



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

**Методические указания**  
к лабораторным занятиям  
«Исследование работы солнечного  
коллектора»  
по дисциплине

**«Современные системы  
климатизации зданий»**

Авторы  
Галкина Н. И.,  
Пирожников А. П.,  
Говорунов М. А.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Приведена методика определения основных технических характеристик плоского солнечного коллектора в лабораторных условиях. Проведены исследования влияния различных факторов на режим работы системы гелиоконтура и на технико-экономическое обоснование применяемых проектных решений.

Предназначены для бакалавров направления 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» очной и заочной формы обучения

## Авторы

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

Галкина Н.И.,

ст. преподаватель кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Пирожников А.П.,

Говорунов М.А.



## Оглавление

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1. СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2. ХАРАКТЕРИСТИКИ СК .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Лабораторная работа №1 .....</b>  | <b>9</b>  |
| Исследование эффективности работы плоского СК .....                                | 9         |
| <b>Лабораторная работа №2 .....</b>  | <b>15</b> |
| Исследование влияния угла наклона плоского СК на<br>эффективность его работы ..... | 15        |
| <b>Лабораторная работа №3 .....</b>  | <b>20</b> |
| Исследование изменения режима расхода теплоносителя<br>СК .....                    | 20        |
| <b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Приложение А.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>Приложение Б.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>Приложение В.....</b>   | <b>31</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая ситуация во всем мире характеризуется ограниченными запасами природного газа и нефти при растущем их потреблении, а также росте цен. Увеличение выбросов CO<sub>2</sub> приводит к негативным изменениям климата.

Все вышесказанное подводит нас к использованию возобновляемых источников энергии, в частности энергии солнца.

Идеальным дополнением к любому генератору теплоты является солнечная установка для нагрева воды в системах ГВС и отопления. С помощью солнечной системы можно покрыть до 60% годового потребления энергии на горячее водоснабжение. Солнечные установки, покрывающие часть нагрузки на отопление, позволяют еще больше снизить потребление топлива. С их помощью можно сэкономить до 35% годовых расходов теплоты на отопление и горячее водоснабжение.

Интеграция солнечных установок в системы теплоснабжения требует применения четко согласованных системных компонентов с целью получения максимума тепловой энергии из солнечной. В основе этого лежит правильное проектирование системы теплоснабжения.

Правильное проектирование и квалифицированное исполнение являются основными условиями не только для безотказной и эффективной работы солнечной установки, но и для безопасности людей и зданий.

Солнечная энергия может использоваться активно или пассивно. При пассивном использовании солнечной энергии солнечное излучение используется без применения вспомогательных технических средств.

Для активного использования солнечной энергии применяются системы солнечного теплоснабжения (ССТ) зданий

### 1. СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР

Основным показателем для преобразования солнечной энергии в тепловую является уровень инсоляции, который зависит от времени года, расположения и площади поглощающей поверхности.

Интенсивность излучения на поверхности Солнца составляет 63 МВт/м<sup>2</sup>. Суточное количество энергии, излучаемое с 1м<sup>2</sup>, эквивалентно теплоте сгорания 151 200 литров мазута и составляет около 1 512 000 кВт·ч.

Мощность излучения на определенной поверхности называется интенсивностью излучения. С физической точки зрения интенсивность излучения является мощностью на единицу площади ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). Интенсивность солнечного излучения сильно варьирует: от  $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$  при затянутом облаками небе до  $1\,000 \text{ Вт}/\text{м}^2$  при безоблачном небе.

Для расчета количества солнечного излучения, превращаемого в тепловую энергию, учитывается длительность излучения. Суммарной энергией солнечного излучения называется мощность за определенный период времени ( $\text{Вт}\cdot\text{ч}$ ). Суммарная энергия солнечного излучения определяется за определенный период времени (за день, месяц или год).

**Солнечный коллектор (СК)** – основной компонент ССТ (гелиосистемы), служащий для преобразования солнечного излучения в тепловую энергию. Для установок солнечного горячего водоснабжения наиболее широко применяются плоские проточные СК с одинарным или двойным остеклением (рис. 1).

Основным элементом коллектора является **абсорбер**. Именно в нем солнечное излучение преобразуется в тепловую энергию, которая затем передается теплоносителю через стенки припаянных, запрессованных или приваренных к пластинам луче-приемной поверхности трубок. Абсорбирующая панель в большинстве случаев изготовлена из листового металла, обладающего высокой теплопроводностью: медь или алюминий.

Существует два основных типа абсорбирующих панелей плоских солнечных коллекторов: пластинчатые и сплошные. Первые имеют конструктивное исполнение из двух сваренных между собой деталей: трубок, по которым протекает теплоноситель, и металлических листов. Вторые выполнены как единый элемент.

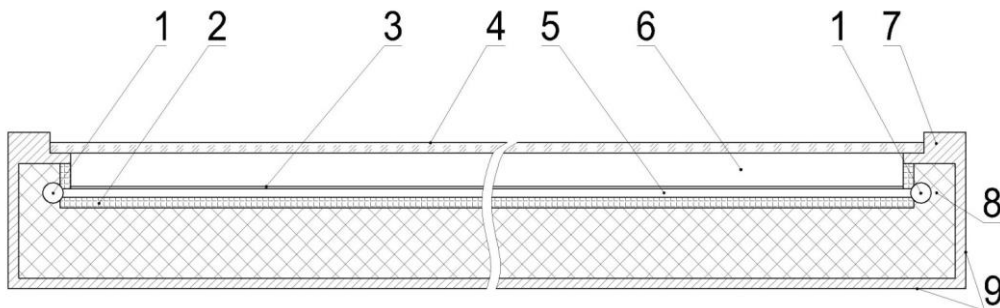


Рис.1. Конструкция плоского СК:

1 – распределительная труба коллектора; 2 – светоотражающее покрытие под абсорбирующей панелью; 3 – абсорбирующая

панель (поглощающая поверхность СК); 4 – светопрозрачное покрытие (стекло); 5 – трубка абсорбирующей панели; 6 – воздушное или безвоздушное (вакуум) пространство; 7 – уплотнители; 8 – тепловая изоляция; 9 – корпус СК.

На поверхность рассматриваемого элемента также нанесено селективное покрытие, позволяющее значительно увеличить общую эффективность системы солнечного теплоснабжения [3].

Для циркуляции теплоносителя в гелиоконтуре установок солнечного горячего водоснабжения используют насосные группы, содержащие в своем устройстве водяные циркуляционные насосы, запорно-регулирующую и измерительную арматуру. Применение данного оборудования регулируется рядом эксплуатационных требований [3].

В качестве теплоносителя широкое распространение в системах солнечного теплоснабжения получили различные антифризы: этиленгликоль, пропиленгликоль и другие. Это обусловлено необходимостью поддержания безопасного режима эксплуатации установки солнечного теплоснабжения в холодный период года в ночное время суток, когда температура окружающего воздуха имеет отрицательное значение, а интенсивность облучения равна нулю.

Передача теплоты из одного контура установки солнечного горячего водоснабжения в другой осуществляется баками-аккумуляторами с трубчатыми теплообменниками.

Существуют два основных конструктивных исполнения установок солнечного теплоснабжения: с дублирующими источниками тепла (дублерами) и без дублирующих источников тепла.

В случае если на весь расчетный период эксплуатации ССТ, без перебоев и длительного отключения, вода при нагреве только за счет солнечной энергии достигает необходимой температуры, то возможно исполнение без дублирующих источников тепловой энергии. Если же данного режима эксплуатации достигнуть невозможно, то применяется второй вариант.

В качестве дублеров используются котлы (газовые или электрические) или центральные источники тепловой энергии. Они служат для доведения температуры теплоносителя до требуемой режимом эксплуатации рассматриваемой системы (отопления, горячего водоснабжения или технологического процесса). То есть установки солнечного теплоснабжения в комплексе с дублирующими источниками тепловой энергии служат для предварительного нагрева теплоносителя и сокращения расхода ископае-

мого топлива.

Пространственное размещение СК следует определять с учетом типа застройки, ландшафтных и климатических условий, возможностей строительной площадки.

Оптимальной ориентацией СК считается юг с возможными отклонениями на восток до 20°, на запад – до 30° [4].

