



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

## **Методические указания**

к практическим занятиям

«Расчет систем энергоснабжения зданий с  
использованием возобновляемых  
источников энергии»

по дисциплине

**«Вопросы теории и иннова-  
ционных решений при ис-  
пользовании**

**возобновляемых источников  
энергии»**

Авторы

Галкина Н. И.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Приведена классификация систем солнечного теплоснабжения, описание солнечного коллектора, методика расчета основных параметров систем, задачи с методикой расчета, с вариантами и примерами решения.

Предназначены для магистрантов направления 08.04.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» очной и заочной формы обучения.

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»  
Галкина Н.И.



## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (ССТ) .....</b>	<b>5</b>
<b>2. СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР .....</b>	<b>7</b>
<b>3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ССТ .....</b>	<b>9</b>
ЗАДАЧА 1. Определение потока солнечного излучения, а также изменения температуры воздуха с течением времени. ....	<b>15</b>
ЗАДАЧА 2. Определение площади солнечной батареи. ....	<b>17</b>
ЗАДАЧА 3. Определение КПД солнечной батареи. ....	<b>18</b>
ЗАДАЧА 4. Определение ЭДС солнечной батареи.....	<b>22</b>
ЗАДАЧА 5 Расчет системы солнечного теплоснабжения здания. ..	<b>24</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>28</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Энергия является основой для жизнедеятельности человечества: обеспечивает тепло для обогрева, производство и приготовление пищи, создание товаров.

Поскольку человечество развивается, растет спрос людей на услуги, следовательно, продолжается рост потребности в энергии.

Популярные источники энергии (нефть, газ, уголь) потребляются эффективно, а возобновляются очень медленно и, следовательно, следует ожидать их истощения в обозримом будущем. Возрастающая потребность в энергии из-за роста производственных мощностей и увеличения населения приведет к тому, что дополнительно требуется установленная мощность примерно в 2 раза больше современного уровня [1].

Этот фактор стимулирует переход к крупномасштабному использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также интенсивное применение новых современных технологий эффективного использования энергоресурсов.

В этой ситуации назрела насущная необходимость перехода от высокоэнергозатратных технологий, использования ископаемых видов топлива к эффективным малоэнергозатратным технологиям и замене традиционных видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) альтернативными (нетрадиционными) и ВИЭ, включающие солнечную, ветровую, геотермальную энергию, биомассу и энергию Мирового океана.

Одним из важнейших компонентов альтернативной энергетики, достаточно широко используемых на практике сейчас, выступает солнечная энергетика [2].

В последнее время интерес к проблеме использования солнечной энергии резко возрос, и хотя этот источник также относится к возобновляемым, внимание, удивляемое ему во всем мире, заставляет рассмотреть его возможности отдельно.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (ССТ)

**Солнечная энергетика** — направление нетрадиционной энергетике, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде.

Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов [3].

ССТ могут быть классифицированы по различным критериям (рис. 1):

### ***а) по способу использования солнечной радиации:***

– пассивные системы – это ССТ, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его отдельные ограждения (здание-коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор);

– активные системы – это ССТ, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию (солнечные коллекторы различных видов).

### ***б) по назначению:***

– системы горячего водоснабжения (ГВС) – системы, работающие для восполнения нужд горячего водоснабжения;

– системы отопления - системы, работающие для восполнения нужд отопления здания. Гелиосистемы отопления зданий обычно двухконтурные или чаще всего многоконтурные, причем для разных контуров могут быть применены различные теплоносители;

– комбинированные системы используют для целей теплохолодоснабжения. Комбинированные гелиосистемы круглогодичного действия для целей теплохолодоснабжения зданий многоконтурные и включают дополнительный источник теплоты в виде традиционного теплогенератора, работающего на органическом топливе, или трансформатора теплоты.

### ***в) по виду используемого теплоносителя:***

– жидкостные - системы, в которых в качестве рабочей, нагреваемой среды применяется жидкость (вода, теплоноситель на основе пропиленгликоля);

– воздушные - системы, в которых нагреваемой средой является воздух. При применении его в качестве теплоносителя

возможно совмещение систем отопления с системой вентиляции.

**г) по продолжительности работы:**

– круглогодичные – системы, работающие на протяжении всего календарного года. Это, как правило, комбинированные системы солнечного теплоснабжения;

– сезонные – системы, работающие в течение, как правило, летнего сезона. Сезонные гелиосистемы ГВС обычно одноконтурные и функционируют в летние и переходные месяцы, в периоды с положительной температурой наружного воздуха. Они могут иметь дополнительный источник теплоты или обходиться без него в зависимости от назначения обслуживаемого объекта и условий эксплуатации [4].

