

2. Дубковецький І.В., Малежик І.Ф., Бурлака Т.В. Визначення основних тепломасообмінних параметрів сушіння культивованих грибів при різних способах енергопідведення // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2016. Т. 80, вип. 1. С. 53-58.
3. Дубковецький І.В., Малежик І.Ф., Бурлака Т.В. Вплив швидкості теплоносія на основні тепломасообмінні параметри конвективно-терморадіаційного сушіння культивованих грибів // Наукові праці НУХТ. 2016. Т. 22, №4. С.141-148.
4. Исследование биологически активных веществ при сушке культивированных грибов вешенки / Бурлака Т.В. и др. // Научни трудове Хранителни технологии. Пловдив. 2015. Т. LXII. С. 331-336

References

1. Kafarov V.V. (1982). Osnovy massoperedachy. M.: Vysshaya shkola., 655 s.
2. Dubkovets'kyu I.V., Malezhyk I.F., Burlaka T.V. (2016). Vyznachennya osnovnykh teplomasoobminnykh parametriv sushinnya kul'tyvovanykh hrybiv pry riznykh sposobakh enerhopidvedennya. Naukovi pratsi ONAKHT. – Odesa.: 80(1). 53-58.
3. Dubkovets'kyu I.V., Malezhyk I.F., Burlaka T.V. (2016). Vplyv shvydkosti teplonosiya na osnovni teplomasoobminni parametry konvektyvno-termoradiatsiynoho sushinnya kul'tyvovanykh hrybiv. Naukovi pratsi NUKHT. 22(4). 141-148.
4. Burlaka T. V., Dubkovetskyu Y.V., Malezhyk Y. F., Zhukova YA.F. (2015). Yssledovanye byolohychesky aktyvnykh veshchestv pry sushke kul'tyvyrovanykh hrybov veshenky. Nauchny trudove Khranytelny tekhnolohyy. Plovdyv. LXII. 331-336.

УДК 620.97+662.99+621.8.035

ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОАДХОДЖЕННЯ ГЕЛІОПАНЕЛІ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Козін В. М., к. т. н., Винниченко Б. О., студент
Сумський державний університет

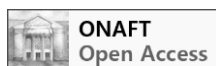
IMPROVE OF HEAT SUPPLY OF HELIOPANEL FOR HEAT ENERGY GENERATION

Kozin V. M., PhD, Vynnychenko B. O., student
Sumy State University

Copyright © 2017 by author and the journal “Scientific Works”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. Стаття присвячена проблемі підвищення теплонадходження геліопанелі, що працює для вироблення теплової енергії. Такі пристрої можуть використовуватися для отримання гарячої води та у системах опалення «тепла підлога». До переваг таких систем треба віднести їх повну автономність, надійність, простоту конструкції, тривалий термін служби та ін. Однак робота геліопанелі повністю залежить від кількості ефективно засвоєної нею теплової енергії сонця, яка, у свою чергу, залежить як від конструкції та властивостей матеріалів панелі, так і від кількості спрямованого сонячного випромінювання, що визначається географічним розташуванням панелі, періодом року, часом доби та геометрією взаємного розміщення площини панелі і напрямом падіння на неї сонячного променя.

Врахування динаміки кута падіння сонячного променя на геліопанель дозволяє суттєво підвищити її теплосвоєння та збільшити тривалість сонячного опромінення, а отже, – покращити енергетичну ефективність альтернативного джерела теплової енергії, що особливо актуально при розміщенні панелі у північній та центральній частинах країни, які відносять до четвертої зони з найменшим середньорічним сонячним випромінюванням до 1000 кВт·год/м².

Abstract. Currently problem of energy due to the constant growth of tariffs for energy: water, electricity and heat is acute. The situation was reinforced by the lack of sufficient amount of domestic reserves of natural gas, coal and other minerals – energy sources which are used in traditional energetics. Therefore, the growing demand for energy in its various forms significantly accelerates the introduction of devices and systems that operate from alternative and renewable sources. This area is developed very actively, but as with all things new, these devices still have a relatively low efficiency.

