

д. техн. наук, проф. **Пугачов Є.В.**,
pev1957@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4771-0942

к. техн. наук, доц. **Літницький С.І.**,
gavran88@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4962-7800

к. техн. наук, доц. **Кундрат Т.М.**,
kundratt@i.ua, ORCID: 0000-0001-9345-3161

Зданевич В.А.
vasyl.zdanevych@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9875-8463

Національний університет водного господарства та природокористування
(м. Рівне)

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ПОВ'ЯЗАНИХ З КООРДИНАТАМИ СОНЦЯ, ДЛЯ МІСТА РІВНЕ

У статті наголошується, що визначення координат Сонця за різними сонячними картами, графіками і номограмами дає можливість скористатись ними тільки для певних днів року, і визначені за їх допомогою характеристики (час сходу і заходу Сонця, тривалість сонячного дня, азимут сходу і заходу Сонця, кутова висота Сонця у сонячний полудень) не дають уявлення про характер їх зміни протягом року. Для цього наведені рисунки розрахункового сонячного графіка Кайеса Інтерпрайса, світлопланоміру Д.С. Масленнікова, сонцешукача Бекера і Фунаро, сонячної діаграми Гунара Плейжсела, стереографічної сонячної карти, графіка Б.А. Дунаєва і М.Н. Гусєва.

В статті наведені відомі формули для визначення кутових координат Сонця, які є функціями трьох параметрів: широти місцевості φ , сонячного часу t і номера дня року n , що дозволяє за фіксації двох або одного параметрів представити певні характеристики, пов'язані із кутовими координатами Сонця, у вигляді плоских кривих або поверхонь.

У статті на прикладі міста Рівне ($\varphi = 50.62308^\circ$) візуалізовані і проаналізовані залежності від номера дня року часу сходу і заходу Сонця, азимутальних кутів сходу і заходу Сонця, тривалості сонячного дня, кутової висоти Сонця в сонячний полудень.

Також для міста Рівне візуалізовані поверхні кутової висоти Сонця як функції двох змінних – сонячного часу і номера дня року. При цьому розглядався відсік поверхні в межах додатних кутових висот (для від'ємних значень кутова висота Сонця обнулялася), а сама поверхня показана також у вигляді горизонталей.

Аналогічно (в двох варіантах) показана для широти міста Рівне поверхня азимутальних кутів як функція сонячного часу і номера дня року

Ключові слова: координати Сонця, час сходу і час заходу Сонця, азимутальні кути сходу і заходу Сонця, тривалість сонячного дня, поверхні кутової висоти та азимутального кута Сонця.

Постановка проблеми. Для визначення координат сонця на небесній сфері використовують різні види сонячних карт, планшети, графіки (рис.1-7), номограми і таблиці [1-7]. Сонячні карти будують для певної широти місцевості і відображають на них траєкторії сонця на конкретні дні року, тому вони не дозволяють визначити координати сонця та інші характеристики (час сходу і заходу сонця, тривалість дня) у всі дні року. Крім того, вони позбавлені наочності, оскільки є різного виду відображеннями тривимірної небесної півсфери на площину, зокрема, стереографічною проєкцією на площину горизонту (рис. 5) з точки надиру.

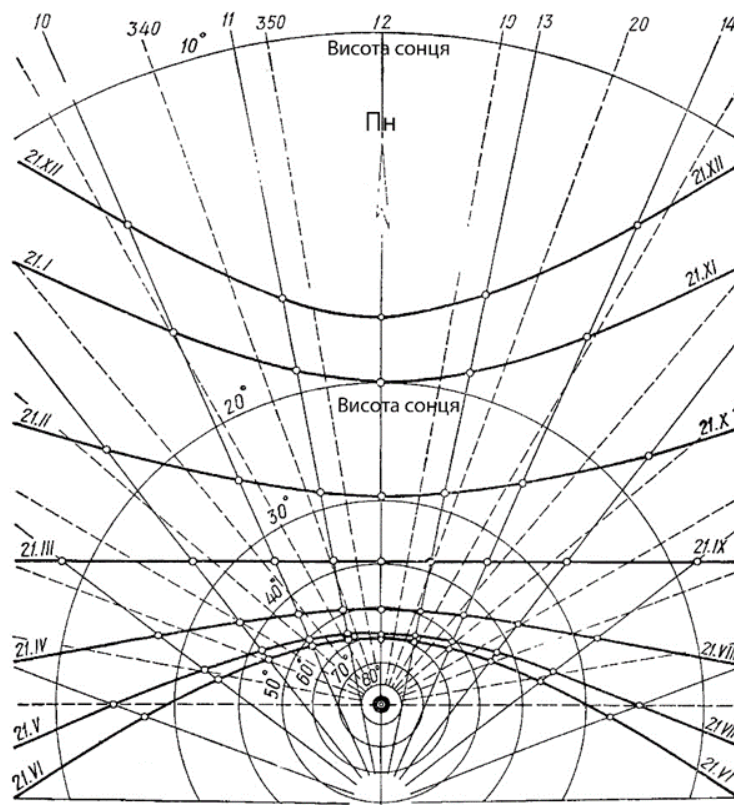


Рис.1 Розрахунковий сонячний графік Кайеса Інтерпрайса

Кутові координати сонця (рис. 8) для даного дня року, певної широти місцевості і сонячного часу можна також обчислити за формулами [6, 7]:

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

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

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

де h – кутова висота Сонця, град, α – азимут Сонця, град, Δ – схилення сонця, град, φ – географічна широта місцевості (південна – зі знаком мінус), град, ω – годинний кут (15° 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).

