УДК 514.18

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КУТІВ НАХИЛУ ПЛОСКОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРУ ЗА УМОВИ ПОСЕЗОННОЇ ЗМІНИ КУТІВ НАХИЛУ

Зданевич В.А.,
vasyl.zdanevych@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9875-8463
Кундрат Т.М., к.т.н.,
kundratt@i.ua, ORCID: 0000-0001-9345-3161
Літніцький С.І., к.т.н.,
gavran88@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4962-7800
Пугачов Є.В., д.т.н.
evgenpugachov@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-4771-0942
Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне, Україна)

Розроблено спосіб визначення оптимальних кутів нахилу плоского сонячного колектору південної орієнтації до площини горизонту за умови посезонної (зима, весна, літо, осінь) зміни кута нахилу, зважаючи на вірогідності сонячного сяяння в районі будівництва.

Для кожного сезону року наведено криві залежності енергії, що потрапляє на 1 м кв. площини колектору південної орієнтації для міста Сарни, від кута нахилу колектору до площини горизонту в градусах, зважаючи на вірогідність сонячного сяяння. Також всі чотири криві зведено на одному рисунку, що дозволяє їх зручно зіставляти.

Статистична тривалість сонячного сяяння бралася за даними спостережень актинометричної станції в місті Сарни, представленими у вигляді поліному четвертої степені залежно від номера дня року, а максимальна розраховувалась в розробленій авторами програмі як сонячний час від сходу до заходу сонця в даний день року.

Відношення статистичної тривалості сонячного сяяння до максимальної (астрономічної) трактувалось як вірогідність сонячного сяяння в даний день року. Звісно, таке трактування є досить наближеним, оскільки насправді треба було б брати відношення статистичної тривалості сонячного сяяння над площиною колектора до максимальної (астрономічної) тривалості сонячного сяяння над площиною колектору. Та необхідних даних стосовно статистичної тривалості наразі немає.

Всі криві залежності енергії, що потрапляє на 1 м кв. площини колектору південної орієнтації, мають один добре виражений максимум, що дало змогу визначити його для кожного сезону, попередньо проінтерполювавши значення параболічними сплайнами, і, таким чином, визначити оптимальний кут нахилу колектора для даного сезону.

Спосіб можна використати (за наявності статистичних даних для

району будівництва) і для інших періодів року, наприклад, весна-літо-осінь, зважаючи на те, що в певних районах будівництва може тривалий час лежати сніг на площинах колекторів. Інші періоди року можуть бути використані також з міркувань, які не мають відношення до кліматичних умов, а пов'язаних, наприклад, з графіком споживання електроенергії.

Ключові слова: плоский сонячний колектор, астрономічна і статистична тривалість сонячного сяяння, вірогідність сонячного сяяння, оптимальний кут нахилу, інтегральний коефіцієнт прозорості атмосфери, розрахунковий період, орієнтація сонячного колектору, маса атмосфери.

Постановка проблеми. Кількість сонячної енергії, що потрапляє на один метр квадратний плоского сонячного колектору залежить, зокрема, від таких геометричних величин як його орієнтація та кут нахилу до площини горизонту. Окрім того, вона залежить від розрахункового періоду, вірогідності сонячного сяяння у розрахунковий період, широти місцевості та значення деяких фізичних величин на даний момент часу: відстані від Землі до Сонця, маси атмосфери, інтегрального коефіцієнту прозорості атмосфери.

Зазвичай колектори орієнтують на південь, що дозволяє отримати більше енергії у порівнянні з інакше орієнтованими колекторами з таким же кутом нахилу до площини горизонту. У відповідній літературі колектори, зорієнтовані на південь, часто рекомендують влаштовувати під кутом до площини горизонту, що дорівнює широті місцевості. Проте оптимальний кут нахилу суттєво залежить від обраного розрахункового періоду та вірогідності сонячного сяяння в цей період. Тому можливість зміни, наприклад, посезонної (чотири рази на рік) кута нахилу дозволяє отримати більше енергії порівняно з колектором оптимального кута нахилу, незмінного на протязі року.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] визначався оптимальний кут нахилу колектору до площини горизонту, але дуже спрощено: поза увагою залишилися змінна відстань від Землі до Сонця, маса атмосфери, змінний інтегральний коефіцієнт прозорості атмосфери та вірогідність сонячного сяяння. В роботі [2] визначалася астрономічна тривалість інсоляції похилої площини довільної орієнтації та кута нахилу, що було підґрунтям для визначення в роботі [3] можливого опромінення похилої площини на протязі року без урахування вірогідності сонячного сяяння. В роботі [4] інсоляція, опромінення похилої площини та оптимальний кут її нахилу залежно від її орієнтації вже визначалися, зважаючи на вірогідність сонячного сяяння для Києва за річний розрахунковий період В роботі [5] ті ж параметри за річний розрахунковий період визначались вже для міста Сарни, причому вірогідність сонячного сяяння визначалась іншим способом ніж в роботі [4]. Проте визначення оптимальних кутів нахилу для кожного сезону року в зазначених роботах не розглядалося.