The article deals with the problem of increase of efficiency of solar battery, working to receive heat energy. These devices can be used for hot water and heating in a "warm floor" systems. The advantages of such systems are full autonomy, reliability, simplicity of design, long life and so on. The action of solar battery depends on solar heat, which is effectively completely absorbed by panel. It depends on the design and properties panels, and on the number of directional solar radiation and it is determined by geographical location of panel, season, time of day and geometry relative placement between panel plane and the direction of fall sunlight.

Taking into account the dynamics of the angle of incidence of sunlight on solar battery allows to increase its heat absorption and increase the time of the solar radiation significantly, and thus – to improve the energy efficiency of an alternative source of heat. It is especially important when placing panels in the northern and central parts of the country that belongs to the fourth zone with the lowest average annual solar radiation up to $1000 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$.

The use of a turning mechanism by analogy with solar panels working for the generation of electric energy, will allow in dynamic mode during the day to maintain a normal or close to its angle of incidence of sunlight. This will help to maximize the heat production efficiency of solar energy and increase the output power of the solar station. However, the use of a turning mechanism will make it impossible to install solar panels on the sloping roofs of buildings, as it can be seen now. Such systems will require free horizontal areas, a strong foundation and additional pay of money, but the growth of heat energy production in the remote time will allow to return part of money by the introduction of this energy efficient measure.

Ключові слова: геліопанель, сонячна енергетика, енергоефективність, альтернативне джерело енергії, система теплопостачання, сонячна радіація, орієнтація панелі, теплонадходження.

Keywords: solar panel, solar energy, energy efficiency, alternative energy source, heat supply system, solar radiation, panel orientation, heat transfer.

Вступ. Більшість геліостанцій працюють для вироблення електричної енергії, однак енергію Сонця можна використовувати і для вироблення теплової енергії. У цьому випадку променева енергія йде на нагрівання теплоносія, що циркулює у каналах панелі, а отримане тепло акумулюється у теплоізольованому баці-акумуляторі. Кількість сприйнятої панеллю теплової енергії залежить від багатьох факторів: конструкції та властивостей матеріалів панелі, кількості спрямованого сонячного випромінювання, що визначається географічним розташуванням панелі, періодом року, часом доби та геометрією взаємного розміщення площини панелі і напрямку падіння на неї сонячного променю. Якщо для сонячних панелей, що працюють для вироблення електричної енергії, вже розроблено спеціальні механізми, які дозволяють повертати її за Сонцем, то геліопанелі, що працюють для вироблення тепла, встановлюють стаціонарно з орієнтацією на південь та кутом панелі до горизонту близько 40° [1 – 5]. Такий підхід зменшує початкові капітальні витрати так скорочує термін монтажу, однак призводить до суттєвого зменшення ефективності теплозасвоєння геліопанелі через не коректний кут падіння променів на площину панелі, а також впливає на скорочення тривалості контакту сонячного проміння з панеллю. Отже, стаття присвячена актуальному питанню та дозволяє оцінити втрачений ефект від не використання поворотних механізмів у геліопанелях, що працюють для вироблення тепла на прикладі їх територіального розміщення у м. Суми.

Основна частина. Кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню Землі, дуже залежить від широти місцевості (рис. 1). Відношення середньомісячних надходжень сонячної радіації у червні і грудні зі збільшенням широти зростає, і на широті 50° пн. ш. воно приблизно дорівнює 13. Ще більше відрізняється надходження сонячної енергії у найсприятливіший і найнесприятливий дні року, при цьому відношення E_{\max} і E_{\min} може досягати 50. Ці дані свідчать про великі зміни протягом року кількості надходження сонячної енергії, а отже, і про подібні зміни теплопродуктивності геліосистеми [8].

Для розрахунку наявної кількості сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню, необхідно знати кути падіння сонячних променів на похилу і горизонтальну поверхню у даному місці. Положення деякої точки A на земній поверхні відносно сонячних променів у даний момент часу визначається трьома основними кутами: широтою місця розташування точки φ , годинним кутом ω та схиленням Сонця δ (рис. 1). Разом з трьома основними кутами φ , ω та δ у розрахунках сонячної радіації використовують також зенітний кут z , кут висоти α і азимут a Сонця (рис. 2) [7].