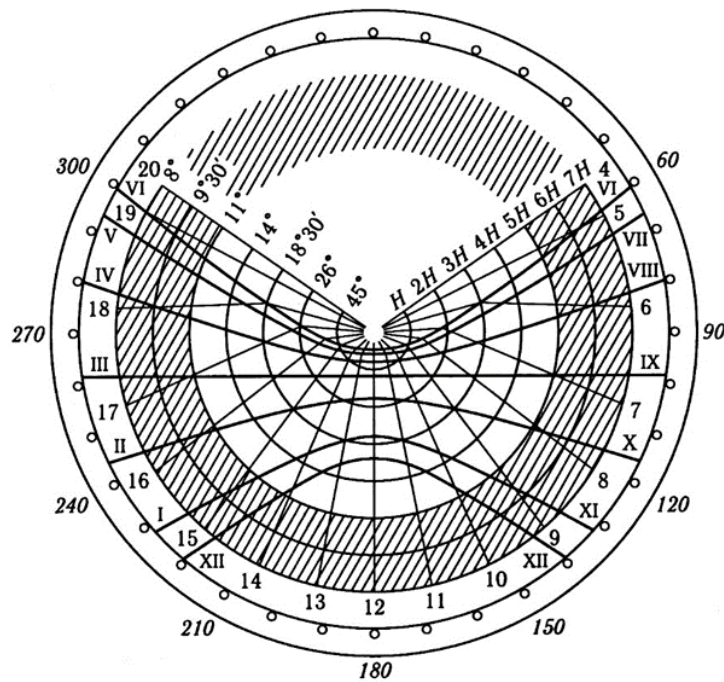


Рис.2. Світлопланомір Д. С. Масленнікова

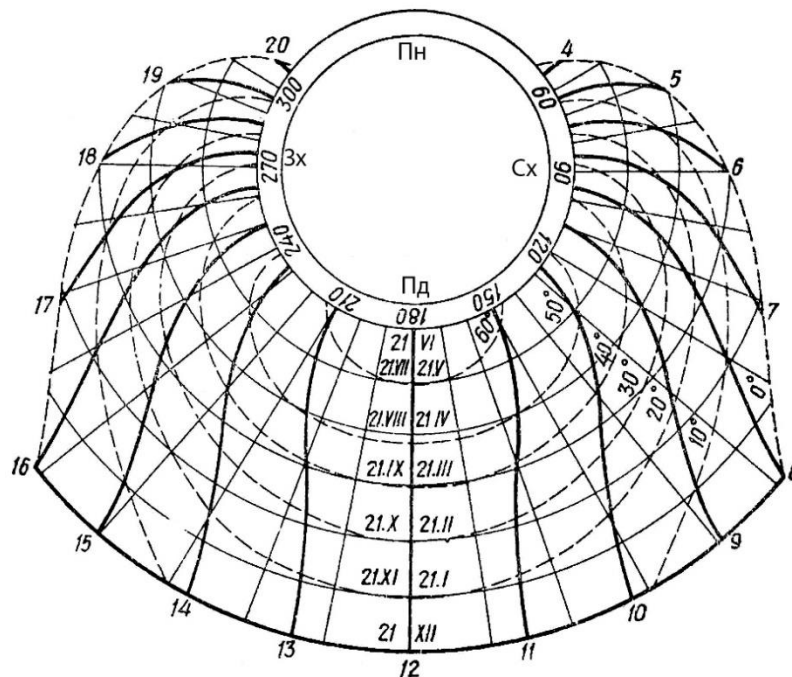


Рис. 3. Сонцешукач Бекера і Фунаро

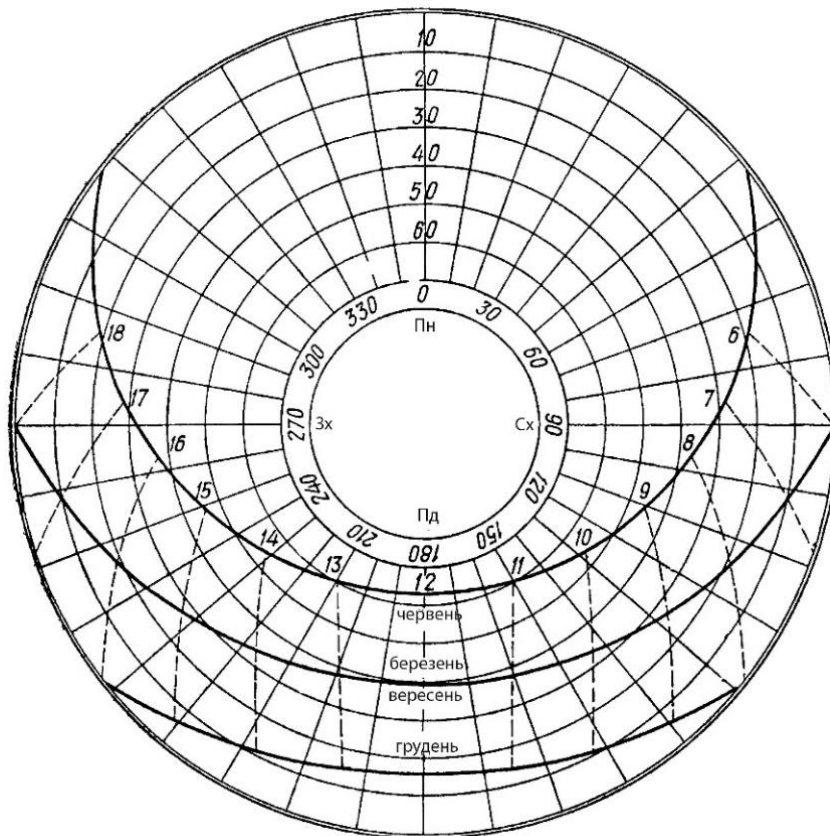


