УДК 514.18

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КУТА НАХИЛУ ПЛОСКОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЙОГО ОРІЄНТАЦІЇ ТА ВІРОГІДНОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЯННЯ

Зданевич В.А.,
Кундрат Т.М., к.т.н.,
Літніцький С.І., к.т.н.,
Пугачов Є.В., д.т.н.
Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне, Україна)

Розроблено спосіб визначення оптимального кута нахилу плоского сонячного колектору до площини горизонту залежно від його орієнтації та вірогідності сонячного сяяння в районі будівництва.

Наведено криві максимальної (астрономічної) і статистичної тривалості сонячного сяяння в годинах для міста Сарни Рівненської області залежно від номера дня року, а також – крива вірогідності сонячного сяяння залежно від дня року, яка обчислювалась як відношення статистичної тривалості сонячного сяяння до максимальної.

Статистична тривалість сонячного сяяння бралася за даними спостережень актинометричної станції в місті Сарни, а максимальна розраховувалась в розробленій авторами програмі.

Також наведено поверхню надходження сонячної радіації на один метр квадратний залежно від орієнтації та кута нахилу площини сонячного колектору до площини горизонту, форма якої хоча і дає наочне уявлення про цю залежність, проте є незручною у практичному користуванні.

Сама поверхня сформована з кривих залежності надходження енергії на один метр квадратний площини колектору від кута його нахилу до площини горизонту, розрахованих для десяти орієнтацій колектору: від орієнтації на південь до орієнтації на схід (через десять градусів).

Всі криві мають один максимум, що дало змогу побудувати криву залежності оптимального кута нахилу колектору до площини горизонту від його орієнтації.

Для порівняння наведено аналогічну криву, але побудовану без урахування імовірності сонячного сяяння, яка ілюструє суттєву залежність оптимального кута нахилу від імовірності сонячного сяяння (оптимальними будуть значно більші кути нахилу).

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 на мають відношення до кліматичних умов, а пов'язані, наприклад, з графіком споживання електроенергії.

Ключові слова: плоский сонячний колектор, астрономічна і статистична тривалість інсоляції, 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, проте часто їх орієнтація обумовлена орієнтацією конструкції (наприклад даху), на якій їх монтують. У відповідній літературі колектори, зорієнтовані на південь, часто рекомендують влаштовувати під кутом до площини горизонту, що дорівнює широті місцевості. А для іншої орієнтації зменшувати цей кут приблизно на 5-ть градусів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. 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 [3] визначалася астрономічна тривалість інсоляції похилої площини довільної орієнтації та кута нахилу, що було підґрунтям для визначення в роботі [2] можливого (тобто без врахування імовірності сонячного сяяння) опромінення похилої площини на протязі року. В роботі [4] інсоляція та опромінення похилої площини вже визначалися, зважаючи на імовірність сонячного сяяння, проте не розглядалося моделювання оптимального кута нахилу площини сонячного колектору залежно від її орієнтації.

Формулювання цілей статті. В роботі поставлено мету – розробити спосіб визначення оптимального кута нахилу площини сонячного колектору залежно від його орієнтації і показати цю

залежність на прикладі міста Сарни, в якому працює актинометрична станція, і, відповідно, є статистичні дані щодо тривалості сонячного сяяння.

Основна частина. Орієнтація площини колектору задавалась в межах від 0 до 90 градусів (відраховувалася від напряму на південь до напряму на схід) з кроком 10 градусів. Для площини заданої орієнтації кут її нахилу до площини горизонту змінювався від 0 до 90 градусів теж з кроком 10 градусів. За способом, викладеним в [4], у розробленій в середовищі MathCad програмі обчислювалась кількість енергії, що потрапляє за кожен день року на один метр квадратний площини колектору 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. Остання визначалась за часом сходу і заходу Сонця над площиною колектору способом, описаним в [3], реалізованим в середовищі MathCad. На рис. 1 показані криві статистичної тривалості сонячного сяяння (нижня) і максимальної тривалості (верхня) за рік. А на рис. 2 – відношення цих величин залежно від дня року.