Схилення Сонця у довільний день року визначається за формулою:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), \quad (1)$$

де n – порядковий номер дня, відрахований від 1 січня.

Для розрахунків величину n беруть як порядковий номер середнього розрахункового дня місяця року.

Кут падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню, що має азимут a_n і кут нахилу до горизонту β , визначається за формулою:

$$\cos i = \sin \beta \left[\cos \delta (\sin \varphi \cos a_n \cos \omega + \sin a_n \sin \omega) - \sin \delta \cos \varphi \cos a_n \right] + \cos \beta \left[\cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi \right], \quad (2)$$

де φ – широта місцевості; δ – схилення Сонця; ω – годинний кут Сонця.

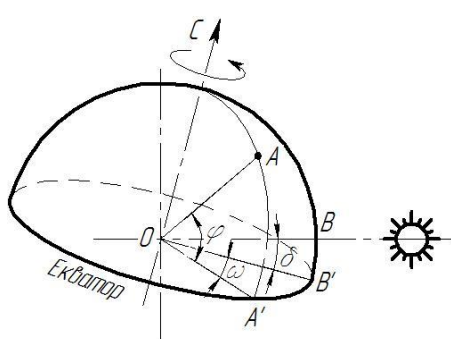


Рис. 1. Схема удаваного руху Сонця по небосхилу.

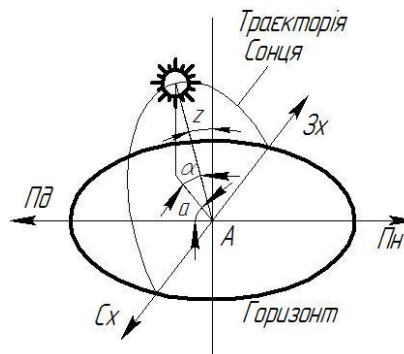


Рис. 2. Куты, які визначають положення точки A на земній поверхні відносно сонячних променів.

Азимут вертикальної поверхні a_n в тому випадку, якщо вона орієнтована на південь, дорівнює 0° , на захід 90° , на схід -90° , на північ 180° .

Середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню сонячного колектора, визначається за формулою:

$$E_n = RE, \quad (3)$$

де E – середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$; R – відношення середньомісячних денних кількостей сонячної радіації, що надходить на похилу і горизонтальну поверхні.

Коефіцієнт перерахунку кількості сонячної енергії з горизонтальної поверхні на похилу поверхню сонячного колектора з південною орієнтацією дорівнює сумі трьох складових, які відповідають прямому, розсіяному та відображеному сонячному випромінюванню:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E} \right) R_n + \frac{E_p}{E} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (4)$$

де E_p – середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, яке надходить на горизонтальну поверхню, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$; E_p / E – середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання; R_n – середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню; β – кут нахилу поверхні сонячного колектору до горизонту; ρ – коефіцієнт віддзеркалення (альbedo) поверхні Землі та оточуючих тіл, який як правило беруть таким, що дорівнює 0,7 для зими та 0,2 для літа; у весняні та осінні місяці цей коефіцієнт беруть таким, що дорівнює 0,45.

Величини E_p та E беруть з довідкової літератури, наприклад, [9].