Рис. 4. Сонячна діаграма Гунара Плейжела

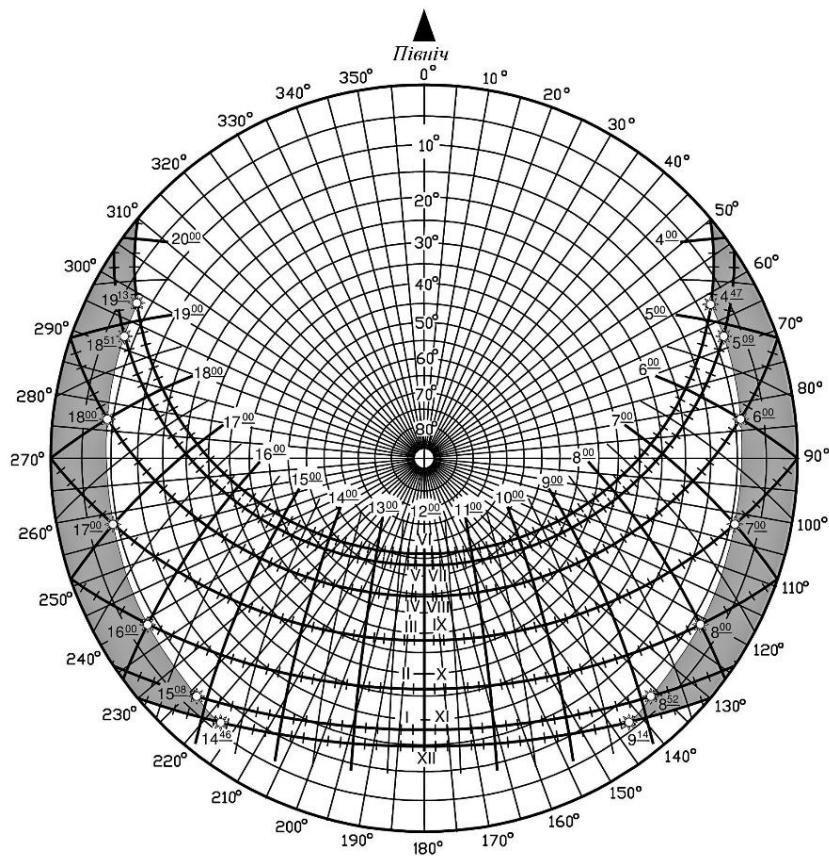


Рис. 5. Стереографічна сонячна карта

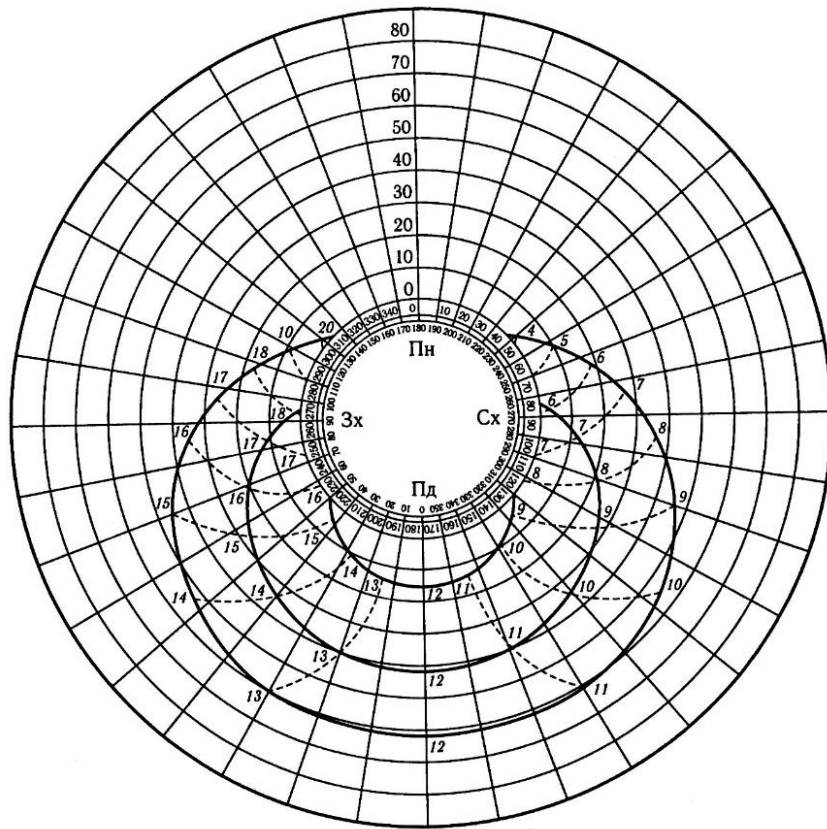


Рис.6. Графік Б. А. Дунаєва (інсоляційний планшет Б. А. Дунаєва)