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ СК

Важными характеристиками СК являются:

– коэффициент отражения или излучательная способность для длинноволнового излучения поверхностей  $\varepsilon$  – безразмерная физическая величина, характеризующая способность тела отражать падающее на него излучение;

– коэффициент поглощения или поглощающая способность для солнечной энергии  $\alpha$  – безразмерная физическая величина, характеризующая способность тела поглощать падающее на него излучение [2];

– коэффициент селективности  $k_c$  (рис. 2) – отношение излучательной способности для длинноволнового излучения поверхностей  $\varepsilon$  и поглощающей способности для солнечной энергии  $\alpha$ . С помощью данной характеристики возможно произвести оценку различных типов абсорбирующих селективных поверхностей:

$$k_c = \alpha / \varepsilon$$

– КПД установки солнечного теплоснабжения или коэффициент эффективности СК – это доля солнечного излучения, попадающая на площадь апертуры СК (площадь с максимальной проекцией, на которую падает солнечное излучение.), которая преобразуется в полезную тепловую энергию. КПД СК зависит от рабочего состояния коллектора, а его определение осуществляется в соответствии с требованиями [4]:

$$\eta = 0,8 \left( \Theta - \frac{9U(0,5 \cdot (t_1 + t_2) - t_e)}{\sum_i q_i} \right),$$

где  $\Theta$  – приведенная оптическая характеристика СК;

$U$  – удельные потери тепловой энергии через изоляцию коллектора, Вт/(м<sup>2</sup>•°С);

## Современные системы климатизации зданий

$t_1$  – температура теплоносителя на входе в СК, °С;

$t_2$  – температура теплоносителя на выходе из СК, °С;

$t_e$  – средняя дневная температура воздуха расчетного периода, °С;

$\sum_i q_i$  – суммарная интенсивность падающей солнечной радиации за весь расчетный дневной период эксплуатации, Вт/м<sup>2</sup>

– угол наклона СК, относительно которого изменяется площадь лучеприемной поверхности, обращенной к Солнцу, а, следовательно, и количество поглощенной энергии [4]. Суммарная годовая энергия солнечного излучения, отнесенная к единице площади поверхности, также зависит от угла наклона СК.

– угол наклона СК, относительно которого изменяется площадь лучеприемной поверхности, обращенной к Солнцу, а, следовательно, и количество поглощенной энергии [4]. Суммарная годовая энергия солнечного излучения, отнесенная к единице площади поверхности, также зависит от угла наклона СК.

Схема ССТ, предназначенная для проведения лабораторных испытаний, приведена на рис. 3.

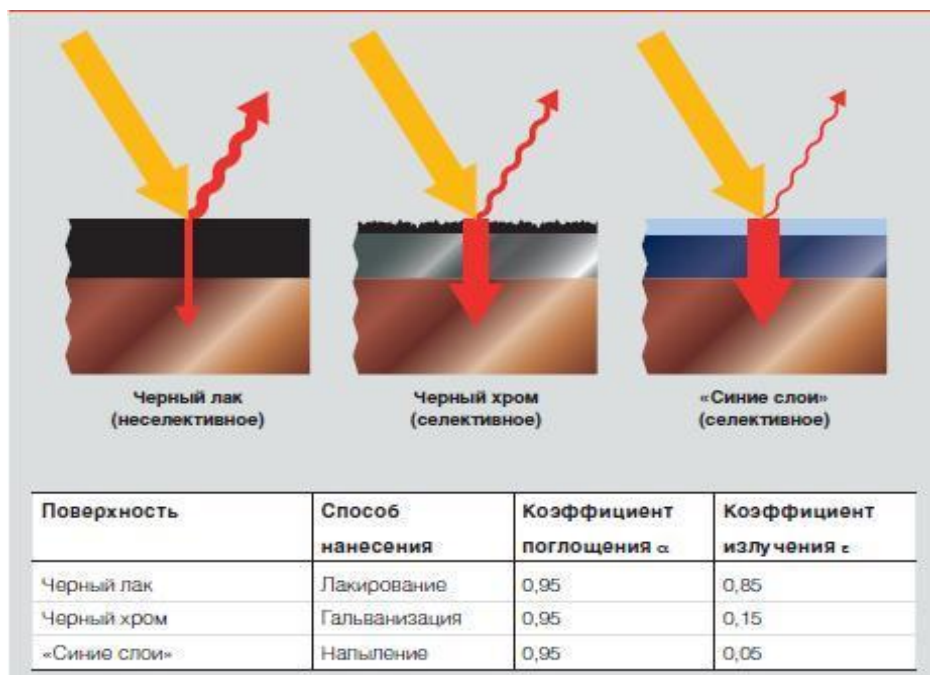


Рис.2. Коэффициенты поглощения и излучения для различных поверхностей



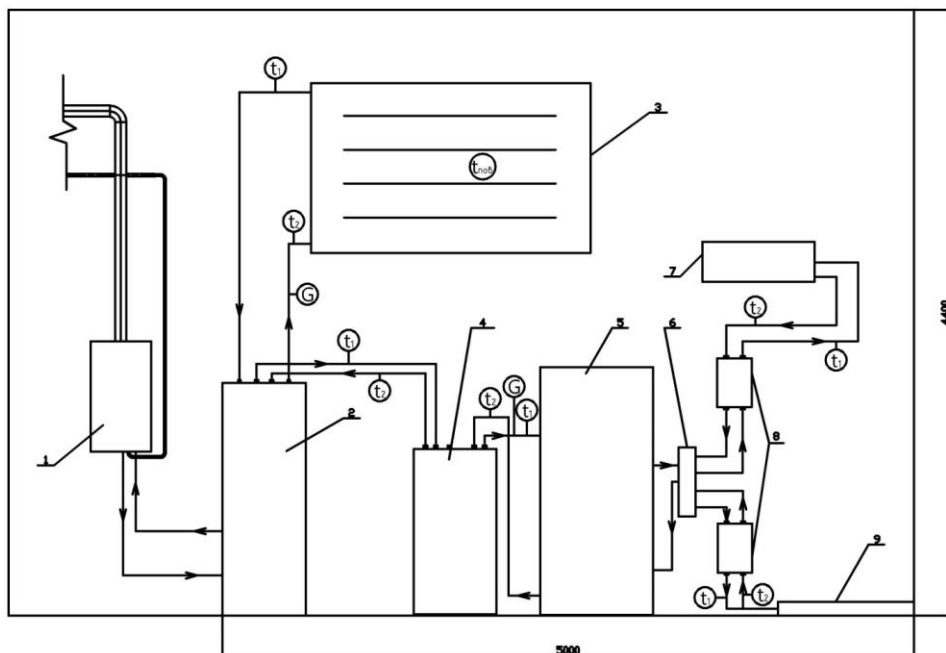


Рис.3. Схема стенда ССТ:

1 – котел газовый настенный; 2 – водонагреватель; 3 – СК;  
4 – насос тепловой; 5 – накопитель буферный; 6 – коллектор для  
насосных групп; 7– фанкойл, 8 – насосная группа; 9 – теплый  
пол.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Исследование эффективности работы плоского СК

**Цель работы:** определение коэффициента действительной эффективности работы плоского СК в лабораторных условиях. Знакомство с устройством плоского солнечного коллектор и принципом его работы.

#### **Общие положения.**

Работа системы солнечного теплоснабжения характеризуется коэффициентом эффективности СК. Эта величина зависит от

ряда условий: удельных потерь тепловой энергии через изоляцию СК –  $U, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ , интенсивности излучения –  $q, \text{Вт}/\text{м}^2$ , угла наклона СК и прочих. Все характеристики СК оказывают влияние на режим работы и общую эффективность ССТ, а также и друг на друга, что создает необходимость в применение комплексного подхода при проектировании.

***Последовательность проведение испытаний:***

- 1) Перекрыть линию тока расширительного бака;
  - 2) Заполнить систему теплоносителем, открыв линию водоснабжения;
  - 3) Перекрыть линию водоснабжения и открыть линию тока в расширительный бак.
  - 4) Снять показания датчика температуры на выходе из СК.
  - 5) Включить лампы установленной мощности на время проведения испытания (5 минут);
  - 6) Снять показания датчика температуры на выходе из СК, после выключения ламп;
  - 7) Опорожнить систему;
  - 8) Выждать 5 минут пока абсорбирующая панель остынет и повторить испытание еще два раза в той же последовательности;
- Результаты замеров свести в таблицу 1.