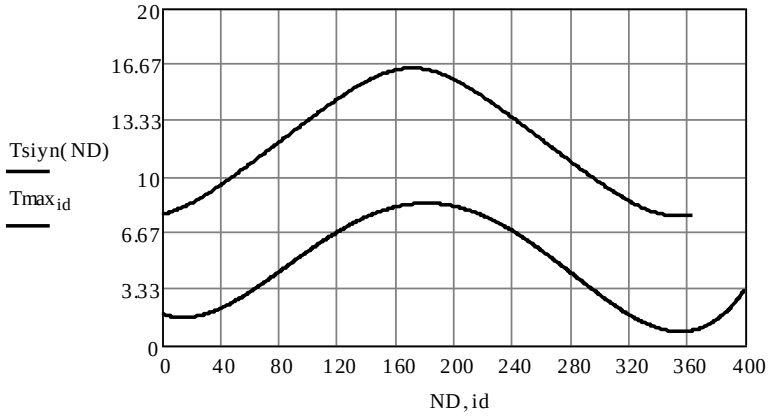

Рис. 1. Максимальна і статистична тривалість сонячного сяяння залежно від дня року, год

Обчислена кількість енергії множилася на вірогідність сонячного сяяння і таким чином визначалась кількість енергії, що потрапляє площину колектору за день. Наприклад, на рис. 3 показаний річний графік надходження сонячної енергії на один метр квадратний площини сонячного колектору південної орієнтації, нахиленого до площини горизонту під кутом 39 градусів.

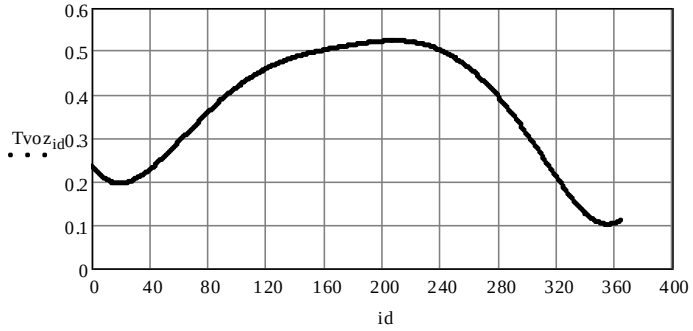

Рис. 2. Вірогідність сонячного сяяння (відношення статистичної тривалості сонячного сяяння до максимальної) залежно від дня року

Потім визначалася сума енергії, що потрапляє на один метр квадратний за рік, для колектору даної орієнтації та кута нахилу. Таким чином, для кожного колектору даної орієнтації були отримані десять значень кількості енергії для десяти значень кута його нахилу до площини горизонту, що дозволило побудувати відповідну поверхню (рис. 4).

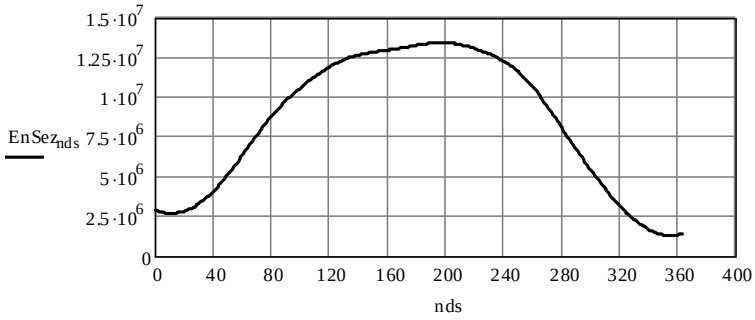

Рис. 3. Річний графік надходження енергії на один метр квадратний колектору південної орієнтації нахиленого під кутом 39 градусів до площини горизонту в місті Сарни

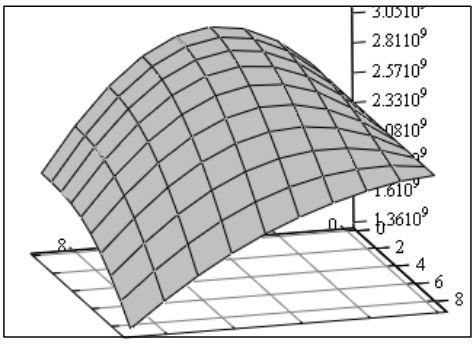

Рис. 4. Поверхня надходження енергії на один метр квадратний залежно від орієнтації та кута нахилу площини сонячного колектору

За отриманими даними, проінтерпольованими кубічними сплайнами в середовищі MathCad, будувалися графіки (рис. 5)

залежності кількості енергії, що потрапляє за рік на один метр квадратний площини колектору даної орієнтації, від кута його нахилу до площини горизонту.

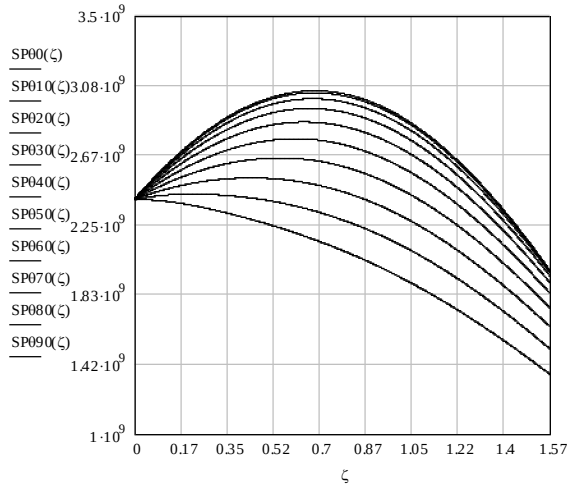

Рис. 5. Криві залежності надходження енергії на один метр квадратний площини колектору від кута (рад) його нахилу до площини горизонту: верхня крива – орієнтація на південь, нижня – на схід

На кожній кривій в середовищі MathCad визначалось значення кута нахилу колектору даної орієнтації, що відповідає максимальній кількості енергії. За цими даними побудовано графік (рис. 6, нижня крива).

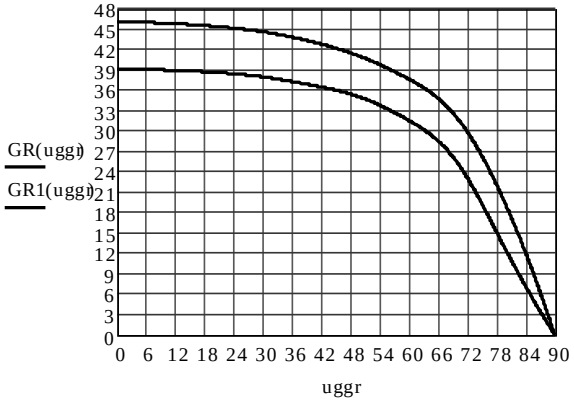

Рис. 6. Оптимальний кут нахилу колектору (градуси) для міста Сарни залежно від його орієнтації (градуси): вертикальна вісь – кут нахилу, горизонтальна – орієнтація

З графіка випливає, що за орієнтації колектору на південь оптимальним є кут нахилу приблизно 39 градусів, а за орієнтації на схід (або захід) оптимальним є нульовий кут нахилу. Верхня крива на рис. 6 відповідає аналогічним розрахункам, але без урахування імовірності сонячного сяяння. Вона, власне, показує, що імовірність

сонячного сяяння суттєво впливає на оптимальний кут нахилу сонячного колектору.

Висновки. В статті на прикладі міста Сарни викладено метод визначення оптимального кута нахилу сонячного колектору залежно від його орієнтації. Надалі можна моделювати згадану залежність 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. Киевский инженерно-строительный институт.* Вып. 53. Киев: Будівельник, 1992. С. 8-12.
2. Пугачов Є. В. Моделювання можливого сонячного опромінення похилої площини. *Зб. наукових праць Київського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск): 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.
3. Пугачов Є. В. Моделювання річного ходу тривалості інсоляції похилої площини. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування.* Вип. 3(31) Рівне: НУВГП, 2005. С. 248 -255.
4. Пугачов Є. В. Інсоляція та опромінення похилої площини з урахування імовірності сонячного сяяння. *Зб. наукових праць Київського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск): геометрич. та комп'ют. моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн: доповіді 3-гої Кримської наук.-практ. конференції.* Сімферополь-Алушта, 25-29 вер. 2006 р. К.:КНУТД, 2006. Вип. 4 (30). С. 133 -137.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО ОРИЕНТАЦИИ И ВЕРОЯТНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

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

Разработан способ определения оптимального угла наклона плоского солнечного коллектора к плоскости горизонта в зависимости от его ориентации и вероятности солнечного сияния в районе строительства.

Приведены кривые максимальной (астрономической) и статистической длительности солнечного сияния в часах для города Сарны Ровенской области в зависимости от номера дня года, а также – кривая вероятности солнечного сияния в зависимости от дня года, которая вычислялась как отношение статистической длительности солнечного сияния к максимальной.

Статистическая длительность солнечного сияния бралась по данным наблюдений актинометрической станции в городе Сарны, а максимальная рассчитывалась в разработанной авторами программе. Также приведена поверхность поступления солнечной радиации на один метр квадратный в зависимости от ориентации и угла наклона плоскости солнечного коллектора к плоскости горизонта, форма которой хотя и дает наглядное представление об этой зависимости, однако является неудобной в практическом пользовании.

Сама поверхность сформирована из кривых зависимости поступления энергии на один метр квадратный плоскости коллектора от угла его наклона к плоскости горизонта, рассчитанных для десяти ориентаций коллектора: от ориентации на юг к ориентации на восток (через десять градусов).

Все кривые имеют один максимум, что дало возможность построить кривую зависимости оптимального угла наклона коллектора к плоскости горизонта от его ориентации.

Для сравнения приведена аналогичная кривая, но построенная без учета вероятности солнечного сияния, которая иллюстрирует существенную зависимость оптимального угла наклона от вероятности солнечного сияния (оптимальными будут значительно большие углов наклона).

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 связанные, например, с графиком потребления электроэнергии

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

DEFINITION OF OPTIMUM ANGLE OF INCLINATION OF SOLAR COLLECTOR DEPENDING ON ITS ORIENTATION AND PROBABILITY OF SUNSHINE

Zdanevych V., Kundrat T., Litnitskyi S., Pugachev E.

A method of determining the optimum angle of inclination of a flat solar collector to the plane of the horizon, depending on its orientation and the probability of sunshine in the area of construction, is developed.

The curves of maximum (astronomical) and statistical duration of sunshine in hours for Sarny city of Rivne region are given. These curves depend on the number of the year day. The probability of sunshine is also shown depending on the day of the year. This curve was calculated as the ratio of the statistical sunshine duration to the maximum.

The statistical duration of sunshine was taken from the observations of an actinometric station in Sarny city and the maximum duration was calculated in the program developed by the authors.

Also there is surface of incoming solar radiation in one square meter depending on the orientation and angle of inclination of the plane of the solar collector to the plane of the horizon. The shape of this surface gives a clear idea of this dependence, but is inconvenient for practical use.

The surface itself is formed from curves of dependence of energy supply on one meter square of the collector plane from the angle of its inclination to the plane of the horizon. These curves were calculated for ten collector orientations. The orientation varied from south to east in ten degree increments.

All curves have one maximum. This made it possible to build the optimal curve collector angle to the plane of the horizon from its orientation.

For comparison, a similar curve was shown. But it was built without taking into account the probability of sunshine. This curve illustrates the substantial dependence of optimal angle of the probability of sunshine (optimally be much greater angles).

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 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.