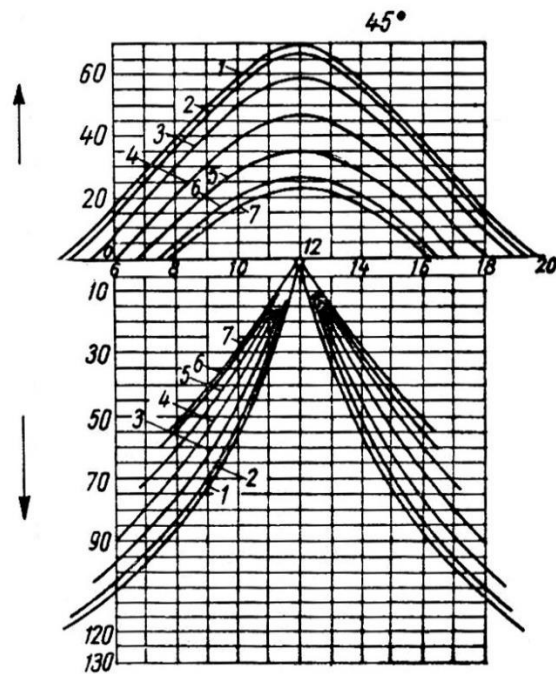


Рис. 7. Графіки М. Н. Гусєва (графіки координат Сонця) для широти 45 градусів: 1 – червень, 2 – травень-липень, 3 – квітень-серпень, 4 – березень-вересень, 5 – лютий-жовтень, 6 – січень-листопад, 7 – грудень

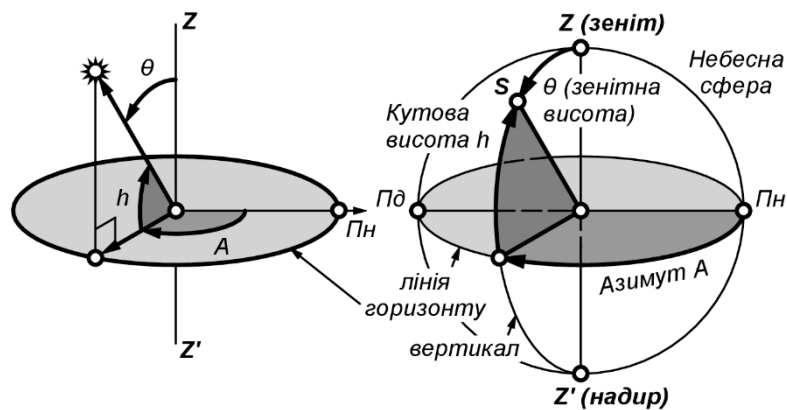


Рис. 8. Кутові координати Сонця: кутова висота h , зенітний кут θ та азимут A

Схилення сонця, як видно з формули (3), залежить лише від дня року (приймається сталим протягом всього дня, рис. 9).

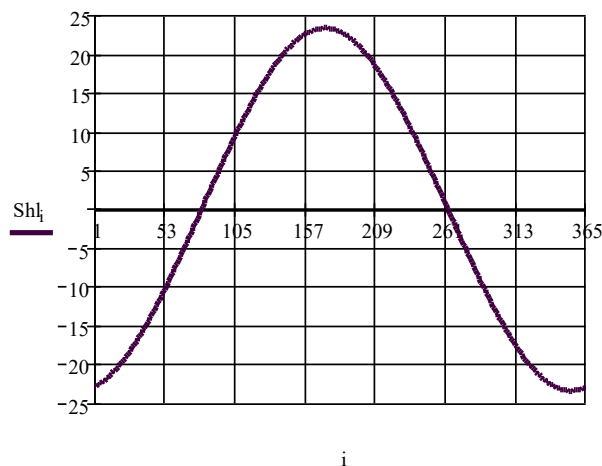


Рис. 9. Залежність схилення Сонця (вертикальна вісь, градус) від номера дня року (горизонтальна вісь)

Аналіз останніх досліджень. У роботах [8-10] визначався час сходу і заходу Сонця залежно від номера дня року, але графіки залежності для певної широти місцевості не наводились. Графіки залежності від номера дня року часу сходу і заходу Сонця, тривалості сонячного дня, азимутального кута та поверхні кутової висоти Сонця і азимутального кута наскільки відомо авторам не наводились в літературі.

Формулювання цілей та завдання статті. Метою даної роботи є візуалізація та аналіз характеристик, пов'язаних з кутовими координатами Сонця, для міста Рівне.

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

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

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

Місто Рівне має широту $\varphi = 50.62308^\circ$. Таким чином за сталої широти місцевості час сходу і заходу Сонця для міста Рівне стають функціями одної змінної – номера дня року n , графіки яких показані на рис. 10.

