

УДК 620.92:697.1
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-8-18-27

ПРИМЕНЕНИЕ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ ЗДАНИЙ

В.В. Кириллов, З.Д. Сейдакматова, Э.А. Темирбеков

Аннотация. Дано определение пассивным элементам систем солнечного горячего водо- и теплоснабжения и целесообразность их применения. Описан принцип работы пассивной системы гелиоустановки для теплоснабжения и отопления в районах с относительно большой продолжительностью солнечного сияния, чем обладает Кыргызская Республика (число солнечного сияния достигает 270–280 дней). Гелиоустановки для горячего водоснабжения могут проектироваться практически для любого района КР. Целесообразность применения гелиосистем и выбор их мощности определяются технико-экономическими расчетами. Рассмотрена схема работы стены Мишеля Тромба в различных режимах функционирования. Приведена методика практических расчётов пассивных солнечных элементов.

Ключевые слова: параметры солнечной радиации; солнечная активность; часовой угол солнца; пассивная система; тепловой аккумулятор; пассивные преобразователи.

ИМАРАТТАРДЫ ЖЫЛУУЛУК МЕНЕН КАМСЫЗДОДО ПАССИВДҮҮ КҮН ЭНЕРГИЯСЫН КОЛДОНУУ

В.В. Кириллов, З.Д. Сейдакматова, Э.А. Темирбеков

Аннотация. Күн энергиясы аркылуу ысык суу жана жылуулук менен камсыздоо системаларынын пассивдүү элементтерине аныктама берилген жана аларды пайдалануунун максатка ылайыктуулугу көрсөтүлгөн. Кыргыз Республикасына (күн нурунун узактыгы 270-280 күнгө жетет) караганда күн нурунун узактыгы салыштырмалуу көп болгон райондордо жылуулук менен камсыздоо жана жылытуу үчүн гелий орнотмосунун пассивдүү системасынын иштөө принциби сүрөттөлгөн. Ысык суу менен камсыз кылуу үчүн гелий орнотмолору Кыргыз Республикасынын дээрлик бардык аймактары үчүн долбоорлонушу мүмкүн. Гелий системаларын колдонуунун максатка ылайыктуулугу жана алардын кубаттуулугун тандоо техникалык-экономикалык эсептөөлөр менен аныкталат. Мишель Тромбдун дубалынын иштөө схемасы ар кандай иштөө режимдеринде каралат. Пассивдүү күн элементтеринин практикалык эсептөөлөрүнүн методикасы келтирилген.

Түйүндүү сөздөр: күн радиациясынын параметрлери; күн активдүүлүгү; күндүн саат бурчу; пассивдүү система; жылуулук аккумулятору; пассивдүү өзгөрткүчтөр.

APPLICATION OF PASSIVE SOLAR ENERGY SYSTEM IN HEAT SUPPLY OF BUILDINGS

V.V. Kirillov, Z.D. Seydakmatova, E.A. Temirbekov

Abstract. The definition of passive elements is given to solar hot water systems, and heat supply their meaning. The article contains the feasibility of using a passive solar energy system in the heat supply of buildings, the use of passive elements and building structures, as well as the principle of operation of a passive solar installation system for heat supply and heating systems, it is advisable to use in areas with a relatively long duration of sunshine than The Kyrgyz Republic has it (the number of sunshine reaches 270–280 days). Solar installations for hot water supply can be designed for almost any area of the Kyrgyz Republic. The final feasibility of using solar systems and the choice of their capacity are determined by the technical and economic calculation. The scheme of operation of the Michel Tromb wall in various modes of operation is considered and shown in the figures. In conclusion, the method of practical calculations of passive solar cells is presented.

Keywords: solar radiation parameters; solar activity; the hour angle of the sun; passive system; thermal accumulator; passive converters.

Положения о пассивных системах. Пассивными гелиотехническими системами (гелиоустановками) принято называть комплекс технических средств, предназначенных для отопления, горячего водоснабжения или кондиционирования воздуха с использованием энергии солнечного излучения.