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню з південною орієнтацією знаходять з виразу

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{3,n} + \frac{\pi}{180} \omega_{3,n} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_3 + \frac{\pi}{180} \omega_3 \sin \varphi \sin \delta}. \quad (5)$$

Годинний кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні

$$\omega_3 = \arccos(-\text{tg} \varphi \text{tg} \delta). \quad (6)$$

Як годинний кут заходу Сонця для похилої поверхні з південною орієнтацією беруть меншу з двох величин: ω_3 або величину $\omega_{3,n}$, розраховану за формулою:

$$\omega_{3,n} = \arccos[-\text{tg}(\varphi - \beta) \text{tg} \delta]. \quad (7)$$

З метою виявлення впливу повертання геліопанелі за напрямками горизонту, введемо коефіцієнт теплонадходження геліопанелі, який дозволить кількісно оцінити зростання теплонадходження панелі за рахунок її повороту на кут ω відносно півдня:

$$k_{\omega} = \frac{E_{\omega}}{E_{\omega=0}}, \quad (8)$$

де E_{ω} – середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на повернену на деякий кут азимуту α панель при оптимальному куті нахилу $\beta_{\text{опт}}$ МДж/(м²·доба); $E_{\omega=0}$ – середньомісячна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на південно орієнтовану ($\omega = 0^{\circ}$) панель при оптимальному куті її нахилу $\beta_{\text{опт}}$ МДж/(м²·доба).

Використовуючи формули (1), (3) – (7), для кожного місяця року було виконано розрахунки середньомісячної фактичної добової сумарної кількості сонячної енергії залежно від кута нахилу геліопанелі β . Результати розрахунків наведені на рис. 3.

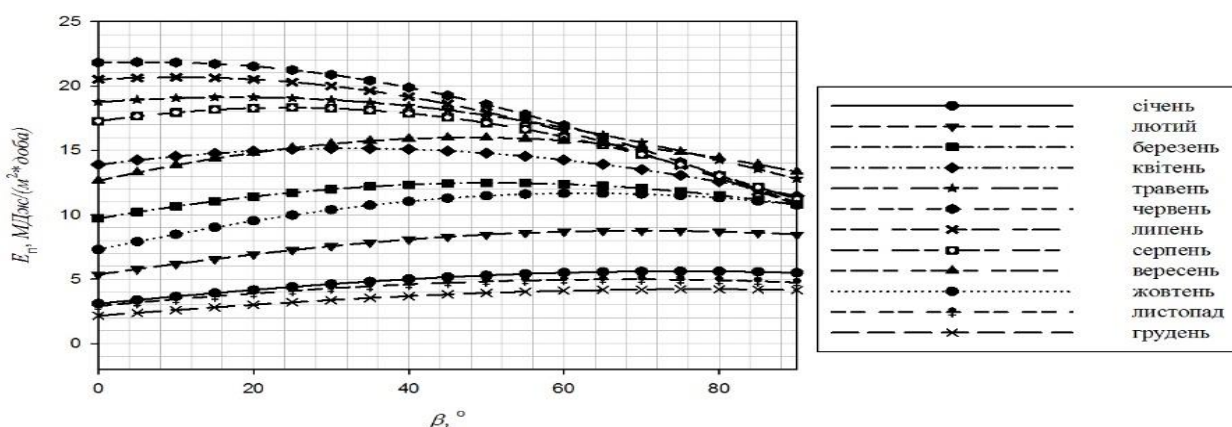


Рис. 3. Вплив кута нахилу геліопанелі до горизонту.

Як бачимо з рис. 3 для кожного місяця існує власний оптимальний кут нахилу геліопанелі, який змінюється від $\beta_{\text{опт}} = 5^{\circ}$ для червня до $\beta_{\text{опт}} = 75^{\circ}$ для січня. Отже, робимо висновок, що для кожного місяця протягом року необхідно встановлювати власний кут нахилу геліопанелі, який зменшується навесні та зростає восени.

Кількісна залежність кута β та відповідний йому максимум випромінюваної сонячної енергії для 50°47' пн. ш, що відповідає широті розміщення м. Суми, протягом року подані на рис. 4.

З метою оцінювання відносної величини теплонадходження геліопанелі за рахунок його повертання до горизонту відносно рекомендованого значення $\beta = 40^{\circ}$, використовуючи формули (1), (3) – (7), було виконано порівняльні розрахунки, результати яких наведені на рис. 5.

Як видно з рис. 5, найбільше покращення теплонадходження геліопанелі за рахунок зміни його орієнтації до горизонту спостерігається у найхолодніший та найтепліший місяці року.