**д) по техническому решению схемы:**

– одноконтурные, состоящие из одного контура циркуляции теплоносителя (например, схема подключения солнечного коллектора к бойлеру);

– двухконтурные: в контуре солнечных коллекторов находится специальный теплоноситель (незамерзающая нетоксичная жидкость с антикоррозионными и антивспенивающими присадками или подготовленная вода), при этом тепловая энергия от теплоносителя передается воде с помощью теплообменника. Низкие температуры замерзания теплоносителя позволяют не сливать его из солнечного коллектора в зимнее время, что также удешевляет эксплуатацию и повышает коррозионную устойчивость системы. Выбор теплоносителя осуществляется по их теплофизическим свойствам и стоимости;

– многоконтурные. Это системы с принудительной циркуляцией теплоносителя. Применяются для теплоснабжения объектов с большой тепловой нагрузкой в режиме сезонной или круглогодичной эксплуатации. Она является активной, многоконтурной, комбинированной (для нужд ГВС и воздушного отопления), жидкостной и круглогодичной, в соответствии с классификацией.

Пример: она включает в себя три контура циркуляции:

- 1- контур, состоящий из солнечных коллекторов, циркуляционного насоса и жидкостного теплообменника;
- 2- контур, состоящий из бака-аккумулятора, циркуляционного насоса и теплообменника;
- 3- контур, состоящий из бака-аккумулятора, циркуляционного насоса, водовоздушного теплообменника (калорифера).

## 2. СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР

Основным элементом системы солнечного теплоснабжения (ССТ) является солнечный коллектор.

**Солнечный коллектор** — устройство для сбора тепловой энергии [Солнца](#) (гелиоустановка), переносимой [видимым светом](#) и ближним [инфракрасным излучением](#) [2].

В отличие от [солнечных батарей](#), производящих непосредственно [электричество](#), солнечный коллектор производит нагрев материала - [теплоносителя](#). Коллектор поглощает световую энергию Солнца и преобразует ее в теплоту, которая передается теплоносителю (жидкости или воздуху) и затем используется для обогрева зданий, нагрева воды, производства электричества, сушки сельскохозяйственной продукции или приготовления пищи (рис.2).

Стандартный набор оборудования для монтажа ССТ включает в себя:

- солнечный коллектор;
- крепежная система (опоры, балки, держатели);
- накопительный бак;
- бак, компенсирующий избыточное расширение теплового носителя;
- устройство контроля работы насоса;
- насос (комплект клапанов);
- температурные датчики;
- теплообменные устройства, применяемы в схемах с большими объемами;
- теплоизолированные трубы;
- предохранительная и регулирующая арматура;
- фитинги [5].

