

## ЦИРКУЛЯЦИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ГЕЛИОСИСТЕМАХ. КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

Активные гелиосистемы по виду используемого теплоносителя делятся на *жидкостные* (вода, антифриз) и *воздушные*.

Циркуляция теплоносителя может осуществляться естественно (естественной конвекцией) или принудительно (насосом).

При естественной циркуляции нагреватель должен находиться ниже накопителя нагретой воды (рис. 9.1), т. к. циркуляция осуществляется вследствие различия плотностей холодной (плотной) и горячей (менее плотной воды).

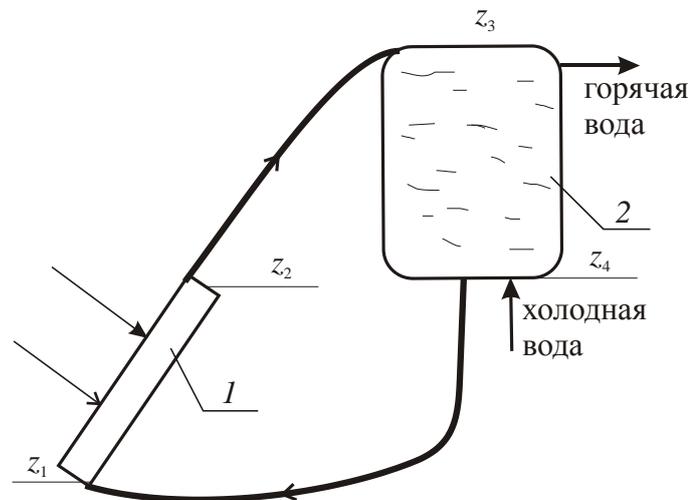


Рис. 9.1. Одноконтурная гелиосистема с естественной циркуляцией:  
1 – гелиоприемник; 2 – тепловой аккумулятор

Перепад давления между столбом горячей и охлажденной воды можно определить по формуле

$$\Delta p = g \int \Delta \rho dz,$$

где  $\Delta \rho$  – изменение плотности при изменении температуры для геометрической высоты  $z$ .

Зависимость изменения плотности  $\Delta \rho$  от изменения температуры  $\Delta t$  имеет следующий вид:

$$\Delta \rho / \Delta t = -\beta \rho,$$

где  $\beta$  – коэффициент температурного расширения жидкости, который для воды при температурах от 0 до 100°C практически постоянен и равен  $3,5 \cdot 10^{-4}$  1/К.

Тогда перепад давления можно определить по формуле

$$\Delta p = \rho g \beta \int \Delta t dz.$$

При условии, что температура в трубопроводах постоянна и равна

соответственно  $t_{\Gamma}$  и  $t_{\text{В}}$ , имеем

$$\Delta p = \rho g \beta (z_3 - z_1 + z_4 - z_2) (t_{\Gamma} - t_{\text{В}}) / 2,$$

где  $z_3, z_4$  – верхняя и нижняя геодезическая точка резервуара соответственно;  $z_2, z_1$  – верхняя и нижняя геодезическая точка приемника соответственно.

Системы с принудительной циркуляцией выгодны, поскольку для их создания можно использовать существующие водонагревательные системы, вводя в них приемник солнечного излучения и насос. Кроме того, в них нет необходимости располагать накопительную емкость выше приемника. Мощность, потребляемая насосом при принудительной циркуляции, можно определить по формуле:

$$N = G \Delta p / \rho,$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя;  $\Delta p$  – потеря давления в контуре на трение при прокачке теплоносителя;  $\rho$  – средняя плотность теплоносителя.

Для того чтобы теплоноситель в гелиоколлекторе успевал нагреваться до необходимой температуры (примерно на  $4^{\circ}\text{C}$ ), скорость прокачки обеспечивают небольшую (режим ламинарный). Тогда потеря давления в системе определяется по формуле Пуазеля:

$$\Delta p = \frac{128 G \nu l}{d^4 \pi},$$

где  $l$  и  $d$  – соответственно длина и диаметр канала;  $\nu$  – кинематическая вязкость.

Многие возможные приложения требуют более высоких температур, чем те, которые можно получить даже с помощью лучших плоских нагревателей. Для решения этих задач используются концентрирующие коллекторы, которые включает в себя концентратор, который представляет собой оптическую систему, собирающую солнечное излучение с большой поверхности и направляющую его на приемник, поглощающий излучение.

Чаще всего концентратор представляет собой параболические вогнутые (параболоцилиндры) (рис 9.2, а) или параболические объемные (параболоид вращения) (рис. 9.2, б) зеркала, выполненные из полированного металла, в фокус которых помещают приемник излучения (солнечный котел). В качестве концентраторов солнечной энергии могут также использоваться оптические линзы, которые концентрируют проходящее через них излучение (рис. 9.2, в). В отличие от плоских нагревателей, концентраторы в основном поглощают прямое солнечное излучение. Для обеспечения высокой эффективности процесса улавливания и преобразования солнечной радиации концентрирующий гелиоприемник снабжают системой слежения за Солнцем.