Ефективність теплонадходження геліопанелі залежить від кута, утвореного напрямом сонячного променю та нормалі, яка виходить з площини геліопанелі. Цей кут при розрахунках оцінюють за формулою (2).

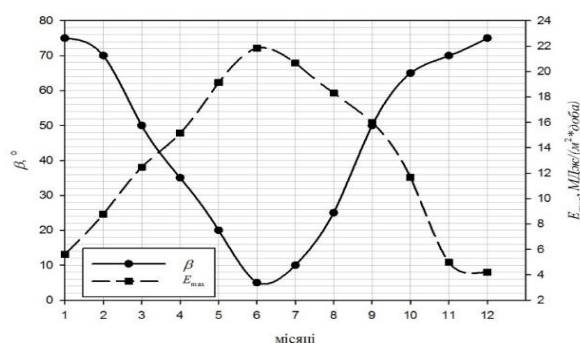


Рис. 4. Оптимальний кут нахилу геліопанелі до горизонту $\beta_{\text{опт}}$ та максимума випромінюваної сонячної енергії E_{max} для м. Суми.

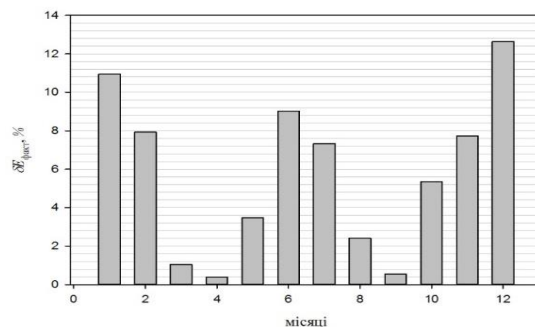


Рис. 5. Відносне зростання теплонадходження геліопанелі протягом року за рахунок його повертання до горизонту на оптимальний кут $\beta_{\text{опт}}$ порівняно з $\beta = 40^{\circ}$.

Найоптимальніший кут падіння сонячних променів буде коли ці напрями повністю співпадуть, тобто коли кут $i = 0^\circ$, що відповідає значенню $\cos i = 1$.

Використовуючи зазначені вище формули був виконаний варіантний розрахунок величини $\cos i$ для кожного місяця року та часу доби, починаючи зі сходу сонця, до його заходу для отриманих вище оптимальних значень кута нахилу панелі $\beta_{\text{опт}}$. Кут повороту ω варіантно обирався із діапазону $\omega \in [-180^\circ; 180^\circ]$. Причому кут $\omega = 0^\circ$ відповідав спрямуванню панелі на південь, а кути $\omega = -90^\circ$ – на схід, $\omega = 90^\circ$ – на захід.

У результаті розрахунку, використовуючи формулу (2), було отримано максимальні значення коефіцієнта $\cos i$ протягом доби для усіх місяців року (рис. 6).

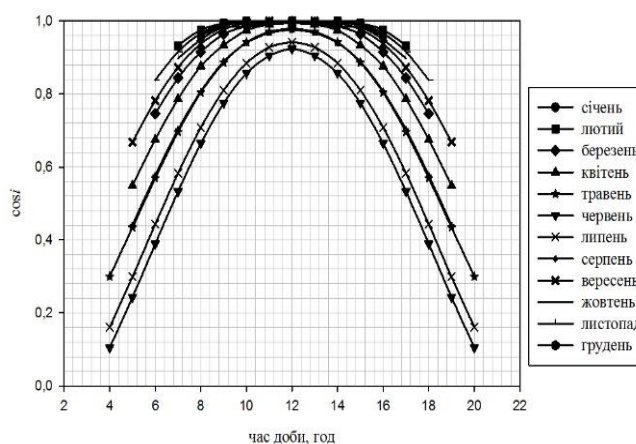


Рис. 6. Максимальні значення коефіцієнта $\cos i$ протягом доби для усіх місяців року.