***Методика расчета.***

***Последовательность расчета:***

1. Вычислить объем системы:

$$V_c = V_{СК} + V_6 + V_{тр} \quad (1)$$

где  $V_{СК}$  – объем СК, определяемый по паспорту изделия, приложение В, м<sup>3</sup>;

$V_6$  – объем змеевика бака-накопителя, учитываемый при расчете объема трубопровода, м<sup>3</sup>;

$V_{тр}$  – объем трубопроводов системы гелиоустановки, определяемый по формуле (2), м<sup>3</sup>.

2. Вычислить объем трубопроводов системы гелиоустановки:

$$V_{тр} = \Sigma L \cdot d_y, \quad (2)$$

где  $L$  – протяженность участка трубопроводов системы гелиоустановки с учетом длины змеевика бака-накопителя, равной 1 м, определяемая по схеме, м;

$d_y$  – площадь сечения условного прохода расчетного участка трубопровода системы гелиоустановки, м<sup>2</sup>.

3. Вычислить количество полезно использованной тепловой энергии:

$$Q_{п} = K_{и.} \cdot Q_p - Q_{п.б.} - Q_{п.тр.} - Q_{т.}, \quad (3)$$

где  $Q_p$  – расчетное количество потребленной апертурой СК тепловой энергии, определяемое по формуле (4), Вт · ч;

$Q_{п.б.}$  – потери тепловой энергии в баке-накопителе, определяемые как потери через теплообменный трубопровод контура гелиоустановки в объеме бака, так как он во время проводимых испытаний опорожнен и отвод тепловой энергии в ССТ отсутствует (фактически внесен в формулу расчета тепловых потерь через

стенки трубопровода),  $\text{Вт} \cdot \text{ч}$ ;

$Q_{\text{п.тр.}}$  – потери тепловой энергии через стенки трубопроводов системы гелиоустановки, определяемые по формуле (5),  $\text{Вт} \cdot \text{ч}$ ;

$Q_{\text{т.}}$  – потери тепловой энергии через изоляцию СК, определяемые по формуле (6),  $\text{Вт} \cdot \text{ч}$ ;

$K_{\text{к}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий величину интенсивности излучения сторонних источников освещения,  $K_{\text{к}} = 0,98$ .

4. Вычислить расчетное количество потребленной апертурой СК тепловой энергии:

$$Q_p = 1,163 \cdot G \cdot (t_{w2} - t_{w1}), \quad (4)$$

где  $G$  – расход теплоносителя, принимаемый равным объему системы,  $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ ;

1,163 – коэффициент для перевода из  $\text{Вт}$  в  $\text{ккал/ч}$ ,  $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;

$t_{w2}$  – конечная температура нагрева теплоносителя,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{w1}$  – начальная температура нагрева теплоносителя,  $^\circ\text{C}$ .

5. Вычислить потери тепловой энергии через стенки трубопроводов системы гелиоустановки:

$$Q_{\text{п.тр.}} = 1,163 \cdot \pi \cdot \Sigma(d_{\text{н}} \cdot L) \cdot k \cdot (t_{w2} - t_{\text{в}}), \quad (5)$$

где  $d_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубопроводов системы солнечного теплоснабжения, м;

$L$  – то же, что в формуле (2), м;

$k$  – коэффициент теплопередачи стенки трубопровода, для металлополимерных труб 0,36,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ;

$t_{w2}$  – то же, что в формуле (4),  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха помещения,  $^\circ\text{C}$ .

6. Вычислить потери тепловой энергии через изоля-

цию СК (трансмиссионные):

$$Q_{\tau} = 1,163 \cdot U \cdot F, \quad (6)$$

где  $U$  – удельные потери тепловой энергии через изоляцию СК, определяемые по паспорту изделия (прил. В),  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;

$F$  – площадь апертуры СК, определяемая по паспорту изделия, Приложение В,  $\text{м}^2$ .

7. Вычислить количество излучаемой лампами тепловой энергии:

$$Q_{\lambda} = 1,163 \cdot n \cdot N_{\lambda}, \quad (7)$$

где  $n$  – кол-во ламп.

$N_{\lambda}$  – установленная мощность одной лампы, Вт.

8. Относительно полученных в трех испытаниях значений  $Q_{\lambda}$  вычислить среднее значение полезно использованной тепловой энергии:

$$Q_{\text{ср.п.}} = \frac{\sum Q_{\lambda}}{i}, \quad (8)$$

где  $Q_{\lambda}$  – кол-во полезно использованной тепловой энергии в испытании, по формуле (3), Вт · ч;

$i$  – кол-во опытов, Вт.

9. Вычислить коэффициент действительной эффективности работы СК:

$$\eta_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{ср.п.}}}{Q_{\lambda}}, \quad (9)$$

где  $Q_{\text{ср.п.}}$  – среднее количество полезно использованной тепловой энергии в опытах, определенное по формуле (8), Вт · ч;

$Q_{\lambda}$  – количество излучаемой лампами тепловой энергии,

определенное по формуле (7) Вт · ч.

10. Получив коэффициент действительной эффективности работы СК, провести сравнение с номинальным по паспорту и вычислить невязку:

$$\Theta = \frac{(\eta_{\text{д}} - \eta_{\text{н}})}{\eta_{\text{д}}} \cdot 100\% , \quad (10)$$

где  $\eta_{\text{д}}$  – коэффициент действительной эффективности работы СК, определенный по формуле (9);

$\eta_{\text{н}}$  – коэффициент номинальной эффективности работы СК, определенный по паспорту изделия (прил. В).

Результаты вычислений свести в табл. 1.

Допустимое отклонение значения невязки:  $\Theta \leq 0,05$  .

Вывод должен отображать оценку проведенного исследования, с учетом полученных расчетных значений, из которых невязка является величиной, позволяющей отобразить суть лабораторной работы. Относительно данного значения определяется необходимость проведения мероприятий по улучшению эффективности работы СК (например, проведение реконструкции системы, исходя из учета возможного нарушения гидравлического и теплового режимов гелиоконтур).

Таблица 1

Результаты замеров и вычислений

| Величина   | № опыта |   |   |
|--|---------|---|---|
|  | 1       | 2 | 3 |
| Начальная температура нагрева теплоносителя, $t_{w1}$ , °C                                   |         |   |   |
| Конечная температура нагрева теплоносителя, $t_{w2}$ , °C                                    |         |   |   |
| Расход теплоносителя, $G$ , $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$                                     |         |   |   |
| Расчетное количество потребленной апертурой СК тепловой энергии, $Q_p$ , Вт•ч                |         |   |   |
| Потери тепловой энергии через стенки трубопроводов системы гелиоустановки, $Q_{п.тр}$ , Вт•ч |         |   |   |
| Потери тепловой энергии через изоляцию СК, $Q_{т}$ , Вт•ч                                    |         |   |   |
| Количество полезно использованной тепловой энергии, $Q_{п}$ , Вт•ч                           |         |   |   |
| Количество излучаемой лампами тепловой энергии, $Q_{л}$ , Вт•ч                               |         |   |   |
| Коэффициент действительной эффективности работы СК, $\eta_d$                                 |         |   |   |
| Коэффициент номинальной эффективности работы СК, $\eta_n$                                    |         |   |   |
| Невязка, $\Theta$  |         |   |   |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Исследование влияния угла наклона плоского СК на эффективность его работы

**Цель работы:** закрепление теоретической базы по основным характеристикам СК. Знакомство с нормативной литературой и с методикой выбора основных расчетных параметров при проектировании ССТ.

**Основные положения.**

Основное влияние на эффективность работы СК оказывает угол его наклона относительно падающих солнечных лучей. Для достижения максимального КПД, необходима установка СК строго в проектном положении. Оптимальное значение данной характеристики позволить достичь наивысших показателей технико-экономического обоснования, применяемой системы. В соответствии с [4, п.3.9] гол наклона СК к горизонту следует принимать для установки, работающей круглый год, равным широте местности; в летний период – широте местности минус 15°; в отопительный период – широте местности плюс 15°.

**Методика расчета.****Последовательность расчета:**

1. Вычислить интенсивность падающей солнечной радиации для каждого расчетного часа:

$$q_i = P_s \cdot I_s + P_d \cdot I_d, \quad (1)$$

где  $I_s$  – интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, определяемая по прил. А, Вт/м<sup>2</sup>;

$I_d$  – интенсивность рассеянной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, определяемая по прил. А, Вт/м<sup>2</sup>;

$P_s$  – коэффициент положения СК для прямой солнечной радиации, определяемый по прил. Б;

$P_d$  – коэффициент положения СК для рассеянной солнечной радиации, рассчитываемый по формуле 2.

2. Вычислить коэффициент положения СК для рассеянной солнечной радиации:



$$P_d = \frac{\cos^2 b}{2}, \quad (2)$$

где  $b$  – угол наклона СК к горизонту (в первом расчете принять оптимальный для Ростовской области при расчете на летний период года).

Значение  $P_s$  находят путем интерполяции относительно известных значений угла наклона солнечного коллектора к горизонту и широты местности как среднее для всех расчетных месяцев. Для Ростовской области зимний период рассматриваться не может, поэтому для расчетов принимается период с 5 по 9 месяцы. То есть период с мая по сентябрь – наиболее теплые месяцы для рассматриваемого региона. Полученные значения  $P_s$  для каждого месяца, суммируют и делят на кол-во расчетных месяцев, вычисляя искомую расчетную величину коэффициента.

Расчет выполняется в табличной форме (табл. 2).

Таблица 2

Интенсивность солнечной радиации для заданных условий

| Часы         | $I_s$ | $I_d$ | $P_s$ | $P_d$ | $q_i$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8-9          |       |       |       |       |       |
| 9-10         |       |       |       |       |       |
| 10-11        |       |       |       |       |       |
| 11-12        |       |       |       |       |       |
| 12-13        |       |       |       |       |       |
| 13-14        |       |       |       |       |       |
| 14-15        |       |       |       |       |       |
| 15-16        |       |       |       |       |       |
| 16-17        |       |       |       |       |       |
| 17-18        |       |       |       |       |       |
| 18-19        |       |       |       |       |       |
| 19-20        |       |       |       |       |       |
| $\Sigma q_i$ |       |       |       |       |       |

1. Вычислить коэффициент эффективности работы СК:

$$\eta = 0,8 \left( \Theta - \frac{9U(0,5 \cdot (t_1 + t_2) - t_e)}{\sum_i q_i} \right), \quad (3)$$

где  $\Theta$  – приведенная оптическая характеристика СК, определяемая по паспорту изделия (прил. В);

$U$  – удельные потери тепловой энергии через изоляцию коллектора, определяемые по паспорту изделия (прил. В), Вт/(м<sup>2</sup>•°С);

$t_1$  – температура теплоносителя на входе в СК, табл. 1, °С;

$t_2$  – температура теплоносителя на выходе из СК, табл. 1, °С;

$t_e$  – внутренняя температура воздуха помещения, °С;

$\sum_i q_i$  – суммарная интенсивность падающей солнечной

радиации за весь расчетный дневной период эксплуатации, определяемая согласно расчетам по табл. 2, Вт/м<sup>2</sup>.

2. Условно изменить угол наклона СК в диапазоне от 0 до 90° относительно оптимального и повторить расчет ещё три раза с целью получения большей точности измерений.

Полученные расчетные данные занести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты вычислений

| Величина   | № расчета |   |   |   |
|--|-----------|---|---|---|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 |
| Начальная температура нагрева теплоносителя, $t_1, ^\circ\text{C}$ |           |   |   |   |
| Конечная температура нагрева теплоносителя, $t_2, ^\circ\text{C}$  |           |   |   |   |

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| Расход теплоносителя, $G, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  |  |  |  |  |
| Угол наклона СК к горизонту в каждом расчете, $b$  |  |  |  |  |
| Коэффициент номинальной эффективности работы СК, $\eta_n$  |  |  |  |  |
| Интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, $I_s, \text{Вт/м}^2$                          |  |  |  |  |
| интенсивность рассеянной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, $I_d, \text{Вт/м}^2$                      |  |  |  |  |
| Коэффициент положения СК для прямой солнечной радиации, $P_s$  |  |  |  |  |
| Коэффициент положения СК для рассеянной солнечной радиации, $P_d$  |  |  |  |  |
| Суммарная интенсивность падающей солнечной радиации за весь расчетный дневной период эксплуатации, $\sum_i q_i, \text{Вт/м}^2$ |  |  |  |  |
| Приведенная оптическая характеристика СК, $\Theta$   |  |  |  |  |
| Удельные потери тепловой энергии через изоляцию коллектора, $U, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$                   |  |  |  |  |
| Внутренняя температура воздуха помещения, $t_e, ^\circ\text{C}$  |  |  |  |  |
| Коэффициент действительной эффективности работы СК, $\eta_o$   |  |  |  |  |

В выводе по проведенной лабораторной работе необходимо дать заключение о соответствии конечного результате каждого испытания относительно оптимального варианта.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Исследование изменения режима расхода теплоносителя СК

**Цель работы:** знакомство с режимами работы плоского СК. Обретение навыков оценки и выбора оптимального технико-экономического обоснования применяемых проектных решений при различных условиях эксплуатации ССТ. Закрепление изученного материала в предыдущих лабораторных работах.

#### **Основные положения.**

Существует три режима расхода теплоносителя:

– минимальный – режим расхода, при котором количество протекающего теплоносителя в гелиосистеме меньше номинальной величины, а его температура значительно выше, вследствие необходимости обеспечения требуемых условий эксплуатации;

– максимальный – режим расхода, противоположный минимальному;

– регулируемый – режим расхода, при котором количество протекающего в гелиоконтуре теплоносителя регулируется в зависимости от условий эксплуатации.

При проектировании ССТ данная характеристика является одной из обязательных, так как оказывает сильное влияние на общее технико-экономическое обоснование.

При минимальном расходе эффективность работы системы будет ниже, но затраты на ее конструирование сократятся, вследствие уменьшения проходного сечения трубопроводов, установки насосной группы меньшей мощности и меньшей площади СК (или меньшего их количества). Однако применение системы с данным

режимом расхода в теплый период года будет нецелесообразно, ввиду частого нарушения безопасности эксплуатации, вызываемого достижением критической температуры или даже режима стагнации гелиоконтура.

При максимальном расходе эффективность работы будет выше, но капиталовложение на конструирование гелиоконтура возрастут. А также применение ССТ с данным режимом расхода теплоносителя будет нецелесообразно в холодный период года, так как достижение расчетной температуры нагрева теплоносителя, будет в ряде случаев невозможно из-за низкой интенсивности излучения.

При регулируемом режиме, помимо увеличения материалоемкости системы, также необходима установка программируемого насоса с частотным модулем, что также увеличивает капиталовложения, однако нивелирует ограничение по сезонности применения ССТ.

### ***Методика расчета.***

#### ***Последовательность расчета:***

1. Вычислить разность температур:

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot A \cdot \sum_i q_i}{1,163 \cdot G}, \quad (1)$$

где  $G$  – расход теплоносителя, таблица 1,  $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ ;

$\sum_i q_i$  – суммарная интенсивность падающей солнечной

радиации за весь расчетный дневной период эксплуатации, таблица 3,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

1,163 – коэф. для перевода из Вт в ккал/ч,  $\frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кГ}\cdot^\circ\text{С}}$ ;

$A$  – площадь апертуры СК, таблица 1, м<sup>2</sup>;

$\eta$  – коэффициент эффективности СК (для данного расчета условно принимаемый равным 1);

2. Коэффициент эффективности работы СК:

$$\eta_o = 0,8 \left( \Theta - \frac{9U(0,5 \cdot (\Delta T + 2 \cdot t_1) - t_e)}{\sum_i q_i} \right), \quad (2)$$

где  $\Theta$  – приведенная оптическая характеристика СК (табл. 3);

$U$  – удельные потери тепловой энергии через изоляцию коллектора, таблица 3, Вт/(м<sup>2</sup>•°С);

$t_1$  – температура теплоносителя на входе в СК, таблица 3, °С;

$\Delta T$  – разность температур теплоносителя на входе в СК и выходе из него, °С;

$t_e$  – температура внутреннего воздуха помещения, °С;

$\sum_i q_i$  – суммарная интенсивность падающей солнечной радиации за весь расчетный дневной период эксплуатации (табл. 3) Вт/м<sup>2</sup>;

3. Площадь СК:

$$A = \frac{1,163 \cdot \Delta T}{\eta_o \cdot \sum_i q_i}, \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – то же, что в формуле (2), °C;

$\eta_0$  – коэффициент эффективности работы СК (табл. 1);

$\sum_i q_i$  – суммарная интенсивность падающей солнечной ради-

ации за весь расчетный дневной период эксплуатации (табл. 3), Вт/м<sup>2</sup>.