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

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

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

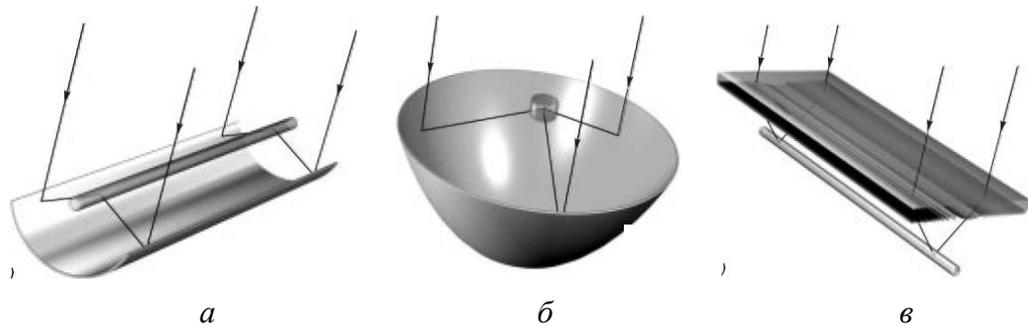


Рис. 9.2. Концентрирующие гелиоприемники

Для параболического концентратора, энергия поглощения приемной трубкой,

$$Q_{\text{погл}} = \rho \alpha S E,$$

где  $\rho$  – коэффициент отражения концентратора;  $\alpha$  – коэффициент поглощения приемника;  $S = l \cdot D$  – площадь проекции концентратора;  $E$  – средняя плотность излучения (рис. 9.3).

При этом основные потери приемника являются радиационные, а излучаемое тепло можно определить по формуле

$$Q_{\text{пот}} = \varepsilon (\sigma T^4) \frac{D}{D'} r l,$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент излучения поверхности трубки;  $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана;  $T$  – температура приемника;  $r$  – радиус трубки.

Радиус трубки выбирают таким, чтоб обеспечить минимальную площадь теплового излучения, но достаточную площадь поглощения солнечного излучения:

$$r = \theta_s D' \approx 0,0046 D',$$

где  $\theta_s$  – угол схождения солнечных лучей.

Используя эти уравнения, получим выражение для определения максимальной температуры приемника при  $Q_{\text{погл}} = Q_{\text{пот}}$ :

$$T = \left( \frac{\alpha \rho E D'}{r \varepsilon \sigma} \right)^{1/4} \approx \left( \frac{\alpha \rho E}{0,0046 \varepsilon \sigma} \right)^{1/4}.$$

Для сферического концентратора (параболлоида вращения)

$$T = \left( \frac{\alpha \rho E D'^2 \sin^2 \psi}{4 r^2 \varepsilon \sigma} \right)^{1/4} \approx \left( \frac{\alpha \rho E \sin^2 \psi}{8,46 \cdot 10^{-3} \varepsilon \sigma} \right)^{1/4}.$$

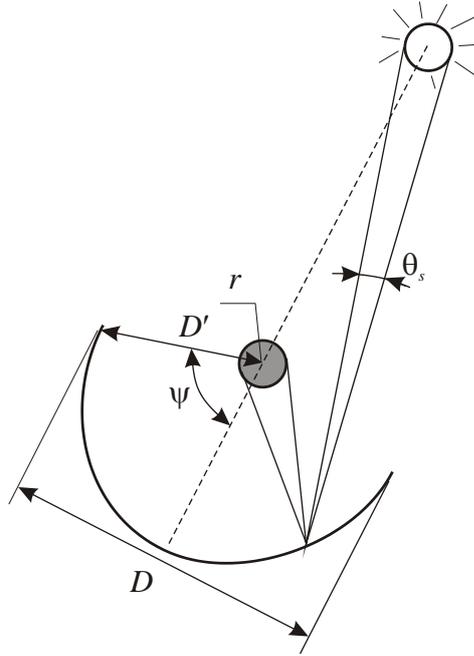


Рис. 9.3. Параболический концентратор

Альтернативным вариантом концентрирующим гелиоколлекторам являются солнечные башни, когда множество следящих за солнцем плоских зеркал (гелиостатов) отражают лучи на находящийся в центре приемник в виде башни (рис. 9.4).