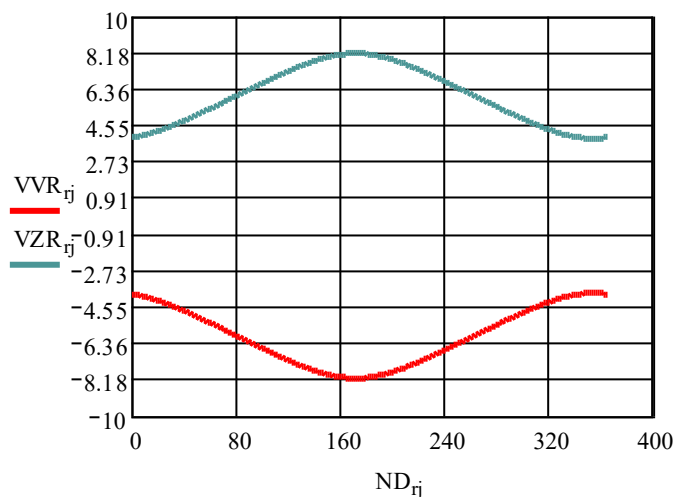


Рис. 10. Залежності часу сходу (нижня крива) і заходу (верхня крива) Сонця, год, від номера дня року для міста Рівне

Мінімальний час сходу Сонця припадає на 173-й день року і становить $-8,127$ год., а максимальний припадає на 355-й день року і становить $-3,873$ год. Максимальний час заходу припадає на 173-й день року і становить $8,127$ год., мінімальний – на 355-й день року і становить $3,873$ год.

Тривалість сонячного дня залежно від номера дня можна визначити віднявши від часу заходу Сонця час його сходу (рис. 11).

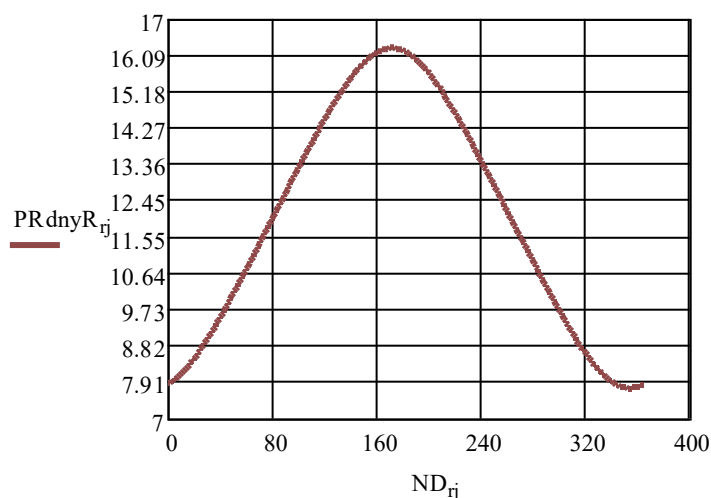


Рис. 11. Тривалість сонячного дня, год, залежно від номера дня року для міста Рівне

Мінімальна тривалість сонячного дня спостерігається у 355-й день року і становить 7,746 год, а максимальна – у 173-й день року (16,254 год.).

З формули (2) можна визначити азимутальний кут сходу і заходу Сонця в місті Рівне (рис. 12) залежно від номера дня року, якщо в неї підставити широту міста Рівного, кутову висоту сонця $h = 0$ та час сходу і заходу Сонця (азимутальний кут відраховується від напрямку на південь до напрямку на схід зі знаком «+», а від напрямку на південь до напрямку на захід зі знаком «-»).

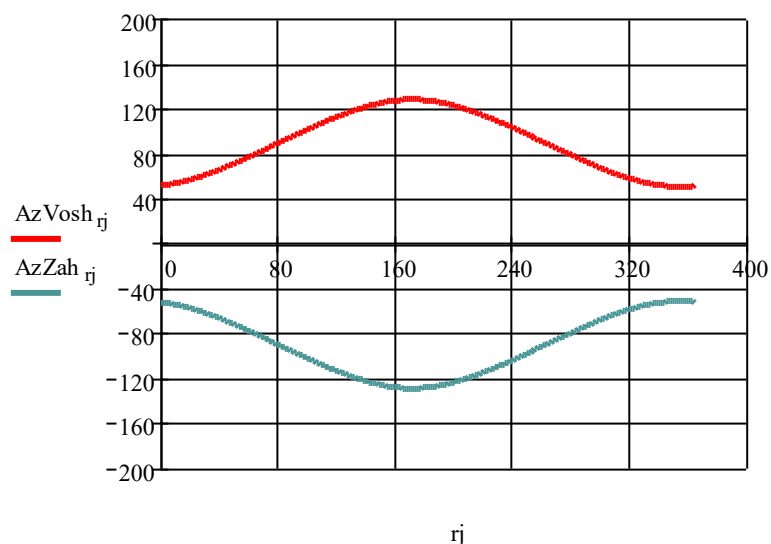


Рис. 12. Азимутальні кути, град, сходу (верхня крива) і заходу (нижня крива) Сонця в місті Рівне

Максимальний азимутальний кут сходу Сонця становить $128,84^\circ$ (173-й день року), мінімальний – $51,15^\circ$ (355-й день року). Мінімальний азимутальний кут заходу Сонця становить $-128,84^\circ$ (173-й день року), максимальний – $-51,15^\circ$ (355-й день року).