Полученные расчетные данные необходимо проанализировать и на их основе построить графики линейных зависимостей (рис. 4,5), служащие наглядным представлением проведенного исследования.

В выводе следует отобразить сущность выполненного исследования. Дать краткую характеристику каждому расчетному случаю, изложив его технико-экономическое обоснование для возможных условий эксплуатации.

Полученные расчетные данные занести в табл. 4.

Таблица 4

Результаты вычислений

| Величина  | № расчета |    |    |    |    |    |
|---|-----------|----|----|----|----|----|
|   | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| Расход теплоносителя, $G, \frac{кг}{ч}$   | 15        | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| Площадь апертуры СК, $A, м^2$   |           |    |    |    |    |    |
| Суммарная интенсивность падающей солнечной радиации за весь расчетный дневной период эксплуатации (при оптимальном угле наклона СК к горизонту), $\sum_i q_i, Вт/м^2$ |           |    |    |    |    |    |

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Разность температур теплоносителя на входе в СК и выходе из него, $\Delta T, ^\circ\text{C}$                 |  |  |  |  |  |  |
| Приведенная оптическая характеристика СК, $\Theta$   |  |  |  |  |  |  |
| Удельные потери тепловой энергии через изоляцию коллектора, $U, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ |  |  |  |  |  |  |
| Внутренняя температура воздуха помещения, $t_e, ^\circ\text{C}$  |  |  |  |  |  |  |
| Коэффициент действительной эффективности работы СК, $\eta_\delta$  |  |  |  |  |  |  |

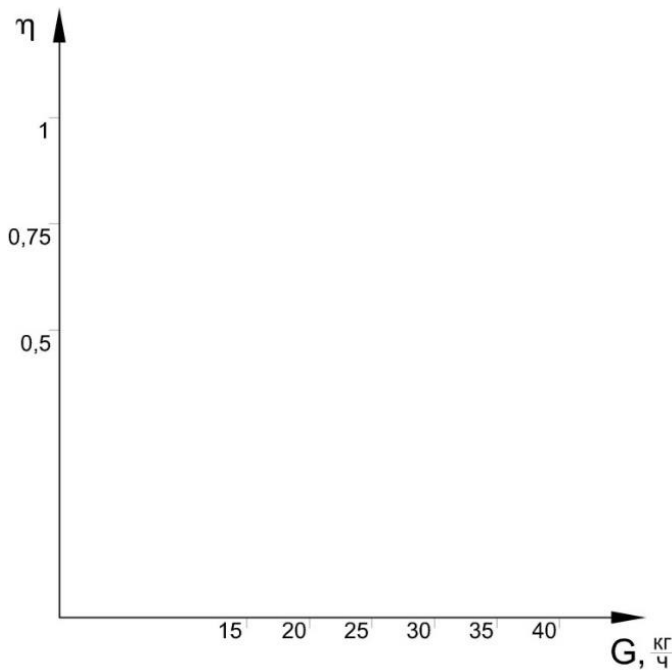


Рис. 4. График зависимости эффективности работы СК от расхода теплоносителя.



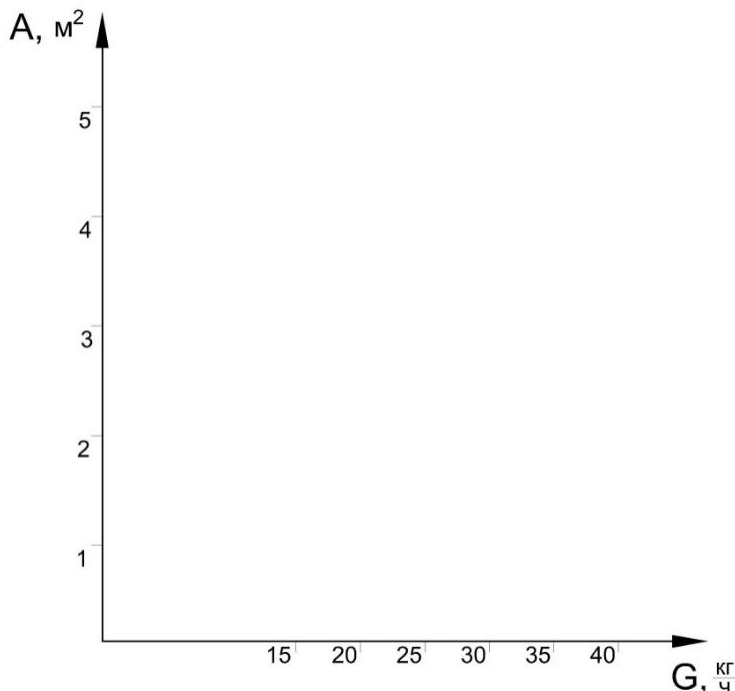


Рис. 5. График зависимости площади апертуры СК от расхода теплоносителя.

## 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. – 98 с.

2. А. В. Шашев, Е. А. Герман, Ю. Ю. Почекайлов, Современные селективные покрытия солнечных коллекторов. – М.: АГТУ. – 2016. – С 5.

3. EN 12975 Установки солнечные термические и их компоненты. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 16 с.

4. ВСН 52-86 Установки солнечные горячего водоснабжения. Нормы проектирования. – Введ. 1987-07-01. – М.: Госгражданстрой СССР, 1986.– 12 с.

5. Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. – М.: ИП РадиоСофт, 2008. – 228 с.

В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Ма-

линин. Солнечная энергетика: учебно пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Таблица А

Количество теплоты солнечной радиации, поступающей на вертикальную и горизонтальную поверхности в июле (для северной широты) и в январе (для южной широты) при безоблачном небе (Для определения  $I_s$  и  $I_d$ )