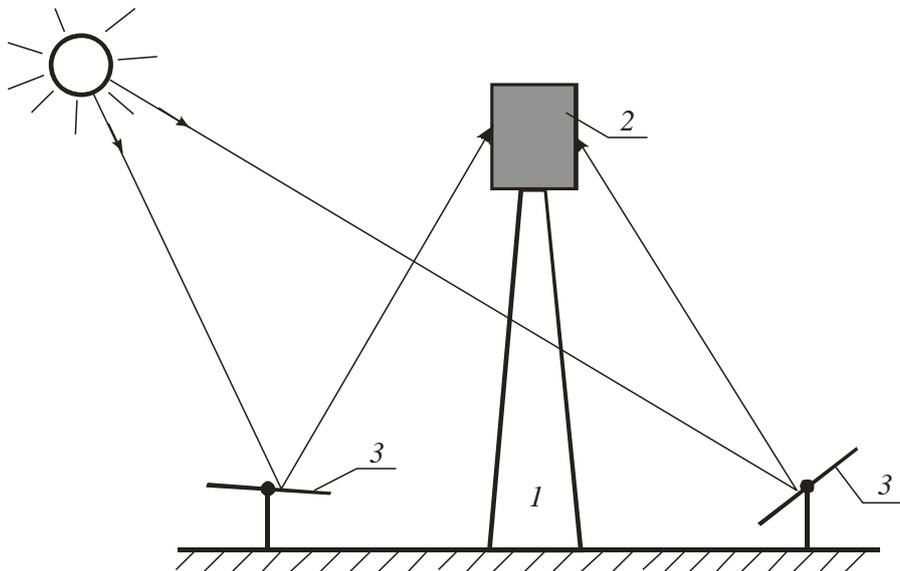


Рис. 9.4. Основные сооружения башенной солнечной электростанции: 1 – башня; 2 – котел-теплоприемник солнечного излучения; 3 – гелиостаты

Получаемая мощность солнечной башней может быть найдена по формуле

$$N = ES\rho\alpha,$$

где  $E$  – плотность солнечного излучения, падающего на гелиостат  $\text{кВт/м}^2$ ;  $S$  – площадь гелиостатов,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  – отражательная способность гелиостатов;  $\alpha$  – коэффициент поглощения солнечного излучения теплоприемником.

Преимуществом систем с концентрирующими гелиоколлекторами является способность получения теплоносителя с относительно высокой температурой (до  $100^\circ\text{C}$ ) и даже пара. К недостаткам следует отнести работу только в светлое время суток с прямым излучением, а, следовательно, потребность в аккумуляторах большого объема; необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли; высокую стоимость конструкции, обусловленную наличием привода системы слежения за ходом Солнца.

## Задачи для практических занятий

### Задача 9.1

В гелиосистеме вода поступает в гелиоколлектор при температуре  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ , нагревается на  $3 + 0,2 \cdot N^\circ\text{C}$  и без потерь тепла перемещается вверх в отопительную систему (рис. 9.1). Гелиоколлектор состоит из десяти параллельных трубок диаметром  $9 + 0,2 \cdot N$  мм и длиной 2 м. Коэффициент температурного расширения воды  $\beta = 3,5 \cdot 10^{-4}^\circ\text{C}$ , коэффициент кинематической вязкости  $\nu = 0,7 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, которое передается потребителю. Считать, что потери давления существуют только в гелиоколлекторе.

### Задача 9.2

В параболическом вогнутом концентраторе (параболоцилиндре) нагревается масло с начальной температурой  $40^\circ\text{C}$ . Диаметр трубки теплоприемника 25 мм, длина –  $7 - 0,1 \cdot N$  м. Средняя плотность солнечного излучения  $600 \text{ Вт/м}^2$ . Коэффициенты поглощения и излучения (степень черноты) принять равным единице, коэффициент отражения гелиостата – 0,8. Параметры гелиостата  $D' = 5,5$  м,  $D = 10$  м. Постоянная Стефана–Больцмана  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ . Определить какой надо подать расход в гелиоприемник, чтобы получить на выходе температуру масла  $200 + 5 \cdot N^\circ\text{C}$ . Теплоемкость масла  $5500 \text{ Дж/}(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , температуру теплоприемника принять на  $25^\circ\text{C}$  выше средней температуры теплоносителя.

### Задача 9.3

На солнечной электростанции башенного типа установлено  $n = 250 + 10 \cdot N$  гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность  $S_r = 25 \text{ м}^2$ . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность  $H_{\text{пр}} = 0,25 \text{ МВт/м}^2$ . Коэффициент отражения гелиостата  $\rho_r = 0,8$ ; коэффициент поглощения приемника (башни)  $\alpha_{\text{пр}} = 0,95$ . Максимальная облученность зеркала гелиостата  $H_r = 600 \text{ Вт/м}^2$ .

Определить площадь поверхности приемника  $S_{\text{пр}}$  и расход теплоносителя, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет  $t = 600 + 10 \cdot N^{\circ}\text{C}$ . Начальная температура теплоносителя  $25^{\circ}\text{C}$ . Степень черноты приемника  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,95$ . Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения.