спектру. Це дає змогу використовувати для розрахунку енергетичної яскравості неба формули, що описують його світлову яскравість. Міжнародною комісією з освітлення стандартизовані наступні формули для розрахунку яскравості неба: для безхмарного неба – формула Р.Кіттлера, для хмарного неба – формула П. Муна і Д. Спенсер. Щоб скористатися цими формулами треба знати енергетичну яскравість розсіяної радіації L_z у зеніті.

При ясному небі значення L_z знаходиться на підставі того, що співвідношення k_1 між потоком розсіяної радіації, яка надходить на горизонтальну поверхню i_r і інтенсивністю прямої сонячної радіації I_{\perp} , залежить тільки від прозорості атмосфери. Виведені залежності, що виражають

k_1 як функцію від T_M , m_1 і m . При суцільно хмарному небі прийняти припущення, що хмари розташовані у вигляді одного шару і вся радіація, що пройшла крізь хмари розповсюджується як розсіяна радіація. Тоді при ясному небі:

$$L_z = \frac{I_{\perp} \cdot k_1(T_M, m_1, m)}{2\pi \int_0^{\pi/2} S(z, \gamma) dz},$$

при суцільній хмарності:

$$L_z = \frac{(\tilde{I} + \tilde{i})P}{2\pi \int_0^{\pi/2} S(\alpha) \sin \alpha \cos \alpha d\alpha},$$

де $S(z, \gamma)$ – функція розподілу відносної яскравості ясного неба у формулі Р. Кіттлера; z і γ – кутові відстані поточної точки Сонця від zenіту; \tilde{I} і \tilde{i} – потоки прямої і розсіяної радіації на верхній поверхні хмар, що розраховуються для умов безхмарного неба; P – функція пропускання сонячної радіації хмарами; $S(\alpha)$ – функція розподілу відносної яскравості хмарного неба у формулі П. Муна і Д. Спенсер. На основі аналізу експериментальних даних, що є у літературі, отримані залежності зміни фактора мутності T_M від висоти над рівнем моря, і функції пропускання сонячної радіації хмарами P від кутової висоти Сонця.

Енергетична яскравість неба від розсіяної радіації при довільній хмарності неба знаходиться за формулою

$$L = L_0(1 - n_{\alpha}) + L_{10}n_{\alpha}, \quad (1)$$

де L_0 і L_{10} – енергетичні яскравості ясного та повністю хмарного неба у поточному напрямі; n_{α} – кількість хмар на небі у поточному напрямі ($0 \leq n \leq 1$).

При розрахунку яскравості сонячної радіації, що відбивається від поверхні землі прийнято припущення її ізотропності.

ППП “Diffused solar radiation” має 6 рівнів і складається з 21 програми. Результатом роботи пакета є двовимірний масив енергетичної яскравості дифузної (розсіяної та відбитої) радіації. На рис. 2 показані поверхні яскравості,