Основными элементами гелиотехнических систем являются: гелио-приемник, аккумулятор тепла, насосы, система распределительных трубопроводов, дублирующие источники тепла и собственно внутренние санитарно-технические системы.

По технологии использования солнечного излучения гелиотехнические системы условно подразделяются на активные и пассивные. В активных системах тепло от гелио-приемников отводится теплоносителем (вода, воздух, антифризы). В пассивных – предусматриваются специальные наружные ограждения зданий для естественного приема, передачи и аккумулялирования тепла.

Под системами пассивного солнечного теплового обеспечения подразумеваются такие системы, в которых поглощение и аккумулялирование тепла осуществляется самими строительными элементами здания, а распределение тепла в отапливаемом объекте в основном происходит естественным путем. Принципиальная схема пассивной системы гелио-отопления и некоторые конструктивные решения пассивных систем показаны на рисунке 1. Они приведены по мере их увеличения, масштабного использования и эффективности.

Схема вентиляции здания происходит следующим образом:

- в утренние часы тепло поступает в помещения непосредственно через воздушные каналы;
- помещения, примыкающие к стене-теплоприемнику, получают избыточное тепло; возникает необходимость обеспечить доставку тепла в другие помещения;
- при превышении средней расчетной температуры внутреннего воздуха в здании часть тепла отбирается от теплоприемника, и через гравийный аккумулятор подается внутрь помещений; после захода Солнца воздушные каналы стены теплоприемника перекрываются;
- вентиляция осуществляется по рециркуляционной схеме через гравийный аккумулятор;
- после истощения ресурса аккумулятора включается вспомогательный нагреватель-калорифер [1].

Для более эффективной работы пассивной системы применяются аккумуляторы, один из которых с различным типом теплоаккумулирующего вещества (ТАВ) и расположения в конструкции здания, показан на рисунке 2. В качестве ТАВ в пассивной системе использование гравия наиболее эффективно.

Гравийный тепловой аккумулятор поглощает и сохраняет теплоту с помощью гальки средней величины, находящейся в теплоизолированном контейнере. Когда светит Солнце, сквозь аккумулялирующую среду проходит горячий воздух. Главным недостатком этой системы является большой объем гальки, необходимый для эффективного обогрева [1].

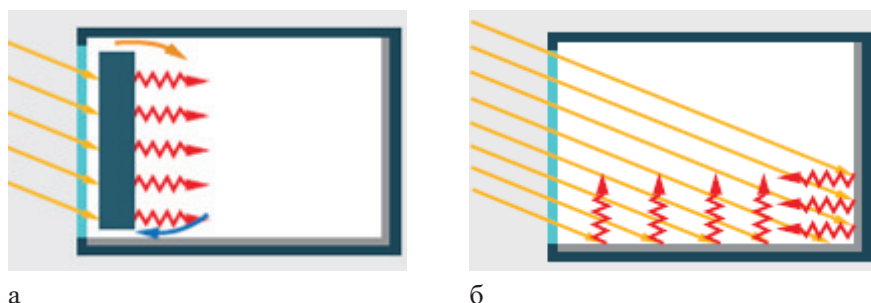


Рисунок 1 – Пассивные системы использования солнечной энергии:
а – система со стеной Мишеля Тромба; б – система с солнечной теплицей

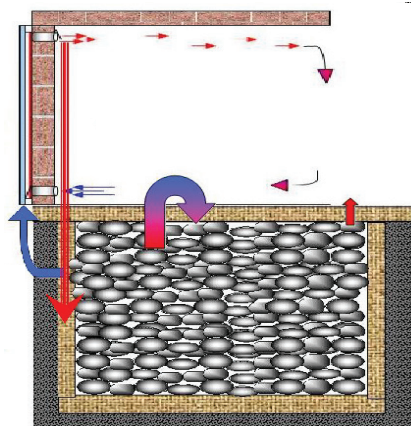


Рисунок 2 – Пассивная система теплоснабжения с галечным аккумулятором

По мере увеличения температуры наружного воздуха, теплотери здания будут уменьшаться и доля тепловой нагрузки, покрываемой за счет пассивной гелиосистемы, увеличится. Гравийный аккумулятор может использоваться в летнее время как воздухоохладитель, при этом в ночные часы производится забор прохладного наружного воздуха, который, пройдя фильтрацию через зернистый слой, поступает внутрь здания; в дневное время наружный воздух подается внутрь здания через аккумулятор.