Якщо в формулу (1) підставити широту міста Рівне і сонячний час $t=0$, то отримаємо залежність кутової висоти сонця в сонячний полудень для міста Рівне від номера дня року (рис.13).

Максимальна кутова висота сонця в сонячний полудень припадає на 173-й день року і становить для міста Рівне $62,82^\circ$.

Формула (1) за сталої широти місцевості являє собою функцію двох змінних – сонячного часу t і номера дня року n , тобто поверхню, представлену на рис. 14. На рис. 15 вона показана у вигляді горизонталей.

А формула (2) за сталої широти місцевості теж є функцією двох вказаних вище змінних. Відповідна поверхня представлена на рис. 16 та 17 (у вигляді горизонталей).

Висновки та перспективи подальших досліджень. У роботі візуалізовані і проаналізовані на прикладі міста Рівне залежності від номера дня року часу сходу і заходу сонця, тривалості сонячного дня, кутової висоти Сонця в сонячний полудень, азимутального кута сходу і

заходу Сонця. Показані поверхні кутової висоти сонця та азимутального кута залежно від номера дня року і сонячного часу.

Графічне представлення залежностей дозволяє краще їх уявляти і оцінювати межі зміни параметрів.

Подальші дослідження можна спрямувати на візуалізацію кутів падіння сонячних променів залежно від орієнтації та нахилу площини фасаду.

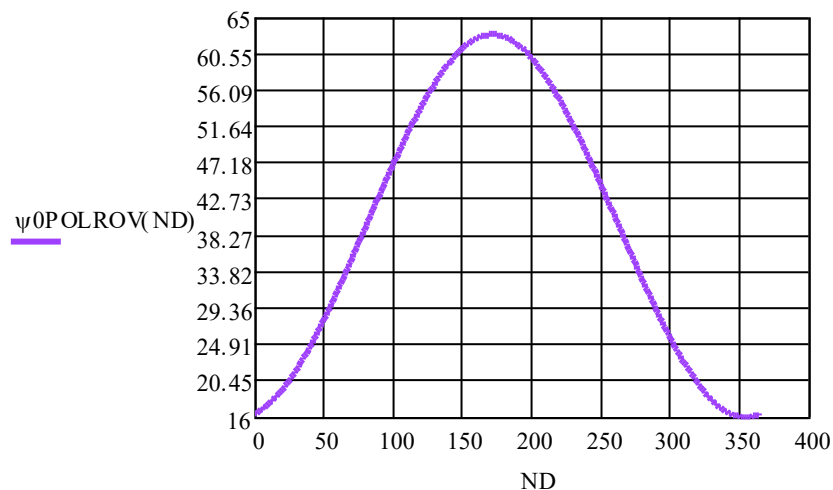
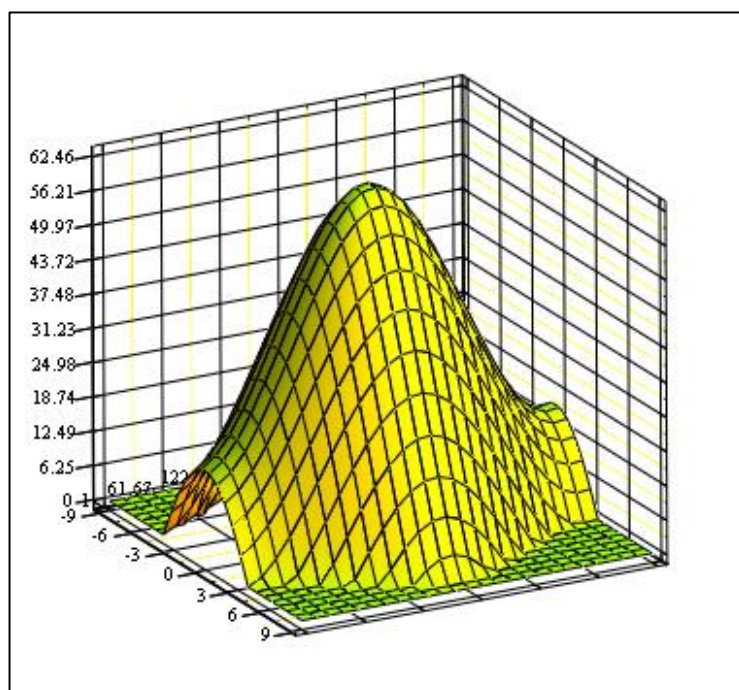


Рис. 13. Залежність кутової висоти Сонця, град, в сонячний полудень від номера дня року для міста Рівне



UGLV

Рис. 14. Поверхня кутової висоти Сонця, град., для міста Рівне як функція сонячного часу і номера дня року.