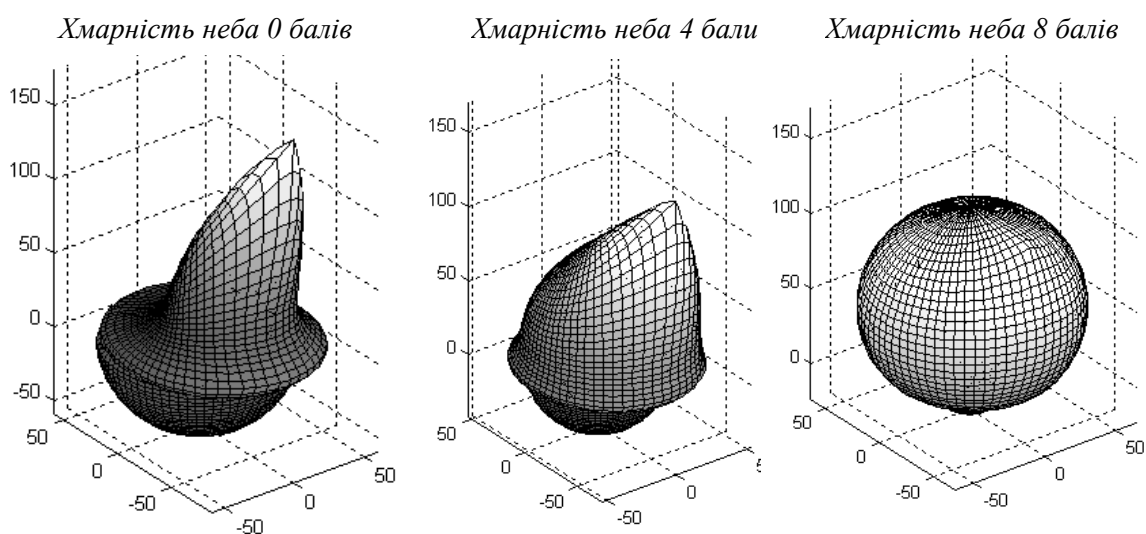


Рис. 2. Поверхні енергетичної яскравості розсіяної побудовані у сферичній системі координат.

Розрахунок енергетичної яскравості *довгохвильової радіації* базується на відомих інтегральних рівняннях переносу теплової радіації у атмосфері [7]. Однак ці рівняння не враховують кривину атмосфері, що викликає значну похибку при визначенні енергетичної яскравості атмосфері біля горизонту. Тому запропоноване їх уточнення. Для чисельного розв'язання рівнянь сформульовані та обґрунтовані відповідні припущення та отримані рівняння переносу теплової радіації в атмосфері при ясному небі:

$$\left\{ \begin{aligned} G(h, \alpha) &= \sum_{\lambda=1}^{37} \int_h^{25000} \sum_{i=1}^3 k_{\lambda i}(\xi) \cdot \rho_i(\xi) \cdot k_{\alpha}(\xi) \cdot E_{\lambda}(\xi) \cdot e^{-\int_{h_i=1}^{\xi} \sum_{i=1}^3 k_{\lambda i}(\zeta) \cdot \rho_i(\zeta) d\zeta} d\xi; \\ U(0, \alpha) &= \sum_{\lambda} \left(\delta \cdot E_{\lambda}(0) + 2 \cdot (1 - \delta) \int_0^{\pi/2} G_{\lambda}(0, \alpha) \cos \alpha \sin \alpha d\alpha \right); \\ U(h, \alpha) &= \sum_{\lambda} \left(U_{\lambda}(0, \alpha) e^{-\int_0^h \sum_{i=1}^3 k_{\lambda i}(\zeta) \rho_i(\zeta) d\zeta} + \int_0^h \sum_{i=1}^3 k_{\lambda i}(\xi) \rho_i(\xi) k_{\alpha}(\xi) E_{\lambda}(\xi) e^{-\int_{\xi=1}^h \sum_{i=1}^3 k_{\lambda i}(\zeta) \rho_i(\zeta) d\zeta} d\xi \right), \end{aligned} \right.$$

де h – висота розрахункової точки над рівнем землі; α – кут нахилу променя до площини горизонту; G і U – енергетична яскравість інтегрального випромінювання з верхньої та нижньої півсфери простору відповідно; G_{λ} і U_{λ} – теж саме, монохромного випромінювання на смузі λ ; $k_{\lambda i}$ – масовий коефіцієнт поглинання i -го газу (водяна пара, вуглекислий газ, озон); k_{α} – коефіцієнт, що враховує збільшення маси атмосфері по напрямку α по відношенню до напрямку на zenit; ρ_i – густина i -го газу; E_{λ} – енергетична яскравість випромінювання абсолютно чорного тіла на смузі λ при температурі атмосфері на висоті h ; δ – відносний коефіцієнт поглинання поверхні землі.

Аналогічні рівняння отримані для суцільної хмарності. При несучільній хмарності значення енергетичної яскравості визначається за формулою (1).

ППП “Thermal radiation” має 8 рівнів і складається з 16 програм. Результатом роботи пакета є значення енергетичної яскравості *довгохвильової радіації* (рис. 3).