Выбор гелиосистемы производится с учетом ее функционального назначения, режима и условий работы [2]. Для систем, эксплуатируемых в период без заморозков, при удовлетворительном качестве воды целесообразно использовать одноконтурные схемы гелиоустановок с естественной циркуляцией, а при невозможности ее осуществления, используются одноконтурные с естественной циркуляцией (рисунок 3). При необходимости в бак-аккумулятор может встраиваться электрический нагреватель-дублер [3]. В случае понижения температуры в баке-аккумуляторе ниже установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой), нагреватель-дублер автоматически включается и догревает воду до заданной температуры.

Одноконтурные системы могут быть с естественной или принудительной циркуляцией (рисунок 3).

В случае неудовлетворительного качества воды следует применять двухконтурные схемы, где в первом контуре при отсутствии заморозков используется деаэрированная вода, а при эксплуатации в период с отрицательными температурами – антифризы или вода (рисунок 4).

Для зданий малой этажности можно использовать воздушные или жидкостные автономные системы гелиоотопления с комплексными установками, в состав которых входят активные и пассивные гелиосистемы.

Пассивные системы солнечного отопления с остекленной южной теплоаккумулирующей стеной достаточно эффективны [3]. Проникающее через одно- или двухслойное остекление солнечное излучение поглощается поверхностью стены, покрашенной темной матовой краской, и аккумулируется ее массой. Аккумулированная стеной теплота передается внутрь помещений. КПД этой системы достигает 35 %. Целесообразна конструкция стены с отверстиями внизу и вверху для циркуляции воздуха. Движение воздуха регулируется поворотными заслонками. Для усиления циркуляции воздуха может использоваться вентилятор. У стены могут быть установлены одна над другой бочки с водой, что увеличивает аккумуляцию теплоты.

Схема работы стены Мишеля Тромба в различных режимах функционирования показана на рисунке 5.

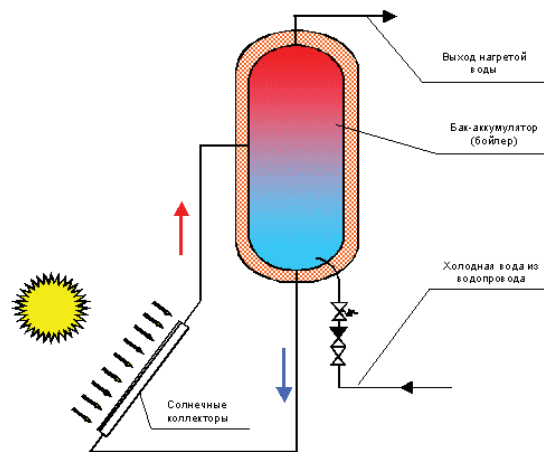


Рисунок 3 – Одноконтурные солнечные системы с естественной циркуляцией

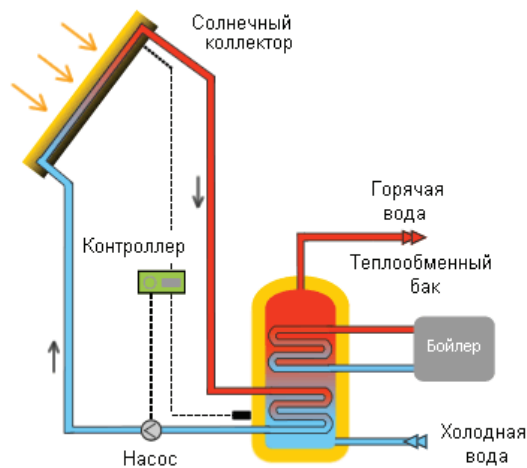


Рисунок 4 – Схема с принудительной циркуляцией



Рисунок 5 – Пассивная система солнечного тепло- и хладокондиционирования жилого здания: а – днём; б – вечером, ночью и в пасмурные дни. 1 – непрозрачная затеняющая шторка; 2 – верхняя заслонка, обеспечивающая заданный режим теплоснабжения; 3 – светопроницающая стенка (стекло); 4 – воздушно циркулирующая камера; 5 – массивная непрозрачная стена; 6 – нижняя воздушная заслонка

Для зданий малой этажности могут использоваться пассивные системы с тепловыми аккумуляторами, которые в летний период служат также для охлаждения внутреннего воздуха [1].