Современные системы климатизации зданий

| Географическая широта, град | Истинное солнечное время, ч |               | Количество теплоты, Вт/м <sup>2</sup> , поступающей на поверхность |         |         |         |        |        |        |                |         |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------|--|---------|---------|---------|--------|--------|--------|----------------|---------|
|                             |                             |               | вертикальную с ориентацией до полудня                              |         |         |         |        |        |        | горизонтальную |         |
|                             | до полудня                  | после полудня | С(Ю)   | СВ(ЮВ)  | В       | ЮВ(СВ)  | Ю(С)   | ЮЗ(СЗ) | З      | СЗ(ЮЗ)         |         |
|                             |                             |               | после полудня  |         |         |         |        |        |        |                |         |
|                             |                             |               | С(Ю)   | СЗ(ЮЗ)  | З       | ЮЗ(СЗ)  | Ю(С)   | ЮВ(СВ) | В      | СВ(ЮВ)         |         |
| 0                           | 6-7                         | 17-18         | 105/42   | 258/35  | 264/49  | 112/52  | -28    | -21    | -21    | -21            | 84/17   |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 244/84   | 488/107 | 462/144 | 198/140 | -98    | -63    | -56    | -63            | 451/116 |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 290/84   | 507/126 | 517/160 | 198/167 | -132   | -88    | -81    | -76            | 451/116 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 312/84   | 558/119 | 479/147 | 105/160 | -132   | -98    | -91    | -93            | 628/140 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | 317/81   | 430/105 | 317/128 | 7/143   | -133   | -108   | -98    | 28/96          | 754/143 |
|                             | 11-12                       | 12-13         | 321/77   | 291/101 | 119/116 | -133    | -126   | -105   | 154/96 | 154/96         | 826/148 |
| 4                           | 6-7                         | 17-18         | 115/49   | 293/42  | 281/63  | 128/62  | -42    | -23    | -21    | -24            | 105/26  |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 227/87   | 505/112 | 473/149 | 209/144 | -101   | -65    | -57    | -64            | 279/75  |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 259/90   | 575/128 | 516/160 | 220/167 | -130   | -88    | -81    | -72            | 465/116 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 270/90   | 530/119 | 472/148 | 150/157 | -130   | -98    | -91    | -92            | 657/140 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | 272/86   | 391/103 | 314/128 | 21/140  | -130   | -107   | -98    | 10/95          | 783/143 |
|                             | 11-12                       | 12-13         | 268/79   | 254/100 | 117/116 | -130    | -130   | -123   | -105   | 112/95         | 842/148 |
| 8                           | 5-6                         | 18-19         | 7/1  | -       | 14/1    | -       | -      | -      | -      | -              | -       |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 126/56   | 324/49  | 307/70  | 137/71  | -49    | -26    | -24    | -28            | 119/32  |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 209/91   | 510/116 | 485/154 | 223/149 | -105   | -66    | -58    | -66            | 300/84  |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 231-95   | 564/130 | 516/162 | 241/169 | -128   | -87    | -81    | -77            | 489/122 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 226/93   | 501/119 | 465/149 | 185/155 | -128   | -96    | -91    | -91            | 672/140 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | 417/86   | 355/102 | 311/128 | 45/136  | -128   | -106   | -94    | -94            | 802/143 |
| 11-12                       | 12-13                       | 219/79        | 211/99   | 116/116 | -129    | -128    | -121   | 70/94  | 70/94  | 856/149        |         |
| 12                          | 5-6                         | 18-19         | 12/5   | 35/3    | 23/6    | 10/2    | -5     | -1     | -      | -              | 9/1     |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 130/65   | 345/56  | 326/81  | 145/80  | -58    | -28    | -31    | -31            | 137/38  |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 198/94   | 523/121 | 492/158 | 236/154 | -106   | -67    | -63    | -69            | 314/90  |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 198/96   | 555/133 | 516/163 | 263/169 | -126   | -86    | -83    | -77            | 508/126 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 179/95   | 471/119 | 463/151 | 220/151 | -126   | -95    | -91    | -90            | 691/143 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | 160/88   | 326/101 | 307/128 | 87/131  | -127   | -105   | -96    | -93            | 814/145 |
| 11-12                       | 12-13                       | 151/84        | 174/98   | 116/116 | -128    | -127    | -119   | -105   | 35/98  | 865/149        |         |
| 16                          | 5-6                         | 18-19         | 22/8   | 42/7    | 45/10   | 21/7    | -7     | -2     | -2     | -1             | 14/2    |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 136/70   | 369/63  | 345/91  | 155/81  | -58    | -30    | -35    | -35            | 154/47  |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 185/98   | 518/124 | 500/162 | 249/156 | -108   | -68    | -66    | -69            | 333/97  |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 162/99   | 536/135 | 516/163 | 285/169 | -124   | -86    | -83    | -78            | 523/129 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 131/98   | 438/117 | 459/151 | 256/148 | -124   | -94    | -91    | -88            | 706/143 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | 108/91   | 291/100 | 304/127 | 126/128 | -125   | -104   | -95    | -92            | 829/145 |
| 11-12                       | 12-13                       | 90/87         | 140/96   | 115/115 | 14/126  | -125    | -116   | -105   | 21/92  | 872/151        |         |
| 20                          | 5-6                         | 18-19         | 31/13  | 70/10   | 58/15   | 28/13   | -10    | -5     | -5     | -5             | 23/7    |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 137/74   | 391/70  | 363/102 | 163/32  | -62    | -33    | -37    | -38            | 170/51  |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 167/100  | 516/128 | 507/166 | 262/158 | -109   | -70    | -67    | -71            | 347/102 |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 126/101  | 520/138 | 515/166 | 307/170 | -122   | -85    | -84    | -78            | 531/129 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 81/100   | 405/117 | 456/151 | 291/144 | -122   | -93    | -90    | -87            | 729/143 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | 47/93  | 524/100 | 302/127 | 167/125 | -122   | -102   | -95    | -91            | 835/145 |
| 11-12                       | 12-13                       | 28/91         | 98/95  | 114/115 | 42/122  | -122    | -113   | -105   | -91    | 877/151        |         |
| 24                          | 5-6                         | 18-19         | 41/18  | 105/14  | 70/23   | 33/17   | -14    | -9     | -9     | -7             | 37/9    |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 237/80   | 409/78  | 389/112 | 172/84  | -65    | -35    | -42    | -42            | 179/56  |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 148/101  | 516/133 | 515/170 | 276/160 | -110   | -72    | -70    | -72            | 358/102 |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 88/105   | 498/142 | 515/169 | 329/171 | -118   | -85    | -85    | -79            | 533/129 |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 31/101   | 370/117 | 454/154 | 323/140 | -118   | -93    | -88    | -86            | 723/143 |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -95  | 213/99  | 300/126 | 213/122 | 14/119 | -100   | -94    | -89            | 836/146 |
| 11-12                       | 12-13                       | -94           | 59/94  | 112/115 | 79/119  | 35/119  | -109   | -05    | -98    | 878/151        |         |