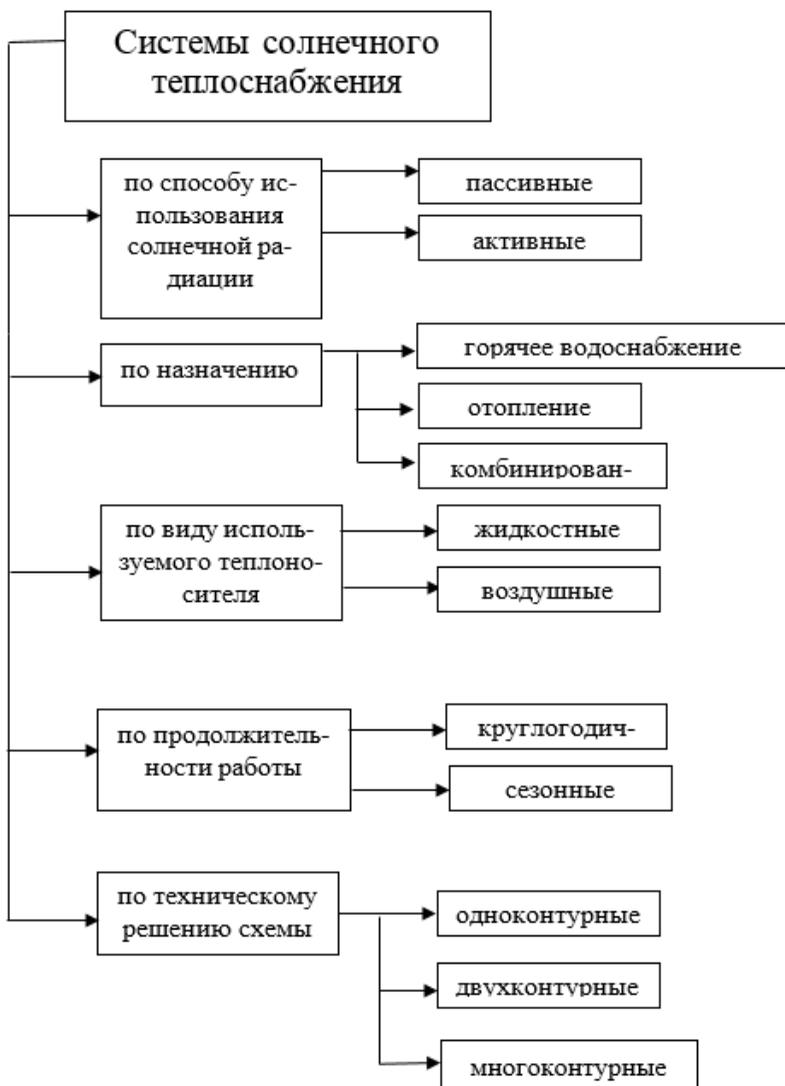


Рис 1. Классификация ССТ.



Рис 2. Солнечный коллектор.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ССТ

Существующие методы расчета ССТ позволяют на основе использования климатической информации и с учетом характеристик применяемого оборудования определять их основные параметры, которыми являются [3]:

1. Поток солнечной энергии  $Q_c$ , поглощаемой поверхностью приёмника:

$$Q_c = \tau_{пр} \cdot \alpha_{пр} \cdot A_n \cdot G \text{ (Вт)},$$

где  $G$  - облученность приемника, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_n$  - площадь освещенной поверхности, м<sup>2</sup>;

$\tau_{пр}$  - коэффициент пропускания прозрачного покрытия, защищающего приемную поверхность от ветра (при одинарном остеклении принимается 0,9, при двойном – 0,8);

$\alpha_{пр}$  - коэффициент поглощения приёмной поверхностью солнечного излучения (0,85 - 0,9).

В процессе поглощения температура приёмной поверхности повышается (рис.3). Повышение температуры приёмника  $T_{пр}$  над температурой окружающей среды  $T_{ср}$  приводит к возникновению потока от приёмника, причём скорость теплоотдачи равна  $\frac{(T_{пр}-T_{ср})}{R_T}$ .

2. Теплоотдача приемника в окружающую среду:

$$Q_T = A_{п} \cdot \frac{(T_{пр}-T_{ср})}{R_T} \text{ (Вт)},$$

где  $T_{пр}$  - температура приёмника, °С;  
 $T_{ср}$  - температура окружающей среды, °С;  
 $R_T$  - термическое сопротивление, °С /Вт.

3. Суммарный поток тепла  $Q_{\Sigma}$ , поступающего к приёмной площадке:

$$Q_{\Sigma} = \tau_{пр} \cdot \alpha_{п} \cdot A_{п} \cdot G - \left[ \frac{T_{пр}-T_{ср}}{R_T} \right] = \eta_{и} \cdot A_{п} \cdot G \text{ (Вт)},$$

где  $\eta_{и}$  - коэффициент захвата излучения, 0,85.

4. Поток тепла от приёмника солнечного излучения к теплоносителю определяется соотношением

$$Q_{ж} = \kappa Q_{\Sigma} \text{ (Вт)},$$

где  $\kappa$  – коэффициент, определяющий долю суммарного потока  $Q_{\Sigma}$ , передаваемую жидкости.

В приёмниках хорошего качества разность между температурами приёмной площадки и жидкости мала и коэффициент теплопередачи лишь немного меньше единицы.

5. Поток тепла при нагревании массы жидкости  $m$ :

$$Q_{ж} = m C_{ж} \cdot dT_{ж}/dt \text{ (Вт)},$$

где  $m$  – масса жидкости, кг;

$C_{ж}$  – теплоёмкость жидкости, Дж/(кг °С);

$T_{ж}$  – температура жидкости, °С.

6. Поток тепла при нагревании жидкости, массовый расход которого через приёмник  $m_1$ :

$$Q_{ж} = m_1 \cdot C_{ж} (T_{ж2} - T_{ж1}) \text{ (Вт)},$$

где  $T_{ж1}$  – температура входящей жидкости в приемник, °С;

$T_{ж2}$  – температура выходящей жидкости из приемника, °С;

$m_1$  – массовый расход жидкости в трубе, кг/с.

7. Плотность теплового потока (тепловой поток на единицу площади)  $q$ :

$$q = \frac{\Delta T}{r} \text{ (Вт/м}^2\text{)},$$

$$Q = q \cdot A = \frac{\Delta T \cdot A}{r} \text{ (Вт)},$$

$$R_T = \frac{r}{A} \text{ (}^\circ\text{С /Вт)},$$

$$r = R_T \cdot A \text{ (м}^2\text{}^\circ\text{С /Вт)},$$

где  $r$  - удельное термическое сопротивление, м<sup>2</sup>·°С /Вт,

$$q = \alpha \cdot \Delta T \text{ (Вт/м}^2\text{)},$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С):

$$\alpha = \frac{1}{r}$$

Механизмы теплопереноса обозначаются различными нижними индексами у параметров  $R$ ,  $r$  или  $\alpha$ :

- $n$  - для теплопроводности;
- $k$  - для конвекции;
- $из$  - для излучения;
- $ж$  - для жидкости.