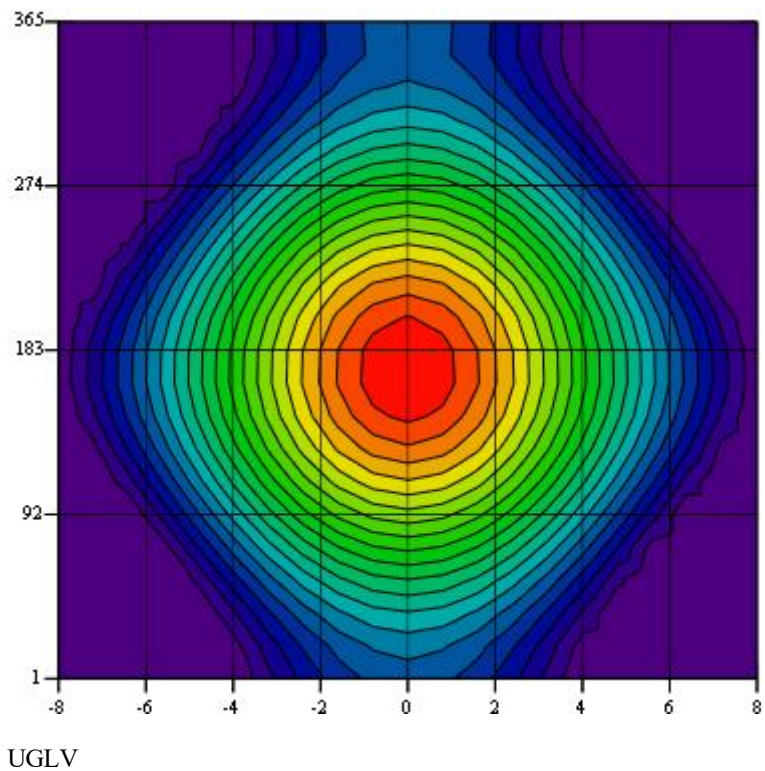


Рис. 15. Поверхня кутової висоти Сонця, град., для міста Рівне у вигляді горизонталей

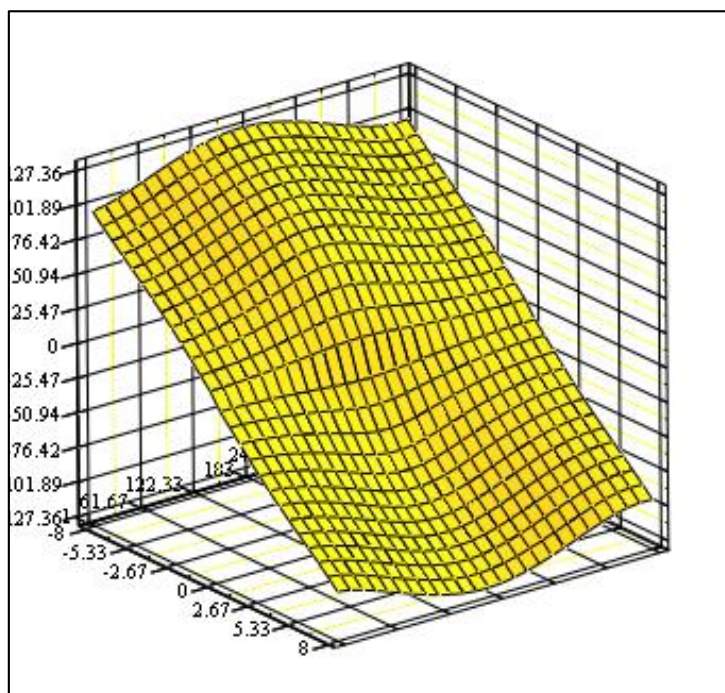
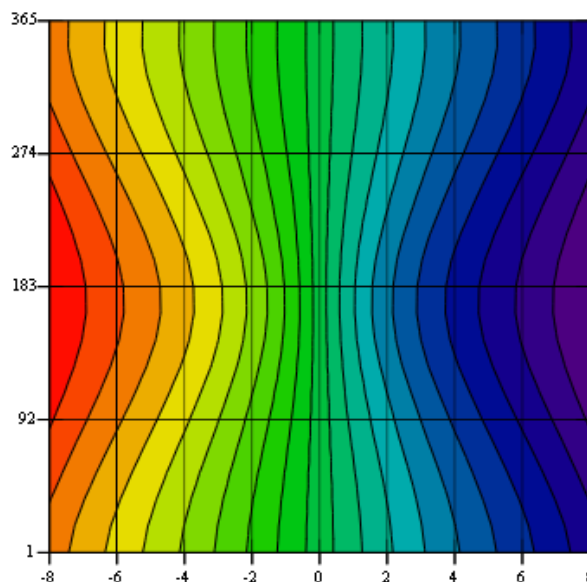


Рис.16. Поверхня азимутальних кутів Сонця, град., для міста Рівне як функція сонячного часу і номера дня року



АЗ
Рис. 17. Поверхня азимутальних кутів Сонця, град.,
для міста Рівне у вигляді горизонталей

Література

1. Казаков Г. В. Архітектурна фізика: основні поняття і величини. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 260 с.
2. Пугачов Є. В., Зданевич В. А., Кундрат Т. М., Літницький С. І. Ілюстрований термінологічний словник з будівельної світлотехніки: природне освітлення, інсоляція, сонцезахист, використання сонячної енергії. Рівне: Волинські обереги, 2024. 432 с.
3. Світлопрозорі огороження будинків / О. Л. Підгорний, І. М. Щепетова, О. В. Сергейчук та ін. Київ : Вид. Домашевська О. А., 2005. 282 с.
4. Штейнберг А. Я. Расчет инсоляции зданий. Київ : Будівельник, 1975. 119 с.
5. Aronin J. E. Climate and Architecture. NY: Reinhold, 1953. 304 p.
6. Markus, T.A. and Morris, E.N. Buildings, Climate and Energy. London: Pitman Publishing Limited, 1980. 540 p.
7. Szokolay S. V. Environmental science handbook for architects and builders. London, New York: The Construction Press Lancaster, 1980. 532 p.
8. Пугачов Є. В. Моделювання можливого опромінення від сонця. *Сборник трудов Киевского национального университета технологий и дизайна*. 2004. С.135-140.
9. Пугачов Є. В. Моделювання річного ходу тривалості інсоляції похилої площини. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування*. 2005. Вип. 3 (31). С. 248 -255.
10. Пугачов Є. В. Інсоляція та опромінення похилої площини з урахуванням імовірності сонячного сяяння. *Вісник Київського*