Особливістю розрахунків добових доз надходження загальної радіації на довільні площини у розробленій моделі є врахування розсіяної радіації під час присмерків. Для цього проведений геометричний аналіз складу діб на різних географічних широтах і отримані формули для визначення часу початку та кінця ранкових та вечірніх присмерків.

Результатом роботи ППП “Atmospheric radiation” є двовимірні масиви розмірністю середньої за розрахунковий

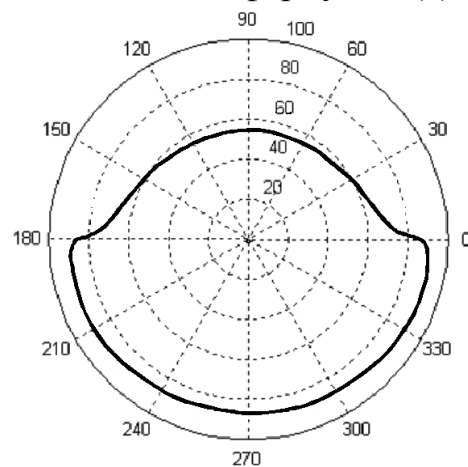


Рис. 3. Діаграма розподілу довгохвильової радіації

період енергетичної освітленості

площин, орієнтація яких задана значеннями азимутів та кутових висот нормалей, від прямої сонячної, дифузної сонячної, теплової і загальної радіації. Виводяться графічні зображення цих масивів у вигляді поверхонь, побудованих у сферичних координатах (рис. 4). Після введення вхідної кліматичної інформації робота ППП триває в автоматичному режимі. Передбачена можливість введення деяких кліматичних параметрів за умовчанням, на основі розрахунку загальних закономірностей їх зміни за географічною широтою та у часі та просторі. В подальшому всі необхідні кліматичні параметри можна буде отримати з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Співставлення результатів розрахунку характеристик радіації за ППП “Atmospheric radiation” з експериментальними даними та розрахунками за іншими існуючими моделями показав їх коректність. Застосування цієї моделі при роботі над ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011 «Будівельна кліматологія» дозволило скласти таблиці значень енергетичної освітленості вертикальних (за 8 румбам) та горизонтальної площин атмосферною радіацією при ясному небі та за середніх умов хмарності.

В подальшому планується удосконалити модель “Atmospheric radiation” для розрахунку спектральних характеристик радіації.