8. Количество тепла  $Q$ , переносимого в результате через

пластину толщиной  $\Delta x$  и площадью  $A_n$  при разности температур её поверхности:

$$Q = -\lambda \cdot A_n \cdot \frac{\Delta T}{\Delta} \text{ Вт,}$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C).

Знак минус означает, что тепло переносится в направлении убывания температуры по толщине пластины.

9. Термическое сопротивление при теплопроводности:

$$R_n = \frac{\Delta x}{\lambda A_n} \text{ }^\circ\text{C /Вт.}$$

10. Удельное термическое сопротивление:

$$\tau_n = R_n \cdot A_n = \frac{\Delta x}{\lambda}.$$

У неподвижного воздуха  $\lambda = 0,03$  Вт/(м·°C).

11. Время, необходимое для повышения температуры:

$$\Delta t = \frac{\Delta T}{\left(\frac{dT_{ж}}{dt}\right)}, \text{ с}$$

$$C_{ж} = m \cdot c$$

где  $c$  - удельная теплоёмкость Дж/(кг °C);

$m$  - масса жидкости, кг.

12. Уравнение теплового баланса:

$$m \cdot c \cdot \frac{dT_{ж}}{dt} = \tau_{np} \alpha_n A \cdot G - \frac{(T_{ж} - T_{cp})}{R_n},$$

где  $R_n$  - полное термическое сопротивление промежутка между приёмной поверхностью резервуара и окружающим воздухом.

$$R_{\pi} = \left[ \left( \frac{1}{R_{к,п-ст}} \right) + \left( \frac{1}{R_{из,п-ст}} \right) \right]^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C /Вт},$$

где  $R_{к,п-ст}$  – конвективное термическое сопротивление между приёмником и стеклом;

$R_{из,п-ст}$  – радиационное термическое сопротивление между приёмником и стеклом.

13. Полное термическое сопротивление промежутка приёмная поверхность нагревателя – стеклянная крышка:

$$R_{\pi} = \left[ \left( \frac{1}{R_{к-ст}} \right) + \left( \frac{1}{R_{из-ст}} \right) \right]^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C /Вт},$$

Наличие стеклянной крышки в 4 раза повышает сопротивление теплотерям между поверхностью нагретой воды и окружающим воздухом [4].

14. Тепловой баланс внутри здания:

$$m \cdot c \cdot dT_{вн}/dt = t_{пр} \cdot \alpha_{п} \cdot G \cdot A_{п} - (T_{вн} - T_{ср}) / R_{т},$$

где  $T_{вн}$  – комфортная температура в помещении,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_{п}$  – площадь приёмника,  $\text{м}^2$ ;

$G$  – интенсивность солнечного излучения,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Если температура в комнате постоянна, то:

$$t_{пр} \cdot \alpha_{п} \cdot G = (T_{вн} - T_{ср}) / r,$$

где  $t_{пр}$  – пропускание стекла, 0,9;

$\alpha_{п}$  – коэффициент поглощения стенки, 0,8;

$r$  – термическое сопротивление потерям из комнаты наружу вертикального окна с одним стеклом,  $r = 0,07 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$ .

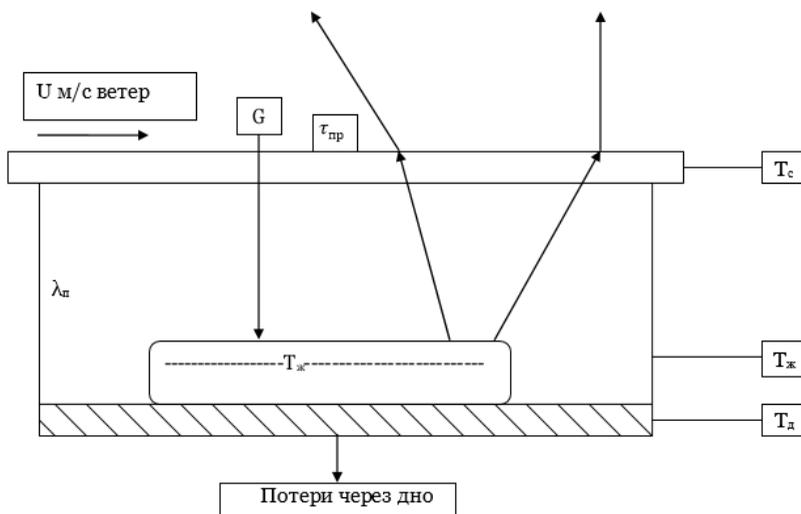


Рис. 3. Закрытый чёрный нагреватель:

$T$  - температура:  $T_n$  - неба,  $T_{cp}$  - среды,  $T_c$  - стекла,  $T_j$  - жидкости,  $T_d$  - дна.

