

## ТЕПЛОВОЙ СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Преобразование солнечной энергии в тепловую обеспечивается *системами солнечного отопления*. Их характерным отличием от других систем отопления является применение специального элемента – гелиоприемника, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую энергию. По способу использования солнечного излучения системы отопления подразделяют на пассивные и активные.

**Пассивными** называются системы солнечного отопления, в которых элементом, воспринимающим солнечное излучение, является само здание или его отдельные ограждения (здание-коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор и т. п. (рис. 8.1)).

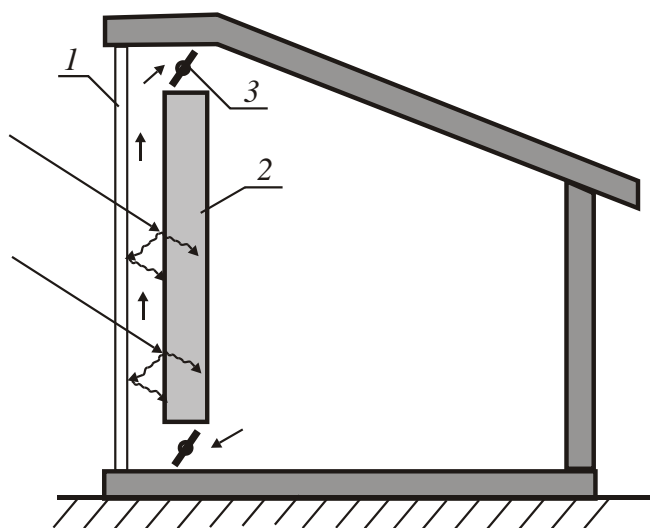


Рис. 8.1. Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена-коллектор»:

1 – лучепрозрачный экран; 2 – черная лучевоспринимающая стена (аккумулятор); 3 – воздушная заслонка

Количество теплоты, аккумулированное в лучевоспринимающем элементе:

$$Q_{\text{ак}} = mc_p (t_2 - t_1),$$

где  $m$ ,  $c_p$ ,  $t_2$ ,  $t_1$  – соответственно масса, изобарная теплоемкость, начальная и конечная температура лучевоспринимающего элемента.

**Активными** называются системы солнечного отопления, в которых гелиоприемник (гелиоколлектор) является самостоятельным отдельным устройством, заполненным теплоносителем.

Гелиоколлекторы делятся на плоские и фокусирующие. Наиболее распространенными являются плоские приемники, позволяющие собирать как прямое, так и рассеянное излучение. Плоские гелиоколлекторы делятся на простые, содержащие весь объем жидкости, которую необходимо нагреть, и

проточные, нагревающие за определенное время только небольшое количество жидкости, которая затем, как правило, накапливается в отдельном резервуаре.

Проточный гелиоколлектор представляет собой систему, в которой вода протекает по параллельным трубкам, закрепленным на поглощающей панели (рис. 8.2).

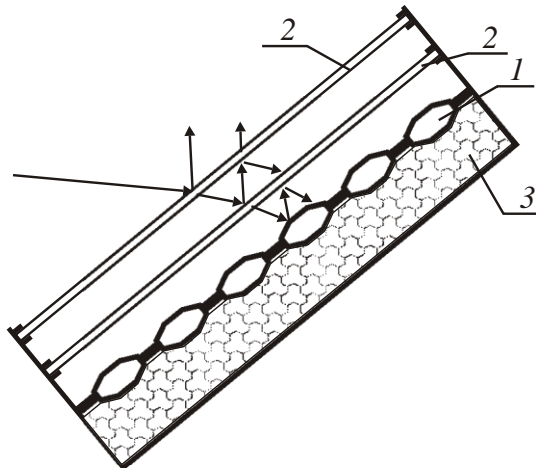


Рис. 8.2. Плоский солнечный коллектор:  
1 – остекление; 3 – теплопринимающая поверхность; 4 – теплоизоляция

Основными элементами плоского проточного солнечного коллектора являются: корпус, где расположена поглощающая панель 1 с каналами для теплоносителя; прозрачная теплоизоляция 2, снижающая потери в окружающую среду через верхнюю поверхность коллектора; непрозрачная тепловая изоляция 3, снижающая потери в окружающую среду через днище коллектора и его боковые грани.

Суммарный тепловой поток  $Q$ , поступающий к теплоносителю в гелиоколлекторе, определяется балансом

$$Q = Q_{\text{погл}} - Q_{\text{пот}},$$

где  $Q_{\text{погл}}$ ,  $Q_{\text{пот}}$  – поглощенный поток и тепловые потери приемника соответственно.

Поток солнечного излучения, поглощаемой панелью приемника, составляет прямой поток и поток, отраженный и возвращенный лучепрозрачной панелью (рис. 8.3, а)

$$Q_{\text{погл}} = \eta_0 \cdot S_{\text{п}} \cdot E,$$

$$\eta_0 = \tau_{\text{ст}} (1 - \rho_{\text{п}}) (1 + (1 - \tau_{\text{ст}}) \rho_{\text{п}}),$$

где  $\eta_0$  – оптический КПД, учитывающий потери гелиоколлектора на отражение солнечного излучения и его поглощение прозрачным покрытием;  $S_{\text{п}}$  – площадь освещенной поверхности;  $E$  – плотность солнечного потока;  $\tau_{\text{ст}}$  – коэффициент пропускания лучепрозрачной панели;  $\rho_{\text{п}}$  – коэффициент

отражения теплопоглощающей панели.

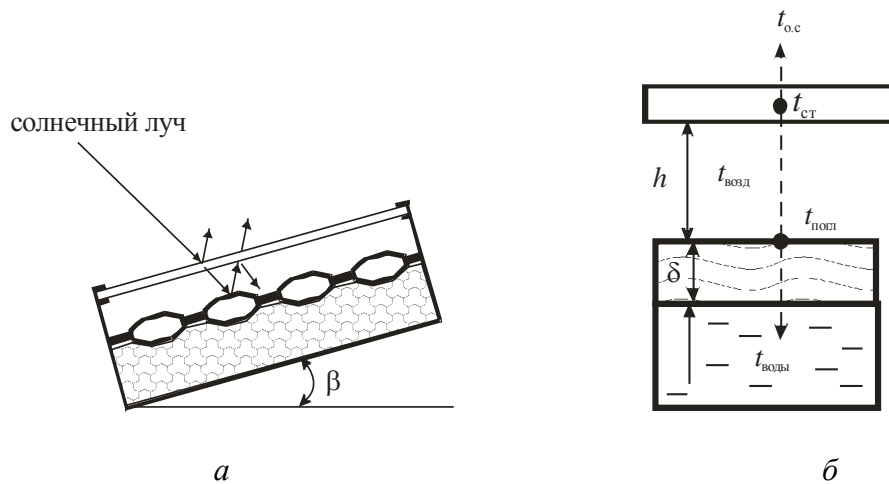


Рис. 8.3. Распределение солнечных лучей (а) и теплового потока (б) в плоском гелиоколлекторе

В процессе поглощения температура поглощающей поверхности  $t_{\text{п}}$  повышается (рис. 8.3, б). Превышение температуры поглощающей панели над температурой окружающей среды  $t_{\text{о.с}}$  приводит к потере тепла от приемника

$$Q_{\text{пот}} = k_{\text{пот}} (t_{\text{п}} - t_{\text{о.с}}) S_{\text{п}};$$

$$k_{\text{пот}} = \left( 1 / \alpha_{\text{возд}} + \delta_{\text{ст}} / \lambda_{\text{ст}} + 1 / \alpha_{\text{о.с}} \right)^{-1};$$

$$\alpha_{\text{возд}} = (0,145 - 0,001\beta) Gr^{0,281+0,0005\beta},$$

где  $k_{\text{пот}} = 1 / R$  – коэффициент тепловых потерь;  $R$  – термическое сопротивление поверхности приемника;  $\alpha_{\text{л}}$ ,  $\alpha_{\text{к}}$  – коэффициенты теплоотдачи от теплоприемника окружающей среде излучением и конвекцией;  $\alpha_{\text{возд}}$  – коэффициент теплоотдачи от поглощающей поверхности к лучепрозрачной;  $\delta_{\text{ст}}$ ,  $\lambda_{\text{ст}}$  – толщина и теплопроводность лучепрозрачной поверхности;  $Gr = \frac{1 / (273 + t_{\text{возд}}) g \Delta t h^3}{\nu_{\text{возд}}^2}$  – число Грасгофа;  $\beta$  – угол наклона

гелиоприемника к горизонту, град.

После постановки зависимостей теплофизических свойств воздуха от температуры формула для определения коэффициента теплоотдачи от поглощающей к лучепрозрачной поверхности упрощается:

$$\alpha_{\text{возд}} = (0,145 - 0,001\beta) (6,58 - 0,00925 \cdot t_{\text{возд}}) \Delta t^{0,281+0,0005\beta} h^{0,0015\beta-0,157},$$

где  $\Delta t$  – перепад температур между поглощающей и лучепрозрачной поверхностями, °C;  $t_{\text{возд}}$ ,  $h$  – средняя температура воздуха и расстояние между поглощающей и лучепрозрачной поверхностями.

Коэффициент теплоотдачи для вынужденной конвекции от

лучепрозрачной поверхности к окружающей среде

$$\alpha_{o,c} = 11,6 + 7\sqrt{v},$$

где  $v$  – скорость наружного воздуха, обдувающего гелиоколлектор.

Коэффициент теплоотдачи для свободной конвекции от лучепрозрачной поверхности к окружающей среде

$$\alpha_{o,c} = (2,26 - 0,0067\beta)(t_{ст} - t_{возд})^{0,33}.$$

Полезный тепловой поток, поступающий к теплоносителю, определяется через уравнение теплопередачи

$$Q = k(t_{п} - t_{ж}) \cdot S'_{п},$$

где  $k = (\delta_{п} / \lambda_{п} + 1 / \alpha_{п})^{-1}$  – коэффициент теплопередачи от внешней поверхности поглощающей панели к энергоносителю;  $\delta_{п}$ ,  $\lambda_{п}$ ,  $\alpha_{п}$  – толщина, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоотдачи от поглощающей панели к теплоносителю;  $t_{ж} = (t_{ж1} + t_{ж2}) / 2$  – средняя температура теплоносителя;  $t_{ж1}$ ,  $t_{ж2}$  – температура вытекающей в приемник и вытекающей из него жидкости;  $S'_{п}$  – площадь внутренней поверхности поглощающей панели.

Коэффициент теплоотдачи от поглощающей панели к теплоносителю для ламинарного режима

$$\alpha_{п} = \frac{\lambda_{ж}}{d_{эКВ}} 0,15 Re_{ж}^{0,33} Pr_{ж}^{0,43} \left( \frac{Pr_{ж}}{Pr_{п}} \right)^{0,25},$$

где  $\lambda_{ж}$ ,  $\nu_{ж}$ ,  $v_{ж}$  – соответственно теплопроводность, кинематическая вязкость и скорость теплоносителя в канале;  $d_{эКВ}$  – эквивалентный диаметр канала;  $Re_{ж} = d_{эКВ} v_{ж} / \nu_{ж}$  – число Рейнольдса для теплоносителя.

Полезный тепловой поток можно определить через тепло, поглощенное теплоносителем. При нагревании статической массы жидкости

$$Q = m c_{ж} \frac{dt_{в}}{dt},$$

при нагревании протекающей жидкости

$$Q = G c_{ж} (t_{ж2} - t_{ж1}),$$

где  $G$  – расход протекающей жидкости;  $c_{ж}$  – теплоемкость теплоносителя.

Максимальная температура  $t_{max}$  теплоносителя, достигаемая в гелиоколлекторе, определяется из условия  $Q_{погл} = Q_{пот}$ . Тогда

$$\eta_0 S_{п} E = (t_{max} - t_{o,c}) k_{пот}^{max} S_{п}.$$

Откуда находим максимальную температуру теплоносителя

$$t_{\max} = \eta_0 E / k_{\text{пот}}^{\max} + t_{\text{о.с.}}$$

КПД гелиоколлектора определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q}{S_{\text{п}} \cdot E} = \eta_0 - k_{\text{пот}} \frac{\Delta t}{E},$$

где  $\Delta t = t_{\text{п}} - t_{\text{о.с.}}$  – разность температур коллектора и окружающей среды.