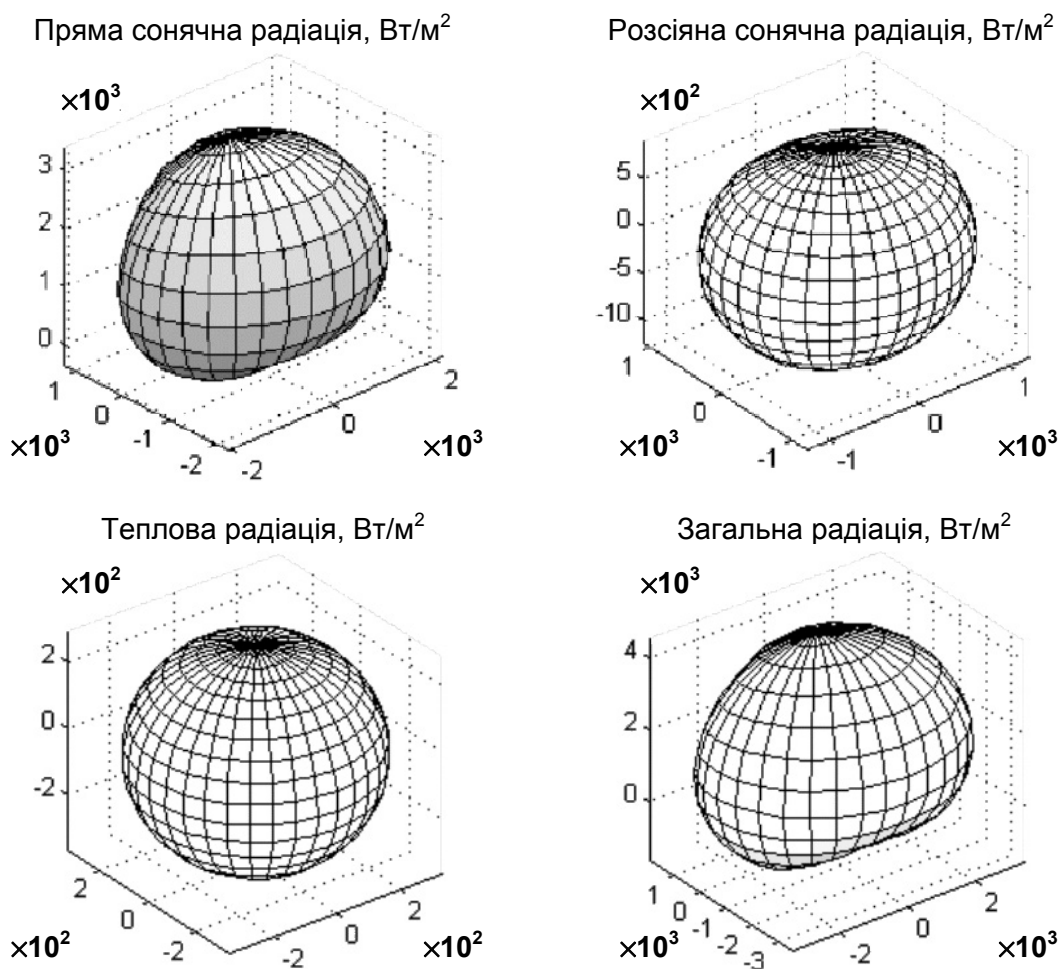


Рис. 4. Поверхні усередненої в часі енергетичної освітленості

ЛИТЕРАТУРА

1. DISORD program [Электронный ресурс] – Режим доступа : ftp://climate.gsfc.nasa.gov/pub/wis-combe/Multiple_Scatt.
2. FASCODE [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rtweb.aer.com>.
3. Подготовка данных и реализация глобальной климатической модели ECHAM-HOPE на многопроцессорном кластере ВЦ РАН / [Михайлов Г. М., Пархоменко В. П., Тучкова Н. П. и др.] // Сообщения по прикладной математике. – М : ВЦ РАН, 2005. – 40 с.
4. Развитие доступной по сети Интернет информативно-вычислительной системы “Атмосферная радиация” / [Привезенцев А. И., Фирсов К. М., Сакерин С. М. и др.] // Измерения моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды. – М. : ВИНТИ, 2006. – С. 50–54.
5. Mayer B. The LibRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use / Mayer B, Kylling A. // Atmos. Chem. Phys. – 2005. – Vol 5. – P. 1855–1877.
6. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия Солнца / К. Я. Кондратьев ; под ред. П. Н. Тверского. – Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1954. – 600 с.
7. Кондратьев К. Я. Лучистый теплообмен в атмосфере / К. Я. Кондратьев ; под ред. П. Н. Тверского. – Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1956. – 421 с.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ «ATMOSPHERIC RADIATION» ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Разработана новая компьютерная модель поступления атмосферной радиации, ориентированная на решение оптимизационных задач в строительстве, в частности по оптимизации формы энергоэффективных зданий. Она рассчитывает двумерные массивы энергетической освещенности плоскостей, ориентация которых задана азимутами и угловыми высотами, от прямой, рассеянной и отраженной от земной поверхности солнечной радиации, а также тепловой длинноволновой радиации.

GEOMETRICAL COMPUTERIZED MODEL «ATMOSPHERIC RADIATION» FOR ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTIONS

We derive a computer model of intake of atmospheric radiation, which is designed to solve optimization problems in building; in particular, the problems of optimizing the form of energy effective houses. This model takes into consideration the direct, diffuse, ground-reflected solar radiation and the thermal Earth radiation, It calculates two-dimensional arrays of power luminosity of a plane whose location is given by its azimuth and angular height.