15. Температура воздуха в доме с течением времени:

$$T_{вн} - T_{ср} = (T_{вн} - T_{ср})_{t=0} \exp[-t/(RC)],$$

где  $R = r \cdot A_n^{-1}$ ;

$C = m \cdot c$

$m$  - масса стенки, кг;

$c$  - удельная теплоёмкость, для бетона  $c = 840 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

16. Энергия, передаваемая воздуху от поглощающей поверхности в единицу времени [6]:

$$P_{и} = \rho \cdot c \cdot Q_p \cdot (T_{в2} - T_{в1}) \text{ (Дж)},$$

где  $\rho$  - плотность воздуха,  $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$c$  - теплоёмкость воздуха,  $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$T_{в1}$  и  $T_{в2}$  - температура входящего и выходящего воздуха,

С °;

$Q_p$  – объёмный расход воздуха, м<sup>3</sup>.

17. КПД солнечной батареи:

$$\eta = P/A_{\text{п}} \cdot G$$

18. ЭДС солнечной батареи:

$$E = P/I \text{ (В)},$$

где  $I$  - величина тока, А;

$P$  – мощность солнечной батареи, Вт.

### **ЗАДАЧА 1. Определение потока солнечного излучения, а также изменения температуры воздуха с течением времени.**

Имеется дом с окном с южной стороны размером  $H \times L$ , м и массивной зачернённой стенкой с северной стороны. Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона толщиной  $B$ .

Данные для расчета задачи № 1 по вариантам приведены в табл.

1.

#### **Пример расчета**

##### ***Исходные данные:***

– термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло  $g=0,07 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ;

– коэффициент пропускания стекла  $\tau=0,9$ ;

– коэффициент поглощения стенки  $\alpha=0,8$ ;

– наружная температура  $T_a=0^\circ\text{C}$ ;

– температура в комнате  $T_{\text{вн}}=20^\circ\text{C}$ ;

– высота окна  $H=5$  м;

– длина окна  $L=2$  м;

- толщина поглощающей стенки  $B=0,1\text{ м}$ ;
- теплоёмкость бетона  $c = 840 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$ ;
- плотность бетона  $\rho=2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 1

Исходные данные для расчета задачи №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Высота окна Н, м	3	4	5	4	5	3	5	4	3	5	3	4	5	4	5
Длина окна L, м	5	3	4	6	5	4	4	3	6	3	6	4	5	4	6
Толщина поглощающей стенки В, м	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3
Температура наружного воздуха, $T_a, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	0	-1	4	1	5	-2	3	-3	2	4	0
Температура внутреннего воздуха, $T_{вн}, ^\circ\text{C}$	19	18	17	21	22	20	17	23	22	16	21	20	23	18	19

**Определить:**

- поток солнечного излучения  $G$ , необходимый для нагрева воздуха в комнате на  $20^\circ\text{C}$  выше наружного;
- температуру воздуха в доме в 8 часов утра, т. е. через 16 часов.

**Решение:**

1. Поток солнечного излучения:

$$G = \frac{T_{вн} - T_a}{r \cdot \tau \cdot \alpha} =$$

$$\frac{20^{\circ}\text{C}}{0,07 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 400 \text{ Вт/м}^2.$$

Такую облучённость можно ожидать в ясный солнечный зимний день.

2. При  $G = 0$ :

$$\frac{dT_{\text{вн}}}{dt} = - \frac{T_{\text{вн}} - T_a}{R};$$

$$C = mc;$$

$$R = \frac{r}{A} = \frac{0,07}{10} = 0,007 \text{ }^{\circ}\text{C /Вт},$$

$$T_a = \text{const.}$$

Поглощающая стенка изготовлена из бетона:  $c = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$ ,

$$C = m \cdot c = 2,4 \cdot 10^3 \cdot 840 = 2 \cdot 10^6 \text{ Дж/}^{\circ}\text{C},$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot H \cdot L \cdot B = 2,4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,1 = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг},$$

$$RC = 0,007 \cdot 2 \cdot 10^6 = 14000 \text{ с} = 4 \text{ часа.}$$

3. Через 16 часов температура воздуха в доме будет выше наружной на:

$$T_{\text{вн}} - T_a = (T_{\text{вн}} - T_a)_{t=0} \exp \left[ - \frac{t}{RC} \right] = 20^{\circ}\text{C} \cdot \exp(-16/4) = 0,4^{\circ}\text{C}.$$

### ЗАДАЧА 2. Определение площади солнечной батареи.

Какую площадь должна иметь солнечная батарея с определенной плотностью потока излучения ,КПД и мощностью [2].