Расчеты гелиосистем бывают конструктивными и поверочными. При конструктивном расчете по заданной тепловой нагрузке и температурам нагреваемого теплоносителя находятся конструктивные характеристики системы. Поверочный расчет выполняется для определения выработки тепла за интересующий период работы установки по заданным конструктивным размерам. Этот вид расчета является основным для технико-экономической оценки вариантов гелиосистем путем вычисления значенных показателей при различных площадях гелиоприемников и характеристиках других элементов.

Исходными данными для расчета гелиосистем служат: географический район строительства, данные о климате, тепловая мощность системы, температура теплоносителей, тип гелиоприемника и отопительных приборов, принципиальная схема установки. При проектировании гелиотехнических систем следует исходить из комплексного решения вопроса минимизации материальных, трудовых и топливных затрат на теплоснабжение, отопление или кондиционирование воздуха при одновременном соблюдении условий функционирования объекта с заданной степенью обеспеченности теплового режима [4].

Гелиоустановки для систем теплоснабжения и отопления целесообразно использовать в районах с относительно большой продолжительностью солнечного сияния, чем обладает Кыргызская Республика (число солнечного сияния достигает 270–280 дней). Гелиоустановки для горячего водоснабжения могут проектироваться практически для любого района КР. Окончательная целесообразность применения гелиосистем и выбор их мощности определяются технико-экономическим расчетом [4].

Расчёт параметров солнечной радиации. Солнечная радиация, падающая на поверхность земли в любой момент времени, подразделяется на прямую, диффузную и отраженную от окружающих предметов. Плотность составляющих радиации зависит от угла наклона теплоприемника к горизонту, характера окружающих предметов, широты местности, облачности и др.

Прямым излучением (или радиацией) называется излучение, поступающее от Солнца, без изменения направления. Диффузным (или рассеянным) называется излучение, поступающее от Солнца, после изменения его направления вследствие отражения и рассеивания атмосферой.

Часовая суммарная солнечная радиация на плоскость, произвольно ориентированную к поверхности земли, определяется по формуле:

$$Q_{\text{пад}} = SR_b + D \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) + S \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right) \frac{As}{100} + D \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2} \right) \times \frac{A_D}{100}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пад}}$ – поток суммарной солнечной радиации на наклонную плоскость, ккал/ч·м²; S – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность, ккал/ч·м²; D – диффузная солнечная радиация на горизонтальную плоскость, ккал/ч·м²; α – угол наклона тепловоспринимающей поверхности, град; As – альbedo подстилающей поверхности для прямой радиации, %; A_D – альbedo подстилающей поверхности для диффузной радиации, %; R_b – коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной на наклонную поверхность. Коэффициент пересчета вычисляется по зависимости:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}, \quad (2)$$

где $\cos \theta$ – косинус угла между направлением прямой солнечной радиации и нормалью к наклонной плоскости; $\cos \theta_z$ – косинус зенитного угла, т. е. угла между направлением на Солнце и вертикалью к поверхности Земли. Косинус угла падения прямого солнечного излучения можно записать в следующем виде:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega, \quad (3)$$

где ϕ – широта местности (положительная для северного полушария), град.; α – угол наклона поверхности, град.; γ – азимутальный угол плоскости, град.; ω – часовой угол, град.; θ – угол падения прямого солнечного излучения, град.; δ – склонение, град.