Современные системы климатизации зданий

| Географическая широта, град | Истинное солнечное время, ч |               | Количество теплоты, Вт/м <sup>2</sup> , поступающей на поверхность |         |         |         |         |         |        |                |               |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------------|---------------|
|                             |                             |               | вертикальную с ориентацией до полудня                              |         |         |         |         |         |        | горизонтальную |               |
|                             | до полудня                  | после полудня | С(Ю)   | СВ(ЮВ)  | В       | ЮВ(СВ)  | Ю(С)    | ЮЗ(СЗ)  | З      | СЗ(ЮЗ)         |               |
|                             |                             |               |  |         |         |         |         |         |        |                | после полудня |
|                             |                             |               | С(Ю)   | СЗ(ЮЗ)  | З       | ЮЗ(СЗ)  | Ю(С)    | ЮВ(СВ)  | В      | СВ(ЮВ)         |               |
| 28                          | 5-6                         | 18-19         | 53/23  | 119/19  | 91/31   | 41/22   | -16     | -14     | -10    | -13            | 46/15         |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 137/86   | 430/86  | 398/122 | 180/92  | -65     | -37     | -44    | -47            | 279/64        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 119/104  | 516/137 | 520/174 | 288/164 | -109    | -73     | -72    | -74            | 358/105       |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 49/105   | 465/143 | 515/174 | 351/172 | -116    | -85     | -86    | -80            | 533/130       |
|                             | 9-10                        | 14-15         | 1/102  | 337/116 | 451/154 | 345/137 | 2/116   | -93     | -87    | -85            | 723/143       |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -97  | 174/98  | 297/126 | 256/121 | 52/116  | -99     | -93    | -88            | 835/145       |
|                             | 11-12                       | 12-13         | 93   | 32/93   | 110/114 | 129/116 | 98/116  | 14/107  | -105   | -88            | 878/151       |
| 32                          | 5-6                         | 18-19         | 70/29  | 151/23  | 112/41  | 56/27   | -19     | -17     | -10    | -19            | 46/23         |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 132/91   | 440/94  | 415/137 | 190/100 | -66     | -40     | -44    | -55            | 170/70        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 84/107   | 393/142 | 327/177 | 300/169 | -109    | -76     | -72    | -76            | 345/105       |
|                             | 8-9                         | 15-16         | 7/105  | 436/145 | 515/174 | 371/173 | 10/114  | -84     | -86    | -80            | 522/130       |
|                             | 9-10                        | 14-15         | -102   | 300/115 | 450/150 | 364/135 | 66/114  | -92     | -87    | -84            | 688/143       |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -93  | 143/97  | 293/126 | 278/119 | 135/114 | -98     | -93    | -87            | 802/145       |
|                             | 11-12                       | 12-13         | -93  | -92     | 108/114 | 165/114 | 157/114 | 35/105  | -105   | -87            | 787/151       |
| 36                          | 5-6                         | 18-19         | 79/32  | 183/28  | 151/45  | 60/31   | -21     | -21     | -17    | -23            | 48/35         |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 128/93   | 454/102 | 442/147 | 212/108 | -70     | -42     | -47    | -63            | 164/77        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 58/107   | 188/146 | 535/177 | 314/172 | -107    | -77     | -72    | -77            | 334/105       |
|                             | 8-9                         | 15-16         | -99  | 393/147 | 515/174 | 315/174 | 28/109  | -84     | -85    | -81            | 521/133       |
|                             | 9-10                        | 14-15         | -93  | 265/114 | 440/147 | 384/133 | 119/111 | -91     | -86    | -82            | 654/143       |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -91  | 98/97   | 286/120 | 308/116 | 188/112 | -96     | -91    | -94            | 770/149       |
|                             | 11-12                       | 12-13         | -91  | -91     | 105/108 | 200/112 | 217/112 | 80/104  | -98    | -87            | 849/151       |
| 40                          | 5-6                         | 18-19         | 105/43   | 193/63  | 243/63  | 66/46   | -27     | -27     | -28    | -29            | 56/42         |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 104/95   | 398/130 | 476/151 | 225/116 | -72     | -56     | -59    | -63            | 168/84        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 52/106   | 428/154 | 561/179 | 364/148 | -95     | -76     | -73    | -77            | 338/105       |
|                             | 8-9                         | 15-16         | -96  | 335/140 | 542/164 | 425/146 | 60/106  | -81     | -81    | -81            | 509/119       |
|                             | 9-10                        | 14-15         | -86  | 200/108 | 442/134 | 417/129 | 150/106 | -85     | -84    | -84            | 635/126       |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -82  | 55/96   | 276/110 | 352/112 | 229/109 | -91     | -88    | -87            | 743/135       |
|                             | 11-12                       | 12-13         | -81  | -91     | 101/99  | 254/104 | 257/110 | 119/98  | 101/99 | -87            | 788/140       |
| 44                          | 5-6                         | 18-19         | 125/52   | 252/72  | 332/79  | 95/53   | -31     | -30     | -30    | -31            | 77/49         |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 99/94  | 437/133 | 514/151 | 256/116 | -73     | -59     | -59    | -60            | 181/84        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | 20/104   | 424/149 | 527/177 | 395/148 | 7/96    | -74     | -73    | -74            | 349/102       |
|                             | 8-9                         | 15-16         | -96  | 324/137 | 563/163 | 467/146 | 99/106  | -81     | -80    | -81            | 509/112       |
|                             | 9-10                        | 14-15         | -86  | 170/108 | 452/135 | 460/136 | 199/110 | -85     | -81    | -84            | 621/126       |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -81  | 38/96   | 279/108 | 380/116 | 276/113 | 19/91   | -81    | -86            | 718/131       |
|                             | 11-12                       | 12-13         | -80  | -91     | 105/98  | 297/107 | 314/114 | 150/104 | -83    | -87            | 761/133       |
| 48                          | 4-5                         | 19-20         | 45/8   | 70/19   | 90/16   | 2/10    | -7      | -6      | -6     | -8             | 16/13         |
|                             | 5-6                         | 18-19         | 141/60   | 191/81  | 371/88  | 125/62  | -36     | -35     | -34    | -35            | 91/56         |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 90/93  | 437/133 | 536/155 | 286/116 | -73     | -58     | -59    | -59            | 209/84        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | -101   | 420/144 | 590/174 | 427/148 | 28/99   | -74     | -72    | -72            | 356/99        |
|                             | 8-9                         | 15-16         | -94  | 305/134 | 565/164 | 497/151 | 137/110 | -81     | -78    | -80            | 499/112       |
|                             | 9-10                        | 14-15         | -86  | 143/109 | 454/135 | 492/144 | 242/116 | -88     | -79    | -84            | 593/126       |
|                             | 10-11                       | 13-14         | -81  | 22/96   | 279/110 | 429/127 | 327/118 | 41/94   | -81    | -86            | 685/129       |
| 11-12                       | 12-13                       | -80           | -91  | 105/98  | 335/113 | 370/120 | 190/105 | 87      | -87    | 733/133        |               |
| 52                          | 4-5                         | 19-20         | 100/17   | 108/32  | 160/29  | 5/20    | -10     | -12     | -13    | -12            | 33/21         |
|                             | 5-6                         | 18-19         | 155/73   | 342/93  | 442/99  | 154/71  | -43     | -35     | -39    | -37            | 119/56        |
|                             | 6-7                         | 17-18         | 77/93  | 449/131 | 664/160 | 316/122 | -80     | -58     | -59    | -59            | 223/84        |
|                             | 7-8                         | 16-17         | -96  | 418/143 | 607/174 | 457/149 | 58/102  | -73     | -72    | -72            | 364/100       |
|                             | 8-9                         | 15-16         | -91  | 281/130 | 572/166 | 521/154 | 171/114 | -85     | -77    | -79            | 495/112       |

## Современные системы климатизации зданий

| Географическая широта, град | Истинное солнечное время, ч |       | Количество теплоты, Вт/м <sup>2</sup> , поступающей на поверхность |         |         |         |         |         |     |        |                |      |
|-----------------------------|-----------------------------|-------|--|---------|---------|---------|---------|---------|-----|--------|----------------|------|
|                             |                             |       | вертикальную с ориентацией до полудня                              |         |         |         |         |         |     |        | горизонтальную |      |
|                             |                             |       | С(Ю)   | СВ(ЮВ)  | В       | ЮВ(СВ)  | Ю(С)    | ЮЗ(СЗ)  | З   | СЗ(ЮЗ) |                |      |
|                             |                             |       | после полудня  |         |         |         |         |         |     |        |                |      |
| С(Ю)                        | СЗ(ЮЗ)                      | З     | ЮЗ(СЗ)   | Ю(С)    | ЮВ(СВ)  | В       | СВ(ЮВ)  |         |     |        |                |      |
|                             | 9-10                        | 14-15 | -85  | 119/107 | 457/135 | 518/149 | 283/119 | -92     | -77 | -81    | 586/119        |      |
|                             | 10-11                       | 13-14 | -81  | 8/93    | 280/113 | 465/131 | 378/121 | 65/98   | -81 | -84    | 666/126        |      |
|                             | 11-12                       | 12-13 | -80  | -87     | 105/98  | 373/116 | 424/123 | 230/105 | -87 | -85    | 719/133        |      |
| 56                          | 4-5                         | 19-20 | 136/26   | 187/44  | 258/36  | 23/27   | -16     | -17     | -17 | -16    | 62/27          |      |
|                             | 5-6                         | 18-19 | 159/76   | 391/95  | 482/101 | 184/77  | -46     | -37     | -41 | -41    | 140/56         |      |
|                             | 6-7                         | 17-18 | 64/90  | 460/125 | 594/156 | 346/121 | -78     | -56     | -58 | -59    | 237/77         |      |
|                             | 7-8                         | 16-17 | -87  | 414/133 | 621/165 | 488/142 | 83/101  | -72     | -65 | -72    | 359/96         |      |
|                             | 8-9                         | 15-16 | -83  | 260/119 | 579/155 | 551/145 | 207/114 | -86     | -74 | -76    | 482/105        |      |
|                             | 9-10                        | 14-15 | -78  | 93/95   | 461/121 | 551/138 | 327/120 | -92     | -76 | -77    | 572/119        |      |
|                             | 10-11                       | 13-14 | -77  | -84     | 283/102 | 502/124 | 428/122 | 91/98   | -79 | -78    | 650/122        |      |
|                             | 11-12                       | 12-13 | -74  | -80     | 105/91  | 413/107 | 479/124 | 260/102 | -85 | -79    | 691/126        |      |
|                             | 60                          | 3-4   | 20-21  | 59/8    | 73/13   | 108/10  | 12/9    | -7      | -5  | -5     | -7             | 23/6 |
| 4-5                         |                             | 19-20 | 159/38   | 310/53  | 328/49  | 76/35   | -21     | -23     | -20 | -24    | 83/31          |      |
| 5-6                         |                             | 18-19 | 157/50   | 442/96  | 509/105 | 198/79  | -46     | -37     | -41 | -44    | 160/55         |      |
| 6-7                         |                             | 17-18 | 53/80  | 469/116 | 623/144 | 377/115 | 5/72    | -53     | -54 | -58    | 251/77         |      |
| 7-8                         |                             | 16-17 | -77  | 412/112 | 632/149 | 512/130 | 108/94  | -66     | -62 | -67    | 359/87         |      |
| 8-9                         |                             | 15-16 | -73  | 236/104 | 586/134 | 579/133 | 250/109 | -81     | -87 | -71    | 468/91         |      |
| 9-10                        |                             | 14-15 | -70  | 65/32   | 461/104 | 582/124 | 369/116 | -88     | -69 | -72    | 544/105        |      |
| 10-11                       |                             | 13-14 | -62  | -73     | 285/88  | 534/113 | 481/122 | 128/93  | -72 | -72    | 615/105        |      |
| 11-12                       |                             | 12-13 | -67  | -73     | 105/81  | 448/101 | 534/123 | 295/96  | -76 | -72    | 663/105        |      |
| 64                          | 2-3                         | 21-22 | 12/13  | 17/7    | 17/5    | -       | -10     | -       | -   | -      | 15/7           |      |
|                             | 3-4                         | 20-21 | 110/23   | 163/29  | 166/27  | 58/16   | -28     | -3      | -14 | -16    | 57/21          |      |
|                             | 4-5                         | 19-20 | 174/52   | 395/67  | 363/66  | 140/46  | -49     | -26     | -27 | -30    | 105/41         |      |
|                             | 5-6                         | 18-19 | 160/71   | 490/101 | 535/115 | 267/84  | 9/71    | -38     | -42 | -48    | 174/56         |      |
|                             | 6-7                         | 17-18 | 37/74  | 473/112 | 635/141 | 430/115 | 136/93  | -52     | -50 | -59    | 258/77         |      |
|                             | 7-8                         | 16-17 | -71  | 395/112 | 655/143 | 541/129 | 279/106 | -63     | -57 | -64    | 363/84         |      |
|                             | 8-9                         | 15-16 | -69  | 221/99  | 597/129 | 622/129 | 412/114 | -78     | -63 | -67    | 468/84         |      |
|                             | 9-10                        | 14-15 | -66  | 41/78   | 463/101 | 624/123 | 518/121 | 2/86    | -63 | -67    | 523/98         |      |
|                             | 10-11                       | 13-14 | -65  | -70     | 285/84  | 570/112 | 582/121 | 169/92  | -66 | -69    | 588/92         |      |
| 11-12                       | 12-13                       | -65   | -70  | 106/77  | 483/100 | -       | 340/94  | -70     | -70 | 621/91 |                |      |
| 68                          | 1-2                         | 22-23 | 12/6   | 29/9    | 41/2    | -       | -6      | -       | -   | -7     | -              |      |
|                             | 2-3                         | 21-22 | 96/23  | 169/19  | 163/16  | 35/12   | -10     | -9      | -9  | -12    | 48/21          |      |
|                             | 3-4                         | 20-21 | 163/37   | 320/43  | 297/39  | 105/24  | -17     | -19     | -21 | -23    | 97/42          |      |
|                             | 4-5                         | 19-20 | 186/60   | 465/79  | 436/85  | 174/58  | -31     | -30     | -31 | -35    | 233/50         |      |
|                             | 5-6                         | 18-19 | 166/71   | 541/106 | 572/129 | 314/90  | -51     | -38     | -42 | -52    | 216/63         |      |
|                             | 6-7                         | 17-18 | 20/73  | 483/112 | 663/143 | 456/120 | 14/73   | -52     | -50 | -60    | 272/77         |      |
|                             | 7-8                         | 16-17 | -70  | 366/112 | 669/143 | 576/134 | 145/93  | -63     | -57 | -64    | 363/84         |      |
|                             | 8-9                         | 15-16 | -69  | 204/100 | 611/131 | 663/134 | 320/106 | -79     | -63 | -66    | 461/84         |      |
|                             | 9-10                        | 14-15 | -67  | 29/77   | 480/101 | 669/123 | 465/115 | 23/87   | -63 | -66    | 523/91         |      |
| 10-11                       | 13-14                       | -65   | -70  | 297/84  | 616/114 | 568/121 | 198/93  | -66     | -67 | 570/92 |                |      |
| 11-12                       | 12-13                       | -64   | -70  | 106/77  | 529/101 | 637/121 | 378/95  | -70     | -70 | 607/91 |                |      |