## Задачи для практических занятий

### Задача 8.1

Дом с пассивной системой солнечного отопления имеет лучевоспринимающую аккумулирующую стену (рис. 8.1), выполненную из текстолита (плотность  $\rho_{\text{T}} = 1300 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость  $c_{\text{T}} = 1,5 \text{ кДж/кг}$ ). Крыша и стены дома хорошо произолированы и все потери тепла происходят с вентилируемым воздухом (коэффициент инфильтрации равен  $m = 1$ ). Какого объема должна быть аккумулирующая стенка, чтобы обеспечить температуру в помещении  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  объемом  $V_{\text{пом}} = 25 + 0,5 \cdot N \text{ м}^3$  с 10 ч вечера до 6 ч утра. В течение дня лучевоспринимающая стенка нагревается до температуры  $60 - 0,5 \cdot N \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура воздуха на улице  $t_{\text{возд}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплоемкость воздуха  $c_{\text{в}} = 1,005 \text{ кДж/кг}$ , плотность  $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

### Задача 8.2

Крыша и стены дома хорошо произолированы и все потери тепла происходят через окно. Какой требуется поток солнечного излучения, чтобы нагреть воздух через окно в помещении на  $10 + 2 \cdot N \text{ }^\circ\text{C}$  выше наружного. Коэффициент поглощения  $\alpha = 0,9$ , пропускная способность  $\tau = 0,9$ . Сопротивление теплопотерям  $R = 0,07 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ .

### Задача 8.3

Приемник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,064 - 0,002 \cdot N \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , термическое сопротивление поверхности приемника  $R = 0,13 + 0,01 \cdot N \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ . Определить толщину изоляции, чтобы обеспечить термическое сопротивление дна равное термическому сопротивлению поверхности.

### Задача 8.4

Плоский пластинчатый нагреватель имеет размеры  $2 \times 1,8 \text{ м}$ . Сопротивление теплопотерям  $R = 0,08 + 0,01 \cdot N \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ . Коэффициент теплопередачи  $k = 8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ . Температура воздуха  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура воды на входе  $t_1 = 25 + N \text{ }^\circ\text{C}$ . Поток солнечного излучения, падающего на поверхность,  $E = 750 \text{ Вт/м}^2$ . Рассчитать расход воды, при котором температура в приемнике повышалась бы на  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  за один проход. Коэффициент поглощения  $\alpha = 0,9$ , пропускная способность  $\tau = 0,9$ .

### Задача 8.5

Размер прямоугольной черной резиновой емкости  $1 \times 1 \times 0,1$  м, толщина стенок емкости 5 мм. Поток солнечного излучения, падающего на поверхность,  $200 + 10 \cdot N$  Вт/м<sup>2</sup>, температура воздуха 20°C, скорость ветра  $2 + 0,1 \cdot N$  м/с. Емкость содержит 100 л воды. Коэффициент поглощения  $\alpha = 0,9$ , пропускная способность  $\tau = 1$ . Определить термическое сопротивление емкости, максимальную среднюю температуру воды в ней и время, за которое вода нагреется до этой температуры. Принять температуру приемника равной температуре воды. Коэффициент теплоотдачи излучением  $\alpha_{\text{л}} = 3,2$  Вт/м<sup>2</sup>.

### Задача 8.6

На пивзаводе разлитое в бутылку пиво пастеризуют в потоке горячей воды с температурой 70°C в течение 10 мин. При этом на каждую бутылку подается 50 л горячей воды. После пастеризации вода остывает до 40°C. Подсчитать минимально необходимую площадь солнечного приемника, если производительность завода 65 000 бутылок за 8 ч рабочего дня. Коэффициент поглощения  $\alpha = 0,9$ , пропускная способность  $\tau = 0,9$ . Поток солнечного излучения  $\Phi = 30 + 1 \cdot N$  МДж/м<sup>2</sup> в течение рабочего дня. Термическое сопротивление поверхности приемника  $R = 0,1 + 0,01 \cdot N$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт, температура поглощающей поверхности 70°C, температура воздуха 20°C.