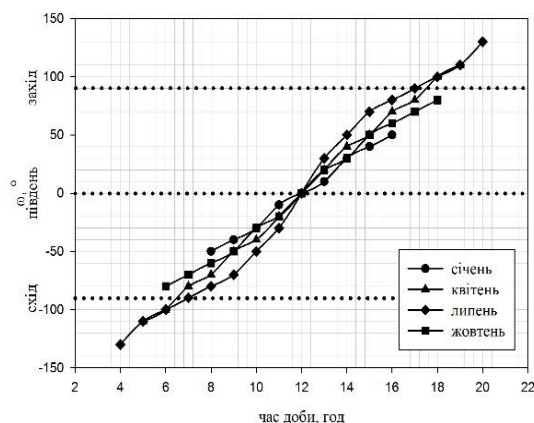


Рис. 7. Порівняльний вплив кута повороту геліопанелі відносно сторін горизонту для різних пір року.

Як бачимо з рис. 6, найкраще співпадіння напрямку сонячних променів та нормалі геліопанелі спостерігається взимку. Це можна пояснити низьким схиленням Сонця та короткою тривалістю світлового дня.

На рис. 7 можемо спостерігати динаміку зміни кута повороту геліопанелі відносно сторін горизонту для різних пір року: повертання геліопанелі протягом доби симетричне відносно полудня коли для всіх пір року геліопанель спрямовується на південь. Найбільша швидкість повертання геліопанелі, тобто зміна кута ω протягом доби спостерігається у літні місяці, а найменша – взимку.

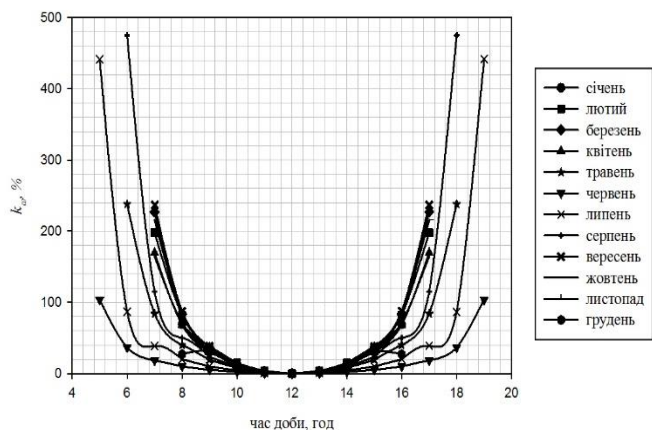


Рис. 8. Збільшення теплонадходження за рахунок повороту панелі відносно сторін горизонту протягом доби для всіх місяців року.

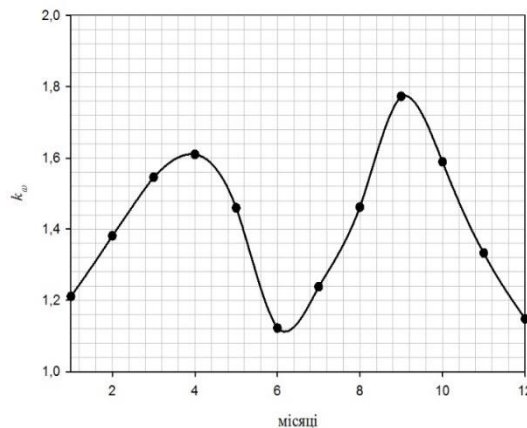


Рис. 9. Зміна середньомісячного коефіцієнта теплонадходження геліопанелі при її повороті відносно сторін горизонту за місяцями.

Аналізуючи результати розрахунків коефіцієнта теплонадходження k_w , які показані на рис. 8 та 9, можемо зробити висновки, що найбільше зростання теплонадходження від повороту панелі відносно сторін горизонту (до 4,5 разів) спостерігається вранці та ввечері особливо у літні місяці та найбільш ефективним є використання повороту панелі відносно сторін горизонту буде навесні та восени.