Формулювання цілей статті. В роботі поставлено мету – розробити спосіб визначення для кожного сезону року оптимальних кутів нахилу площини сонячного колектору південної орієнтації за можливості його (кута) посезонної зміни на прикладі міста Сарни, зважаючи на вірогідність сонячного сяяння. В місті Сарни працює актинометрична станція, і, відповідно, є статистичні дані щодо тривалості сонячного сяяння.

Основна частина. Площина колектору була зорієнтована на південь. Для площини колектору кут її нахилу до площини горизонту змінювався від 0 до 90 градусів з кроком 10 градусів. Тривалість кожного сезону року приймалась: зима – з 1-го по 59-й та з 335-го по 365-й день року; весна – з 60-го по 151-й день року; літо – з 152-го по 243-й день року; осінь – з 244-го по 334-й день року.

За способом, викладеним в [4], у розробленій в середовищі MathCad програмі обчислювалась кількість енергії, що потрапляє за кожен день сезону року на один метр квадратний площини колектору заданого кута нахилу для міста Сарни (широта дорівнює 51.4 градуси), спочатку не зважаючи на вірогідність сонячного сяяння в цей день.

Вірогідність сонячного сяяння визначалась на даний день року як відношення статистичної тривалості сонячного сяяння в годинах до максимальної (астрономічної) тривалості сонячного сяяння на цей день року так, як це описано в роботі [5]. Статистична тривалість сонячного сяяння за даними актинометричної станції в Сарнах залежно від номера дня року описувалась поліномом 4-го порядку.

Далі енергія, що потрапляє на 1 м кв. колектора в даний день сезону, множилась на вірогідність сонячного сяяння в цей день – таким чином визначалась енергія, що потрапляє на 1 м кв. колектора в даний день сезону року, зважаючи на вірогідність сонячного сяяння. Після цього визначалась сума енергії, що потрапляє на 1 м кв. колектору за весь сезон року. Таким чином для кожного кута нахилу площини колектору була визначена сумарна кількість енергії, що потрапляє на 1 м кв. за даний сезон року, зважаючи на вірогідність сонячного сяяння, що дозволило побудувати відповідні графіки (рис. 1- 4), показані на рис. 5 разом для зручності їх зіставлення.

Як видно з рисунків, всі криві мають один добре виражений максимум. Для їх пошуку отримані дані були проінтерпольовані в середовищі MathCad сплайнами, зважаючи на форму на форму кривих – параболічними.

Для кожного графіку в середовищі MathCad за допомогою функції оптимізації були визначені оптимальні кути. Початкові значення кутів, необхідні для роботи функції оптимізації, визначались трасуванням графіків. В результаті виявилось, що для літнього сезону оптимальний кут нахилу колектору до площини горизонту становить 21,3 градуси, весняного – 36,13 градусів, осіннього – 57,68 градусів, зимового – 71, 69

градусів.

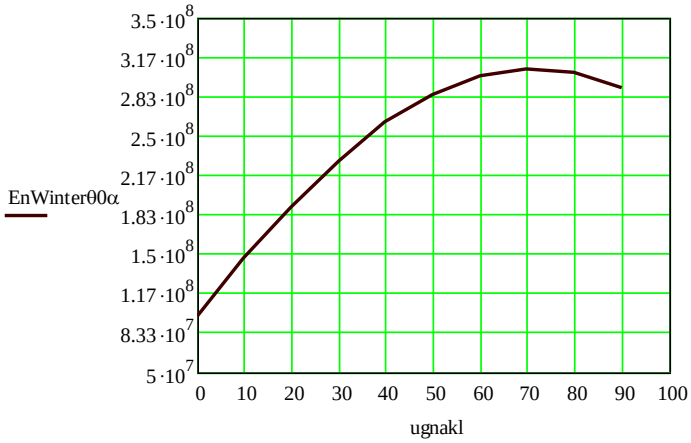

Рис. 1. Залежність кількості енергії, що потрапляє на 1 м кв. колектору південної орієнтації від кута його нахилу зимою