Исходные данные для расчета по вариантам представлены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчета задачи № 2.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Плотность потока излучения G, Вт/м <sup>2</sup>	470	500	550	600	700	750	450	480	500	520	550	580	600	650	700
КПД, η, %	18	20	19	20	21	22	23	18	19	20	21	22	23	24	20
Мощность P, Вт	90	100	110	120	130	150	140	90	100	110	120	130	140	150	160

### Пример расчета

#### Исходные данные:

- плотность потока излучения  $G = 460 \text{ Вт/м}^2$ ;
- мощностью  $P = 100 \text{ Вт}$ ;
- КПД  $\eta = 20\%$ ;

#### Определить:

- площадь солнечной батареи  $A$ , м<sup>2</sup>.

#### Решение:

Из выражения мощности солнечной батареи  $P = \eta \cdot A \cdot G$  выразим площадь солнечной батареи  $A$ :

$$A = P / \eta \cdot G = 100 / 0,2 \cdot 460 = 1,09 \text{ м}^2$$

### ЗАДАЧА 3. Определение КПД солнечной батареи.

Солнечная батарея состоит из фотоэлементов, известна мощность каждого, плотность потока и размер. Определить КПД солнечной

батареи.

Данные для расчета задачи № 3 по вариантам приведены в табл.

3.



Исходные данные для расчета

Величина	№ варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Количество элементов n, шт	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	600	1700	1800	950	2200	930	910	970
Плотность потока G, Вт/м <sup>2</sup>	500	450	550	600	650	700	750	450	500	550	600	650	700	750	500



Размер фото-элемента, АхВ, см	20х 30	25х 40	30х 30	20х 30	15х 35	30х 30	25х 25	25х 40	25х 25	15х 35	30х 30	25х 40	15х 35	25х 25	20х 30
-------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

### Пример расчета

#### *Исходные данные:*

- количество фотоэлементов батареи  $n=900$ шт;
- плотность потока  $G = 500$  Вт/м<sup>2</sup>;
- размер фотоэлемента 20х30 см.

#### *Определить:*

- КПД,  $\eta$ .

#### *Решение:*

1. Мощность солнечной батареи:

$$P = n \cdot 1,5 = 900 \cdot 1,5 = 1350 \text{ Вт.}$$

2. КПД солнечной батареи:

$$\eta = \frac{P}{S \cdot G} = 1350 / 54 \cdot 500 = 0,05 = 5\%$$

$$S = 0,06 \text{ м}^2 \cdot 900 = 54 \text{ м}^2.$$

### ЗАДАЧА 4. Определение ЭДС солнечной батареи.

Известна площадь солнечной батареи, плотность тока, плотность излучения и КПД. Необходимо определить ЭДС в солнечной батарее.

Данные для расчета задачи № 4 по вариантам приведены в табл.

4.

### Пример расчета

#### *Исходные данные:*

- плотность тока  $i = 3 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>;
- плотность потока  $G = 300$  Вт/м<sup>2</sup>;

## Вопросы теории и инновационных решений при использовании возобновляемых источников энергии

– КПД  $\eta=0,3$ .

**Определить:**

– ЭДС солнечной батареи,  $E$ .

**Решение:**

ЭДС солнечной батареи:

$$E = P/I \text{ (В)}$$

Из выражения  $\eta = P/A_{\text{п}} \cdot G$  мощность солнечной батареи:

$$P = A_{\text{п}} \cdot G \cdot \eta.$$

Отсюда ЭДС:

$$E = A_{\text{п}} \cdot G \cdot \eta/I,$$

где  $I = i \cdot A_{\text{п}}$

Тогда ЭДС:

$$E = G \cdot \eta/i = (300 \cdot 0,3/3 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-4} = 3\text{В}$$

Таблица 4

Исходные данные для расчета

№ варианта	Величины			
	Площадь солнечной батареи $S, \text{ м}^2$	Плотность тока $i, \text{ А/см}^2$	Плотность излучения $G, \text{ Вт/м}^2$	КПД, $\eta$
1	0,25	$3 \cdot 10^{-3}$	300	0,3
2	0,3	$2 \cdot 10^{-8}$	400	0,25
3	0,4	$4 \cdot 10^{-3}$	500	0,26
4	0,5	$1 \cdot 10^{-2}$	400	0,27
5	0,6	$2 \cdot 10^{-2}$	450	0,28
6	0,7	$3 \cdot 10^{-2}$	500	0,29
7	0,8	$4 \cdot 10^{-2}$	550	0,3