Азимутальный угол плоскости γ – отклонение нормали к плоскости от местного меридиана. За начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается положительным, к западу – отрицательным. Часовой угол ω равен нулю в солнечный полдень. Каждый час соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными, а после полудня – отрицательными (например, $\omega = +15^\circ$ в 11.00 и $\omega = -37,5^\circ$ в 14.30). Угол падения θ прямого солнечного излучения измеряется между направлением излучения и нормалью к поверхности. Склонение δ – это угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора (положительное для северного полушария).

Склонение δ определяется по зависимости:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right), \quad (4)$$

где n – порядковый номер дня года, начиная с 1-го января.

Косинус зенитного угла θ_z можно получить по формуле:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega. \quad (5)$$

При расчете суммарного радиационного потока Q , доля отраженной радиации в значительной степени зависит от альbedo подстилающей поверхности и окружающих предметов. При этом альbedo для прямой солнечной радиации A_s изменяется в течение дня на $\pm 20\%$, а альbedo для диффузной радиации остается примерно постоянным.

Прохождение радиационного потока через прозрачное покрытие теплоприемника зависит от отражательной и поглощательной способности светопрозрачной защиты и поглощательной способности поверхности теплоприемника.

Отражательная способность прозрачного покрытия для неполяризованного излучения при переходе из воздуха с показателем преломления n_1 в стекло может быть рассчитана по формуле:

$$S = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{tg}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tg}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right), \quad (6)$$

где θ_1 и θ_2 – углы падения и преломления, град.

Углы θ_1 и θ_2 связаны с показателями преломления законом:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}. \quad (7)$$

Показатель преломления воздуха равен единице, показатель преломления стекла 1,526. При известном угле падения θ_1 угол преломления θ_2 может быть определен на основании формулы (7):

$$\theta_2 = \arcsin \left(\frac{\sin 60^\circ}{1,526} \right). \quad (8)$$

Пропускательная способность одного покрытия без учета поглощения:

$$K_\rho = \frac{1 - \rho}{1 + \rho}, \quad (9)$$

где ρ – отражательная способность прозрачного покрытия.

Для системы, состоящей из n покрытий, изготовленных из одинакового материала, справедлива формула:

$$K_{\rho,n} = \frac{1 - \rho}{1 + (2n - 1)\rho}. \quad (10)$$

Пропускательная способность относительно первоначально неполяризованного света определяется как среднее арифметическое пропускательных способностей для этих двух компонент.

Прохождение радиационного потока через прозрачное покрытие сопровождается частичным поглощением излучения. Поглощающая способность одного покрытия рассчитывается по формуле:

$$K_a = \exp(-\beta L), \quad (11)$$

где β – коэффициент ослабления; L – фактическая длина пути излучения через среду.

Коэффициент ослабления β в области солнечного спектра предполагается постоянным, изменяется от $0,04 \text{ см}^{-1}$ для высокопрозрачного (с бесцветной кромкой) стекла, до $0,32 \text{ см}^{-1}$ для стекла обычного (с зеленоватым оттенком кромки).

Пропускательная способность покрытия, учитывающая как отражение, так и поглощение, получается перемножением $K_{\rho,n}$ и K_a .

Часть излучения, прошедшего через систему покрытий и достигшего теплоприемной поверхности, отражается обратно к системе покрытий. Однако это излучение практически не теряется, поскольку в основном отражается назад к пластине.

Энергия, поглощенная тепловоспринимающей поверхностью, в итоге составляет:

$$q_{\text{погл}} = K_A Q = \frac{K_a K_{\rho,n} A}{1 - (1 - \frac{nA}{A}) \rho_d} Q, \quad \frac{\text{ккал}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2}, \quad (12)$$

где ρ_d – диффузная отражательная способность; A – поглощательная способность тепловоспринимающей поверхности. Диффузная отражательная способность ρ_d для системы покрытий из одного, двух, трех и четырех листов стекла приблизительно равна 0,16; 0,24; 0,29 и 0,32, соответственно. Значения исходных данных для расчета солнечной радиации Альбеда до подстилающей поверхности в % приведены в таблице 1. Исследование эффективности и расчеты параметров приведены ниже (примеры 2.1–2.4) [3–5].