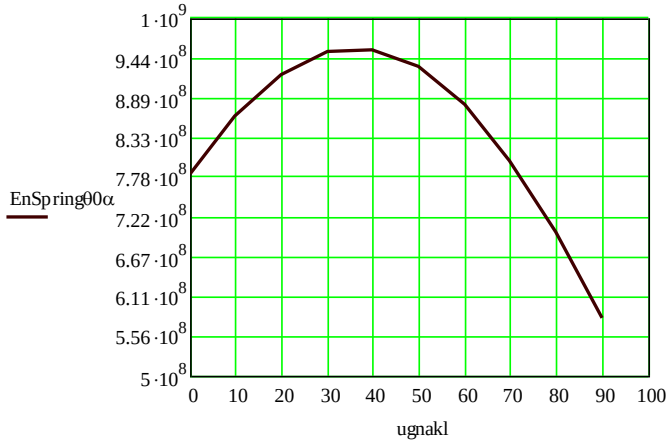

Рис. 2. Залежність кількості енергії, що потрапляє на 1 м кв. колектору південної орієнтації від кута його нахилу весною

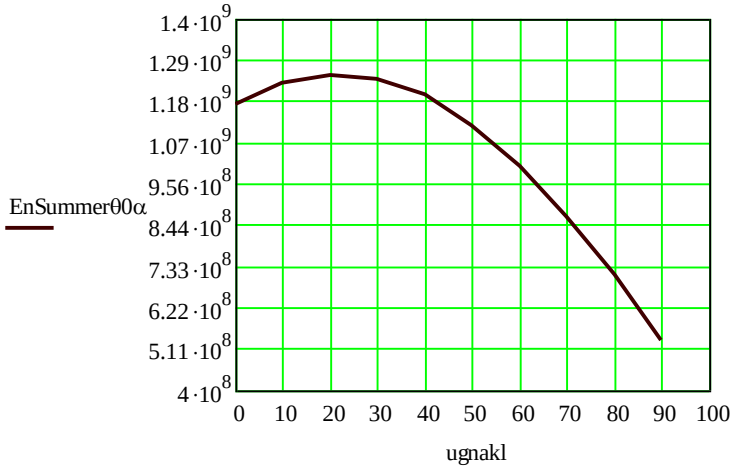

Рис. 3. Залежність кількості енергії, що потрапляє на 1 м кв. колектору південної орієнтації від кута його нахилу літом

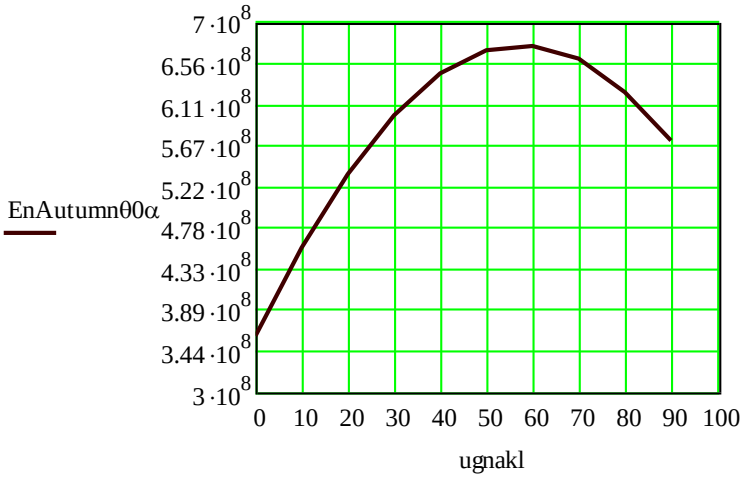

Рис. 4. Залежність кількості енергії, що потрапляє на 1 м кв. колектору південної орієнтації від кута його нахилу восени

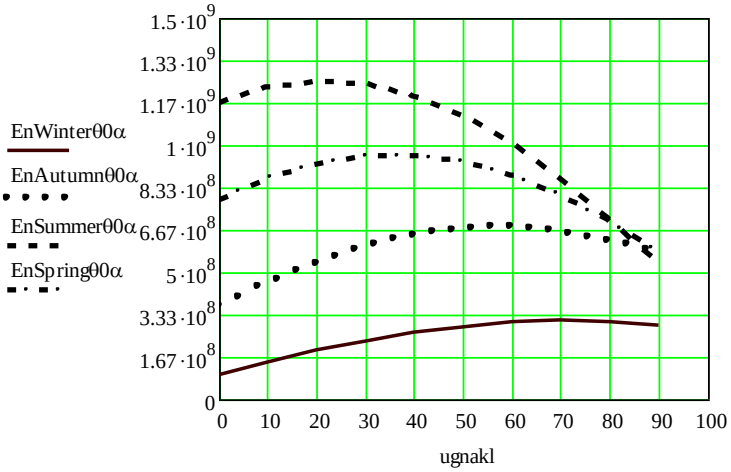

Рис. 5. Залежності кількості енергії, що потрапляє на 1 м кв. плоского колектору південної орієнтації від кута його нахилу для всіх чотирьох сезонів. Починаючи з верхньої кривої: літо, весна, осінь, зима

Висновки. Отримані в статті на прикладі міста Сарни результати підтверджують, що оптимальний кут нахилу колектору суттєво залежить від розрахункового періоду. Викладений метод визначення оптимальних кутів нахилу площини сонячного колектору за посезонної їх зміни надалі можна використати для інших періодів року, наприклад, для періоду весна-літо-осінь, або для інших міст України, для яких є статистичні дані щодо тривалості сонячного сяяння.

Література

1.Подгорный А.Л., Мартынов В.Л. Определение оптимального угла наклона плоскости солнечного коллектора при заданном азимуте. *Прикладная геометрия и инженерная графика. Технические науки.* Киев, 1992. Вып. 53. С. 8-12.

2. Пугачов Є.В. Моделювання річного ходу тривалості інсоляції похилої площини. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування*. Рівне: НУВГП, 2005. Вип. 3(31) С. 248 -255.
3. Пугачов Є.В. Моделювання можливого сонячного опромінення похилої площини. *Геометрич. та комп'ют. моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн: доповіді 2-гої Кримської наук.-практ. конференції,* Сімферополь-Новий Світ, 19-23 вер. 2005р. К.:КНУТД, 2005. С. 154 - 159.
4. Пугачов Є.В. Інсоляція та опромінення похилої площини з урахування імовірності сонячного сяяння. *Геометрич. та комп'ют. моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн: доповіді 3-гої Кримської наук.-практ. конференції,* Сіферополь-Алушта, 25-29 вер. 2006р. К.: КНУТД, 2006. Вип. 4 (30) С. 133 -137.
5.Зданевич В.А., Кундрат Т. М., Літніцькій С. І., Пугачов Є.В. Визначення оптимального кута нахилу плоского сонячного колектора залежно від його орієнтації та вірогідності сонячного сяяння. *Сучасні проблеми моделювання*. *Технічні науки.* Мелітополь, 2019. Вип. 16. С. 113 – 120.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УГЛОВ НАКЛОНА ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ПРИ УСЛОВИИ ПОСЕЗОННОГО ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА

Зданевич В.А., Кундрат Т.Н., Литницкий С.И., Пугачев Е.В.

Разработан способ определения оптимальных углов наклона плоского солнечного коллектора южной ориентации к плоскости горизонта при условии посезонного (зима, весна, лето, осень) изменения угла наклона, с учетом вероятности солнечного сияния в районе строительства. Для каждого сезона года приведены кривые зависимости энергии, поступающей на 1 м кв. плоскости коллектора южной ориентации для города Сарны, от угла наклона коллектора к плоскости горизонта в градусах, с учетом вероятности солнечного сияния. Также все четыре кривые сведены на один рисунок, что позволяет удобно их сопоставлять. Статистическая продолжительность солнечного сияния бралась по данным наблюдений актинометрической станции в городе Сарны, представленными в виде полинома четвертой степени в зависимости от номера дня года, а максимальная рассчитывалась в разработанной авторами программе как солнечное время от восхода до захода солнца в данный день года.

Отношение статистической продолжительности солнечного сияния к максимальной (астрономической) трактовалось как вероятность солнечного сияния в данный день года. Конечно, такая трактовка довольно приближенная, поскольку на самом деле нужно было

бы брать отношение статистической продолжительности солнечного сияния над плоскостью коллектора к максимальной (астрономической) продолжительности солнечного сияния над плоскостью коллектора. Но данных относительно статистической продолжительности сейчас нет.

Все кривые зависимости энергии, поступающей на 1 м кв. плоскости коллектора южной ориентации, имеют один хорошо выраженный максимум, что позволило определить его для каждого сезона, предварительно проинтерполировав значения параболическими сплайнами, и, таким образом, определить оптимальный угол наклона коллектора для данного сезона. Способ можно использовать (при наличии статистических данных для района строительства) и для других периодов года, например, весна-лето-осень, с учетом того, что в определенных районах строительства может длительное время лежать снег на плоскостях коллекторов. Другие периоды года могут быть использованы также из соображений, не имеющих отношения к климатическим условиям, а связанных, например, с графиком потребления электроэнергии

Ключевые слова: плоский солнечный коллектор, астрономическая и статистическая продолжительность солнечного сияния, вероятность солнечного сияния, оптимальный угол наклона, интегральный коэффициент прозрачности атмосферы, расчетный период, ориентация солнечного коллектора, масса атмосферы.

DEFINITION OF FLAT SOLAR COLLECTOR INCLINATION OPTIMUM ANGLES ON CONDITION OF SEASONAL CHANGE OF THE TILT ANGLE

Vasyl Zdanevych, Taras Kundrat, Sergey Litnitskyi, Eugene Pugachev

The way of definition of optimum angles of inclination of flat solar collector of the southern orientation to the horizon plane on condition of seasonal (winter, spring, summer, autumn) changes of tilt angle, taking into account sunshine probability around construction is developed. For every season of year curve dependences of the energy arriving on 1 m of the sq. plane of the collector of the southern orientation for the city of Sarny on collector tilt are brought to the horizon plane in degrees, taking into account sunshine probability. Also all four curves are reduced on one drawing that allows to compare conveniently them. The statistical duration of sunshine undertook according to observations of the actinometrical station in the city of Sarny, presented in the form of polynomial of the fourth degree depending on number of day of year, and maximum was calculated in the program developed by authors as solar time from rising till the sunset in this day of year.

The relation of statistical duration of sunshine to maximum

(astronomical) was treated as sunshine probability in this day of year. Of course, such treatment quite approximate as actually it would be necessary to take the relation of statistical duration of sunshine over the collector's plane to the maximum (astronomical) duration of sunshine over the collector's plane. But there are no data on statistical duration now.

All curve dependences of the energy arriving on 1 m of the sq. plane of the collector of the southern orientation have one well expressed maximum that has allowed to define it for every season, previously having interpolated values parabolic splines, and, thus, to define optimum angle of inclination of the collector for this season. The method can be used (if statistics are available for the construction area) for other periods of the year, for example, spring-summer-autumn, given that in certain areas of construction snow may lie on the collector planes for a long time. Other periods of the year may also be used for not climate-related reasons, such as electricity schedules.

Keywords: flat solar collector, astronomical and statistical duration of insolation, the probability of sunshine, optimum tilt angle, integral atmospheric transparency coefficient, orientation of the solar collector, mass of atmosphere.

References

1. Podgornyy, A.L. Martynov, V.L. (1992) *Determining the optimal angle of the plane of the solar collector at a given azimuth. Prikladnaya geometriya i inzhenernaya grafika*. Kiyev: Budivel’nik, 53. 8-12 [in Russian].
2. Puhachov, Ye. V. (2005). *Modeling the annual course of the insolation duration of the sleet plane. Visnyk natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya*. Rivne: NUVHP. 3(31) 248 -255 [in Ukrainian].
3. Puhachov YE. V. (2005) Modeling of possible solar irradiation of the sloe plane. Heometrych. ta komp″yut. modelyuvannya: enerhozberezhennya, ekolohiya, dyzayn: dopovidi 2-hoyi Kryms′koyi nauk.-prakt. konferentsiyi, Siferopol′-Novyy Svit, 19-23 ver. 154 -159 [in Ukrainian].
4. Puhachov, YE. V. (2006) Insolation and irradiation of the sleet plane taking into account the probability of sunshine. Heometrych. ta komp″yut. modelyuvannya: enerhozberezhennya, ekolohiya, dyzayn: dopovidi 3-hoyi Kryms′koyi nauk.-prakt. konferentsiyi, Siferopol′-Alushta, 25-29 ver., 4 (30) 133 -137 [in Ukrainian].
5. Zdanevych, V.A., Kundrat, T.M., Litnits′kiy, S., Puhachov, YE.V., (2019) Determination of the optimal angle of inclination of the flat solar collector depending on its orientation and probability of sunshine. *Suchasni problemy modelyuvannya*. 16, 113 – 120 [in Ukrainian].