Примечания: 1. Ориентации, указанные в скобках, относятся к южным широтам.

2. Перед чертой указано количество теплоты прямой радиации; за чертой – рассеянной

### ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Таблица Б

Среднемесячные значения  $P_s$   
 для солнечных коллекторов южной ориентации  
 при различных углах их наклона к горизонту

| Угол наклона коллектора к горизонту $\beta$ , град | Месяцы               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|  | I                    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   |
|  | Широта местности 40° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 26   | 1,76                 | 1,49 | 1,30 | 1,13 | 1,04 | 1    | 1,01 | 1,06 | 1,22 | 1,4  | 1,66  | 1,85  |
| 40   | 2,24                 | 1,72 | 1,36 | 1,11 | 0,97 | 0,90 | 0,93 | 1,03 | 1,24 | 1,65 | 2,03  | 2,45  |
| 55   | 2,46                 | 1,79 | 1,33 | 1,03 | 0,86 | 0,78 | 0,81 | 0,94 | 1,17 | 1,56 | 2,18  | 2,72  |
| 90   | 2,30                 | 1,48 | 0,91 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,75 | 1,17 | 1,96  | 2,61  |
|  | Широта местности 45° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 30   | 2,14                 | 1,71 | 1,42 | 1,19 | 1,07 | 1,02 | 1,04 | 1,13 | 1,30 | 1,56 | 1,96  | 2,31  |
| 45   | 2,86                 | 1,99 | 1,49 | 1,17 | 1,00 | 0,92 | 0,95 | 1,06 | 1,33 | 1,74 | 2,47  | 3,27  |
| 60   | 3,13                 | 2,07 | 1,45 | 1,09 | 0,89 | 0,8  | 0,84 | 0,99 | 1,26 | 1,76 | 2,66  | 3,64  |
| 90   | 3,04                 | 1,81 | 0,99 | 0,71 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,89 | 1,37 | 2,5   | 3,63  |
|  | Широта местности 50° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 35   | 2,77                 | 2,01 | 1,57 | 1,27 | 1,11 | 1,05 | 1,08 | 1,19 | 1,42 | 1,79 | 2,44  | 3,12  |
| 50   | 4,06                 | 2,38 | 1,56 | 1,24 | 1,04 | 0,95 | 0,98 | 1,33 | 1,44 | 2    | 3,22  | 5,27  |
| 65   | 4,46                 | 2,47 | 1,61 | 1,16 | 0,93 | 0,82 | 0,87 | 1,04 | 1,37 | 2,02 | 3,47  | 5,9   |
| 90   | 4,46                 | 2,26 | 1,3  | 0,84 | 0    | 0    | 0    | 0,72 | 1,06 | 1,77 | 3,36  | 6,04  |
|  | Широта местности 55° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 40   | 4                    | 2,47 | 1,79 | 1,37 | 1,17 | 1,09 | 1,12 | 1,26 | 1,56 | 2,11 | 3,27  | 4,91  |
| 55   | 3,37                 | 2,99 | 1,87 | 1,34 | 1,09 | 0,99 | 1,03 | 1,21 | 1,59 | 2,38 | 4,81  | 5,85  |
| 70   | 9,29                 | 3,11 | 1,83 | 1,26 | 0,98 | 0,87 | 0,91 | 1,11 | 1,51 | 2,41 | 5,2   | 6,4   |
| 90   | 9,52                 | 2,95 | 1,57 | 1    | 0,73 | 0    | 0    | 0,84 | 1,26 | 2,2  | 5,17  | 6,45  |
|  | Широта местности 60° |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 45   | 7,53                 | 3,23 | 2,08 | 1,49 | 1,25 | 1,15 | 1,19 | 1,36 | 1,76 | 2,59 | 5,03  | 14,42 |
| 60   | 8,85                 | 4,11 | 2,18 | 1,46 | 1,16 | 1,04 | 1,09 | 1,30 | 1,80 | 2,96 | 13,71 | 17,29 |
| 75   | 9,57                 | 4,28 | 2,13 | 1,38 | 1,05 | 1,92 | 0,97 | 1,12 | 1,7  | 3,01 | 15    | 18,99 |
| 90   | 9,64                 | 4,16 | 1,92 | 1,16 | 0,85 | 0,74 | 0,77 | 1,01 | 1,52 | 2,85 | 15,26 | 19,39 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ В.

Таблица В

Паспортные данные СК

| Величина   | Тип СК   |            |             |
|--|----------|------------|-------------|
|  | VFK 135D | VFK145 H/V | VFK 150 H/V |
| Удельные потери тепловой энергии через изоляцию коллектора,<br>$U, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ | 3,76     | 2,41       | 2,33        |
| Объем СК, $V_{\text{СК}}, \text{м}^3$  | 0,00135  | 0,00185    | 0,00185     |
| Номинальная эффективность работы СК, $\eta, \%$ .  | 80,1     | 79,1       | 83,3        |
| Площадь апертуры, $F, \text{м}^2$  | 2,35     | 2,35       | 2,35        |
| Приведенная оптическая характеристика СК (коэффициент селективности), $\Theta$                                   | 19       | 19         | 19          |