національного університету технологій та дизайну (спецвипуск). 2006. № 4(30). С. 133-137.

References

1. *Kazakov H. V.* Arkhitekturna fizyka: osnovni ponyattya i velychyny. L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniky, 2012. 260 s. {in Ukrainian}
2. *Puhachov YE. V., Zdaneych V. A., Kundrat T. M., Litnits'kyi S. I.* Ilyustrovanyy terminolohichnyy slovnyk z budivel'noyi svitlotekhniky: pryrodne osviltleniya, insolyatsiya, sontsezakhyst, vykorystannya sonyachnoyi enerhiyi. Rivne: Volyns'ki oberehy, 2024. 432 s. {in Ukrainian}
3. Svitloprozori ohorodzhennya budynkiv / O. L. Pidhornyy, I. M. Shchepetova, O. V. Serheyчук ta in. Kyiv : Vyd. Domashevs'ka O. A., 2005. 282 s. {in Ukrainian}
4. *Shteynberh A. YA.* Raschet ynsolyatsyy zdanyy. Kyiv : Budivel'nyk, 1975. 119 s. {in Russian}
5. *Aronin J. E.* Climate and Architecture. NY: Reinhold, 1953. 304 p. {in English}
6. *Markus, T.A. and Morris, E.N.* Buildings, Climate and Energy. London: Pitman Publishing Limited, 1980. 540 p. {in English}
7. *Szokolay S. V.* Environmental science handbook for architects and builders. London, New York: The Construction Press Lancaster, 1980. 532 p. {in English}
8. *Puhachov YE. V.* Modelyuvannya mozhlyvoho oprominennya vid sontsya. *Sbornyk trudov Kyevskoho natsyonal'noho unyversyteta tekhnolohyy y dizayna.* 2004. S.135-140. {in Ukrainian}
9. *Puhachov YE. V.* Modelyuvannya mozhlyvoho oprominennya vid sontsya. *Sbornyk trudov Kyevskoho natsyonal'noho unyversyteta tekhnolohyy y dizayna.* 2004. S.135-140. {in Ukrainian}
10. *Puhachov YE. V.* Insolyatsiya ta oprominennya pokhyloyi ploshchyny z urakhuvannyam imovirnosti sonyachnoho syayannya. *Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu tekhnolohiy ta dizaynu (spetsvypusk).* 2006. № 4(30). S. 133-137. {in Ukrainian}

Doc. tech. sciences, Prof. **Pugachov E.V.**,
pev1957@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4771-0942
Cand. tech. sciences, Assoc. prof. **Litnitskyi S.I.**,
gavran88@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4962-7800
Cand. tech. sciences, Assoc. prof. **Kundrat T.M.**,
kundratt@i.ua, ORCID: 0000-0001-9345-3161

VISUALIZATION AND THE ANALYSIS OF SOME CHARACTERISTICS CONNECTED WITH COORDINATES OF THE SUN FOR THE CITY RIVNE

In article it is noted that determination of coordinates of the Sun according to different solar cards, gives to schedules and nomograms the chance to use them only for some days of year, and the characteristics defined with their help (time of rising and sunset, duration of sunny day, the azimuth of rising and sunset, angular height of the Sun at solar noon) do not give the idea of the nature of their change within the year. Drawings of the rated solar schedule Kayes Interpreays, D.S. Maslennikov's svetoplanometr, Becker and Funaro's solar seeker, the solar chart of Gunar Pleyzhel, the stereographic solar map, V.A. Dunayev and M.N. Gusev's schedule are for this purpose provided.

The known formulas for definition of angular data of the Sun which are functions of three parameters are given in article: the latitude of the area φ , solar time of t and number of day of year of n that allows to provide when fixing two or one parameters the certain characteristics connected with angular data of the Sun in the form of plane curves or surfaces.

In article on the example of the city Rivne ($\varphi = 50.62308^\circ$) dependences on number of day of year of time of rising and sunset, lateral angles of rising and sunset, duration of sunny day, angular height of the Sun at solar noon are visualized and analyzed.

Also for the city Rivne surfaces of angular height of the Sun as functions of solar time and number of day of year are visualized. At the same time the surface compartment within positive angular heights (for negative values the angular height of the Sun was nullified) was considered, and the surface is shown also in the form of horizontals.

Similarly (in two options) the surface of lateral angles as function of solar time and number of day of year is shown for the latitude of the city Rivne

Keywords: coordinates of the Sun, time of rising and time of sunset, lateral angles of rising and sunset, duration of sunny day, surface of angular height and lateral angle of the Sun.