Висновки. Після виконання розрахункових досліджень за поданими у роботі залежностями було отримано такі основні результати:

1) для кожного місяця існує власний оптимальний кут нахилу геліопанелі, який змінюється від $\beta = 5^\circ$ для червня до $\beta = 75^\circ$ для січня;

2) найбільше покращення теплонадходження геліопанелі за рахунок зміни її орієнтації до горизонту спостерігається у січні та липні; найменший вплив кута β спостерігається у весняні та осінні місяці;

3) для всіх пір року, окрім зими, максимальний поворот геліопанелі у години сходу та заходу сонця перевищує 90° , тобто панель необхідно повернути не тільки на схід при сході сонця, але ще й частково на північ;

4) найбільша швидкість повороту геліопанелі відносно сторін горизонту спостерігається у літні місяці, найменша – взимку;

5) найбільший ефект від використання повороту панелі відносно сторін горизонту спостерігається навесні та восени (до 1,78 рази), вранці і увечері – до 4,5 разів;

6) завдяки повороту геліопанелі відносно сторін горизонту збільшується тривалість її роботи: у березні, квітні, липні, червні, серпні, вересні на 2 години (по годині ввечері та зранку), а у травні на 4 години (по дві години під час сходу та заходу сонця).

Отже, можемо зробити загальний висновок, що з метою збільшення загального теплонадходження геліопанелі протягом року необхідно динамічно змінювати її орієнтацію шляхом зміни нахилу та повороту за сторонами горизонту. Найбільший ефект досягається при повороті за сторонами горизонту.

Література

1. Thermotech. Солнечное теплоснабжение: техническое пособие. Киев: Thermotech Vostok, 2011. 26 с.
2. Vaillant. Проектирование гелиосистем. Киев: Vaillant, 2008. 35 с.
3. Viessmann. Книга о «Солнце». Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. Киев: Злато-Граф, 2010. 194 с.
4. Junkers. Гелиотермотехника. Тетрадь проектанта. Киев: Юнкерс, 2007. 204 с.
5. Дрексель Р., Гамисония Р. Сооружение солнечных коллекторов для горячей воды. Практическое руководство. Киев: WECF, 2010. 28 с.
6. Четошникова, Л. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2010. 69 с.
7. Харченко, Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991. 208 с.: ил.
8. Харченко Н.В., Никифоров В.А. Системы гелиотеплоснабжения и методика их расчета. Киев: Знание, 1987. 240 с.
9. Справочник по климату СССР. В 34-х вып. / Вып. 10. Украинская ССР. Ч. 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние / Под ред. В. И. Гришко, Л. И. Мисюра. Л.: Гидрометиздат, 1966. 124 с.

References

1. Thermotech. Solnechnoe teplosnabzhenie: tehlichesкое posobie. (2011). K.: Thermotech Vostok, 26.
2. Vaillant. Proektirovanie geliosistem. (2008). K.: Vaillant, 35.
3. Viessmann. Kniga o «Solnce». Rukovodstvo po proektirovaniju sistem solnechnogo teplosnabzhenija (2010). K.: Zlato-Graf, 194.
4. Junkers. Geliotermotekhnika. Tetrad' proektanta. (2007). K.: Junkers, 204.
5. Dreksel', R. Gamisonija R. (2010). Sooruzhenie solnechnyh kollektorov dlja gorjachej vody. Prakticheskoe rukovodstvo. K.: WECF, 28.
6. Chetoshnikova, L. M. (2010). Netradicionnye vozobnovljaemye istochniki jenerгии: uchebnoe posobie Cheljabinsk: JuUrGU, 69.
7. Harchenko, N. V. (1991). Individual'nye solnechnye ustanovki. M.: Jenergoatomizdat, 208.
8. Harchenko, N. V., Nikiforov V. A. (1987). Sistemy gelioteplosnabzhenija i metodika ih rascheta. K.: Znanie, 240.
9. Grishko V. I., Misjura L. I. (1966). Spravochnik po klimatu SSSR. V 34-h vyp. / Vyp. 10. Ukrainskaja SSR. Ch. 1. Solnechnaja radiacija, radiacionnyj balans i solnechnoe sijanie. L.: Gidrometioizdat, 124.