8	0,9	$5 \cdot 10^{-2}$	600	0,25
9	1,0	$1 \cdot 10^{-3}$	650	0,26
10	1,1	$2 \cdot 10^{-3}$	700	0,27
11	1,2	$3 \cdot 10^{-3}$	750	0,28
12	0,3	$4 \cdot 10^{-3}$	600	0,29
13	0,4	$5 \cdot 10^{-3}$	650	0,3
14	0,5	$6 \cdot 10^{-3}$	700	0,25
15	0,6	$7 \cdot 10^{-3}$	750	0,3

### ЗАДАЧА 5 Расчет системы солнечного теплоснабжения здания.

На крыше здания установлен пластинчатый приемник солнечной энергии проточного типа. Приемник освещается солнцем. В приемнике нагревается вода. Вода направляется в систему теплоснабжения здания и в аккумулятор тепловой энергии. Выполнить расчет системы солнечного теплоснабжения здания.

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 5.

Таблица 5

Исходные данные для расчета

№ варианта	Коэффициент использования солнечной энергии, $\eta_{\text{пр}}$	Максимальная облученность приемника, $E$ , Вт/м <sup>2</sup>	Температура воды на входе, $t_{в1}$ , °С	Температура воды на выходе, $t_{в2}$ , °С	Тепловая мощность системы теплоснабжения, $Q_{\text{т.сн}}$ , кВт	Период освещения приемника, $\tau_{\text{осв}}$ , час
1	0,78	600	24	42	1,0	4
2	0,85	410	38	58	2,0	6
3	0,77	480	30	50	3,2	5
4	0,8	450	34	43	1,5	7

5	0,78	520	31	44	2,8	4
6	0,82	430	20	45	3,7	5
7	0,85	650	28	52	1,2	4
8	0,79	460	26	47	4,5	6
9	0,75	550	40	51	2,5	7
10	0,83	630	33	46	1,8	5
11	0,77	420	22	49	3,5	6
12	0,8	570	36	54	3,0	4
13	0,81	470	32	53	1,4	7
14	0,76	440	35	48	4,0	6
15	0,84	500	28	56	2,2	5

### Методика расчета

Схема системы солнечного теплоснабжения здания представлена на рис. 4.

1. Суточное потребление тепла системой теплоснабжения:

$$Q_{\text{сут}} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\text{т.сн}} \text{ (Дж)},$$

где  $Q_{\text{т.сн}}$  – мощность системы теплоснабжения рассматриваемого здания (Вт);

24 – количество часов в сутках;

3600 – число секунд в 1 часе.

2. Тепло, воспринимаемое приемником солнечной энергии в течение периода освещенности [4]:

$$Q_{\text{пр}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600 \text{ (Дж)},$$

где  $E$  – облученность приемника (Вт/м<sup>2</sup>);

$\eta_{\text{пр}}$  – коэффициент использования солнечной энергии приемником;

$F$  – площадь поверхности приемника (м<sup>2</sup>);

$\tau_{\text{осв}}$  – период освещения приемника солнцем в течение суток (ч).

3. Уравнение теплового баланса приемника солнечной энергии:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{пр}},$$

или

$$24 \cdot Q_{т.сн} = E \cdot \eta_{пр} \cdot F \cdot \tau_{осв}$$

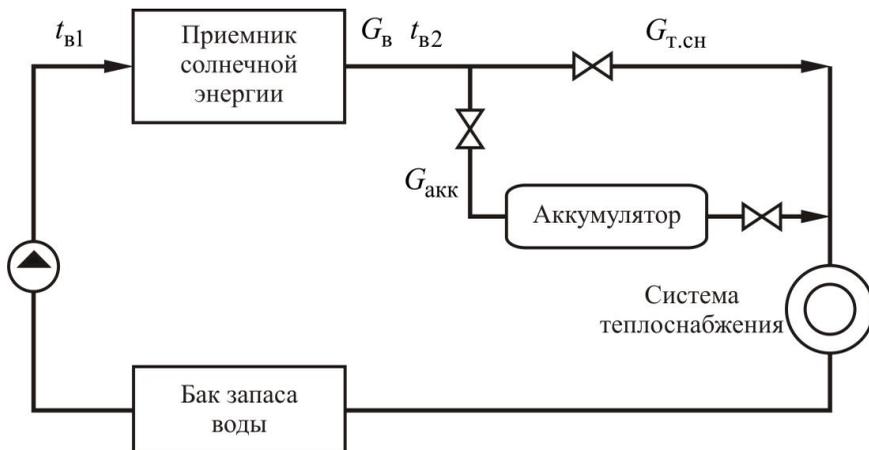


Рис. 4. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения здания

4. Площадь поверхности пластинчатого приемника солнечной энергии проточного типа:

$$F = \frac{24 \cdot Q_{т.сн}}{E \cdot \eta_{пр} \cdot \tau_{осв}} \text{ (м}^2\text{)}$$

5. Расход воды через приемник солнечной энергии:

$$G_B = \frac{Q_{сут}}{c_p \cdot (t_{B2} - t_{B1}) \cdot \tau_{осв} \cdot 3600} = \frac{24 \cdot Q_{т.сн}}{c_p \cdot (t_{B2} - t_{B1}) \cdot \tau_{осв}} \left( \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right),$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость воды 4,19 кДж/(кг·С<sup>0</sup>);

$t_{B1}$ ,  $t_{B2}$  – начальная и конечная температура воды соответственно (С<sup>0</sup>).