Пример 1. Определить суммарную плотность потока падающей солнечной радиации на плоскость, которая наклонена к горизонту под углом 53° и ориентирована на юг. Расчет необходимо произвести по широте 43° 15 января в период с 9.00 до 10.00.

При условии ориентации на тепловоспринимающей плоскости строго на юг $\gamma = 0$. Соответственно, уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \alpha - \sin \delta \cos \varphi \sin \alpha + \cos \delta \cos \varphi \cos \alpha \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \alpha \cos \omega. \quad (3a)$$

Определим склонение по формуле (4):

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + 15}{365} \right) = -21,26.$$

Часовой угол ω по (3) для этого периода времени составит $+30^\circ$ ($15^\circ \times 2 = 30^\circ$). Тогда по (3a) следует:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin(-21,26^\circ) \sin(43^\circ) \cos(53^\circ) - \sin(-21,26^\circ) \cos(43^\circ) + \\ &+ \cos(53 - 23,26^\circ) \cos(43^\circ) \cos(53^\circ) \cos(+30^\circ) + \\ &+ \cos(-21,26^\circ) \sin(43^\circ) \sin(53^\circ) \cos(+30^\circ) = 0,911. \end{aligned}$$

Таблица 1 – Альбедо различных видов покрытий

.№	Вид подстилающей поверхности	Изменение A_3 по часам суток																	A_D
		5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00			
1	Время				80	74	72	79	84	87	87	82	78						80
2	Устойчивый снежный покров в высоких широтах (60° с. ш.)				70	64	63	69	74	77	77	72	68						70
3	То же в умеренных широтах (60° с. ш.)				45	42	43	44	46	50	50	46	44						45
4	Лес при устойчивом снежном покрове	46	40	41	45	42	39	37	34	37	38	38	38	42	38	32			38
5	Неустойчивый снежный покров полей весной	34	40	42	40	51	48	45	48	48	52	52	52	55	52	50			50
6	То же осенью	45	52	55	52	23	21	0	24	25	26	28	28	28	28	28			<1
7	Леса, саванны, полупустыни в сухое время года	28	26	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26			<1
	Пустыни	32	21)	30	27	26	26	25	26	26	27	28	28	32	32	38			31

Косинус зенитного угла по (5):

$$\cos \theta_z = \sin(-21, 26^\circ) \sin(43^\circ) + \cos(-21, 26^\circ) \cos(43^\circ) \cos(+30^\circ) = 0, 343.$$

Коэффициент пересчета прямой солнечной радиации согласно (2):

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{0, 911}{0, 343} = 2, 657.$$

Предполагаем, что на 15 января снежный покров был устойчивым, местность равнинная. По таблице определяем для 10.00 $A_s = 63\%$ и $A_D = 70\%$.

Находим среднюю плотность прямой и диффузной солнечной радиации в январе на широте 43° в летний солнечный день в 10.00:

$$S = 223, 3 \text{ ккал/м}^2, D = 69, 8 \text{ ккал/м}^2.$$

Далее по формуле (1) получаем:

$$Q_{над} = 223, 3 \cdot 2, 657 + 69, 8 \cdot \frac{1 + \cos(53^\circ)}{2} + 223, 3 \cdot \frac{1 - \cos(53^\circ)}{2} \cdot 0, 63 + \\ + 69, 8 \cdot \frac{1 - \cos(53^\circ)}{2} \cdot 0, 7 = 686, 9 \text{ ккал/м}^2$$

Пример 2. Определить отражательную способность одной поверхности стекла при падении излучения под углом 60° (т. е. угол преломления $\theta_2 = 60^\circ$).

1. Находим угол преломления θ_2 по формуле (7):

$$\theta_2 = \arcsin \left(\frac{\sin(60^\circ)}{1, 526} \right) = 34, 57^\circ.$$

2. Вычисляем отражательную способность по формуле (6):

$$\rho_{(60^\circ)} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(-25, 42)}{\sin^2(94, 57)} + \frac{\operatorname{tg}^2(-25, 42)}{\operatorname{tg}^2(94, 57)} \right] = 0, 093.$$

Пример 3. Определить пропускательную способность K двух стеклянных покрытий с учетом отражения при падении излучения под углом 60° . В этом случае отражательные способности одной границы раздела для каждой компоненты поляризации составят, соответственно, 0,185 и 0,001.

Применив соотношение (10) для каждой компоненты поляризации, найдем:

$$K_{p.n} = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - 0, 165}{1 + 3 \cdot 0, 165} + \frac{1 - 0, 001}{1 + 3 \cdot 0, 001} \right) = 0, 76.$$

Пример 4. Определить пропускательную способность двух стеклянных покрытий толщиной 0,23 см каждое при угле падения солнечного излучения 60° . Коэффициент ослабления $\beta = -0,161 \text{ см}^{-1}$.

Для каждого листа стекла с учётом отклонения луча в толще стекла от вертикального положения найдём:

$$\beta L = \frac{0, 23 \cdot 0, 161}{\cos \theta_2}.$$

Ранее в примере 2 был получен угол преломления θ_2 , равный $34, 57^\circ$. Для двух стекол пропускательная способность с учётом поглощения составит:

$$K_a = \exp \left(- \frac{2 \cdot 0, 037}{34, 57} \right) = 0, 91.$$

Согласно расчётам, проведённым в примере 3, отражательная способность $K_p(60^\circ) = 0,76$. Полная пропускательная способность стекольной защиты:

$$K_a K_{p,n} = 0,76 \cdot 0,91 = 0,69.$$

Приведённая поглощательная способность теплоприёмника, имеющего коэффициент поглощения $A = 0,94$, определяется по формуле (12):

$$K_A = \frac{0,69 \cdot 0,94}{1 - (1 - 0,94) \cdot 0,24} = 0,57.$$

Величина поглощённой солнечной радиации:

$$q_{\text{ввод}} = K_A Q = 0,57 \cdot 686,9 = 391,5 \frac{\text{ккал}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2}.$$

Приведена практика расчётов (примеры 1–4) [2, 3].

Заключение. Основными элементами гелиотехнических систем являются: гелио-приемник, аккумулятор тепла, насосы, система распределительных трубопроводов, дублирующие источники тепла и собственно внутренние санитарно-технические системы.

По технологии использования солнечного излучения гелиотехнические системы условно подразделяются на активные и пассивные. В активных системах тепло от гелио-приемников отводится теплоносителем (вода, воздух, антифризы). В пассивных – предусматриваются специальные наружные ограждения зданий для естественного приема, передачи и аккумулирования тепла.

Применение вентиляции здания и использование галечного аккумулятора повышает эффективность использования гелиотехнических систем: вентиляция осуществляется по рециркуляционной схеме через гравийный аккумулятор; после истощения ресурса аккумулятора включается вспомогательный нагреватель-калорифер.

Для более эффективной работы пассивной системы применяются аккумулятор с различным типом теплоаккумулирующего вещества (ТАВ) и расположения в конструкции здания. В качестве ТАВ в пассивной системе наиболее эффективен гравий.

Поступила: 19.01.23; рецензирована: 02.02.23; принята: 06.02.23.

Литература

1. *Закиров Д.Г.* Использование низкопотенциальной теплоты. Кн. 1: монография / Д.Г. Закиров, А.А. Рыбин. М.: РУСАЙНС, 2015. 158 с.
2. *Дерюгина Г.В.* Гибридные энергетические-комплексы на основе возобновляемых источников энергии / Г.В. Дерюгина, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова, В.А. Юриков // Вестник КРСУ. 2012. Т. 12. № 10. С. 11–17.
3. *Аккозиев И.А.* Возобновляемые источники энергии: учебник: в 2 ч. Ч. 2: Энергетические сооружения и оборудование нетрадиционной и возобновляемой энергетики / И.А. Аккозиев, В.В. Кириллов, М.К. Торопов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019.
4. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в тепло-насосных системах // АВОК. 2003. № 2.
5. *Болдырев И.А.* Исследование эффективности функционирования комбинации нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии / И.А. Болдырев, В.С. Кузеванов // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 14. С. 49–51.