6. Расход воды в систему теплоснабжения здания:

$$G_{\text{т.сн}} = \frac{Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})} \left( \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right),$$

7. Расход воды в аккумулятор тепловой энергии накопительного типа:

$$G_{\text{акк}} = G_{\text{в}} - G_{\text{т.сн}} \text{ (кг/с)},$$

8. Емкость аккумулятора:

$$V = 3600 \cdot G_{\text{акк}} \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot \frac{1}{\rho} \text{ (м}^3\text{)},$$

где  $\rho$  – плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>.

### Пример расчета:

#### Исходные данные:

- тепловая мощность системы теплоснабжения  $Q_{\text{т.сн}} = 1 \text{ кВт}$ ;
- максимальная облученность приемника  $E = 550 \text{ Вт/м}^2$ ;
- коэффициент использования солнечной энергии  $\eta_{\text{пр}} = 0,8$ ;
- период освещения приемника,  $\tau_{\text{осв}} = 5 \text{ ч}$ ;
- температура воды на входе,  $t_{\text{в1}} = 32^\circ\text{C}$ ;
- температура воды на выходе,  $t_{\text{в2}} = 45^\circ\text{C}$ .

#### Определить:

- расход воды через приемник  $G_{\text{в}}$ , кг/с;
- расходы воды в систему теплоснабжения  $G_{\text{т.сн}}$  кг/с;
- расходы воды в аккумулятор тепловой энергии  $G_{\text{акк}}$ , кг/с;
- площадь поверхности приемника  $F$ , м<sup>2</sup>;
- емкость аккумулятора  $V$ , м<sup>3</sup>.

#### Решение:

## Вопросы теории и инновационных решений при использовании возобновляемых источников энергии

1. Суточное потребление тепла системой теплоснабжения:

$$Q_{\text{сут}} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\text{т.сн}} = 24 \cdot 3600 \cdot 1 = 86400 \text{ кДж}$$

2. Площадь поверхности пластинчатого приемника солнечной энергии проточного типа:

$$F = \frac{24 \cdot Q_{\text{т.сн}}}{E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{осв}}} = \frac{24 \cdot 1000}{550 \cdot 0,8 \cdot 5} = 11 \text{ м}^2$$

3. Тепло, воспринимаемое приемником солнечной энергии в течение периода освещенности:

$$Q_{\text{пр}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600 = 550 \cdot 0,8 \cdot 11 \cdot 5 \cdot 3600 = 87120 \text{ кДж}$$

4. Расход воды через приемник солнечной энергии:

$$G_{\text{в}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600} = \frac{24 \cdot 1}{4,19 \cdot (45 - 32) \cdot 5} = 0,09 \text{ кг/с}$$

5. Расход воды в систему теплоснабжения здания [6]:

$$G_{\text{т.сн}} = \frac{Q_{\text{т.сн}}}{c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})} = \frac{1}{4,19 \cdot (45 - 32)} = 0,02 \text{ кг/с}$$

6. Расход воды в аккумулятор тепловой энергии накопительного типа:

$$G_{\text{акк}} = G_{\text{в}} - G_{\text{т.сн}} = 0,09 - 0,02 = 0,07 \text{ кг/с}$$

7. Емкость аккумулятора:

$$V = 3600 \cdot G_{\text{акк}} \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot \frac{1}{\rho} = 3600 \cdot 0,07 \cdot 5 \cdot \frac{1}{1000} = 1,3 \text{ м}^3$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Галкина Н.И. Энергосбережение в системах климатизации. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие /Н.И. Галкина; Донской гос. техн. ун-т. –Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. - 98с.
2. Горяев А.А. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие /А.А. Горяев, Г.А. Шепель. – Архангельск: САФУ, 2015. – 93 с.
3. Олешкевич, М.М. Нетрадиционные источники энергии: учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений в 2 частях /М.М. Олешкевич (Часть 2). – Минск: БНТУ, 2007. – 45 с.
4. Амерханов Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии –М.: КолосС, 2003. -532с.
5. ГОСТ Р 51595-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия.
6. ГОСТ Р 51596-2000 Нетрадиционная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний.