

СОЛНЕЧНАЯ  
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНАЯ  
УСТАНОВКА

◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

СОЛНЕЧНАЯ  
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНАЯ  
УСТАНОВКА

Методическая разработка  
к курсовой работе по дисциплине  
"Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии"  
для студентов третьего курса специальности 101600

Тамбов  
◆ Издательство ТГТУ ◆  
2004

УДК 621.1.016(076)  
ББК 311я73-5  
С60

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Кандидат технических наук, доцент  
*А.М. Савельев*

С60 Солнечная водонагревательная установка: Метод. разр. / Сост.: В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. 20 с.

Методическая разработка составлена в соответствии с программой и учебным планом дисциплины "Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии" и содержит краткое описание устройства и принципов расчета установки, а также варианты задания и справочные данные, необходимые для выполнения расчетов. Приводится список рекомендуемой литературы.

Предназначается для студентов третьего курса, специальности 101600.

УДК 621.1.016(076)  
ББК 311я73-5

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ), 2004

Учебное издание

## СОЛНЕЧНАЯ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Методические указания

С о с т а в и т е л и:

ЛЯШКОВ Василий Игнатьевич  
КУЗЬМИН Сергей Николаевич

Редактор Т. М. Федченко  
Инженер по компьютерному макетированию М. Н. Рыжкова

Подписано к печати 20.02.2004  
Формат 60 × 84 / 16. Бумага газетная. Печать офсетная  
Гарнитура Times New Roman. Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,12 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 139

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Прогрессивное развитие человечества стало возможным только в результате все возрастающего потребления энергии. Современные масштабы ее производства и потребления, и особенно перспективы грядущего развития, не только впечатляют, но и вызывают обоснованную тревогу по причинам экономического, технологического и экологического характера. Дело в том, что при сложившейся структуре мировой энергетики, когда основная масса энергии вырабатывается за счет сжигания природных топлив (уголь, природный газ, нефтепродукты и т.п.), а запасы природных топлив на Земле хотя и огромны, но не безграничны, по прогнозам футурологов в обозримом будущем человечество начнет все острее ощущать дефицит органического топлива, а значит и энергии. Уже сегодня нефть, например, приходится добывать в малоосвоенных районах крайнего Севера, на морских шельфах и т.п., а некогда громадные и удобно расположенные месторождения в результате эксплуатации истощаются.

Материальные отходы современной энергетики очень значительны и содержат в себе большое количество различных вредных компонентов, что приводит к такому активному загрязнению окружающей среды, что природа бывает уже не в состоянии переработать их естественным путем и самовосстановиться. Экологические проблемы возникают и в результате теплового загрязнения, поскольку любая форма энергии в конце концов трансформируется в теплоту, которая медленно, но неизбежно вызывает глобальное повышение температуры, о котором всерьез заговорили в последние десятилетия. При сохранении теперешних темпов роста производства и потребления энергии (а они без сомнения будут еще и возрастать) названные проблемы в будущем еще более обострятся.

Среди источников энергии существуют и такие, которые обладают уникальными свойствами: они практически неисчерпаемы, экологически чистые, экономически очень выгодные и т.п. Правда, люди пока не научились так же эффективно и масштабно использовать их, как ставшими традиционными технологии получения энергии при сжигании топлив или использовании гидроэнергетических ресурсов, атомной энергии. К таким источникам следует отнести энергию солнечного излучения, энергию ветра, химическую энергию биомассы, энергию морских волн, океанских приливов, геотермальных источников. И сегодня наступает эпоха, когда эффективное освоение таких источников становится насущной необходимостью, чтобы не оказаться беспомощными в будущем.

Поэтому разработка и совершенствование таких энергетических установок, методики их инженерного расчета, всемерное их практическое внедрение являются актуальными, способными принести значительный экономический и социальный эффект [1 – 5].

### 1 НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Солнечная водонагревательная установка (СВУ) предназначена для получения горячей воды непосредственно за счет энергии солнечного излучения. Она представляет собой совокупность нескольких теплообменных устройств, используемых для улавливания солнечной радиации, преобразования ее в тепловую энергию, аккумуляирования и передачи последней промежуточному теплоносителю, а затем и потребителю. Общая схема СВУ приведена на рис. 1.

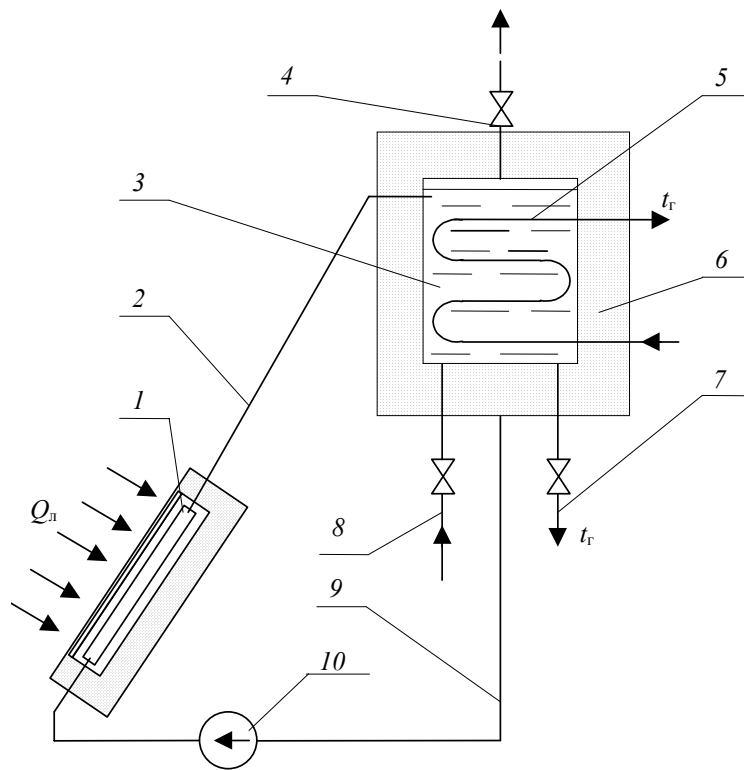


Рис. 1 Схема водонагревательной установки:  
 1 – коллектор солнечной энергии; 2 – трубопровод подъемный;  
 3 – бак; 4 – воздухопускной клапан; 5 – змеевик; 6 – теплоизоляция;  
 7 – сливной патрубок; 8 – подпиточный патрубок; 9 – трубопровод опускной;  
 10 – циркуляционный насос

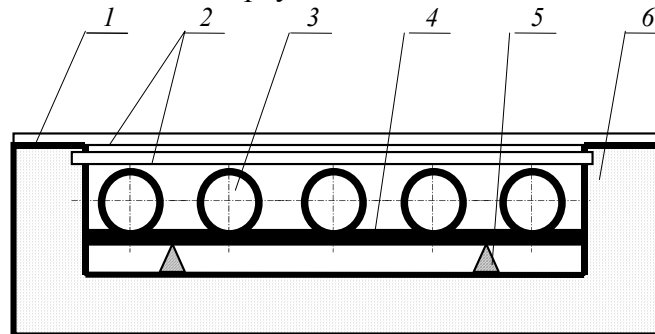


Рис. 2 Устройство коллектора солнечной энергии:  
 1 – корпус; 2 – двойное остекление; 3 – трубки змеевика;  
 4 – абсорбер солнечной энергии; 5 – опора; 6 – тепловая изоляция

Рассмотрим устройство и работу установки.

Коллектор солнечной энергии (КСЭ), показанный на рис. 2, представляет собой плоский ящик 1, обращенная к солнцу панель 2 которого выполнена из прозрачного материала – стекла или полимерной пленки. Прощедший через эту панель поток лучистой энергии солнца  $Q_{\text{л}}$  попадает на зачерненный абсорбент 4 и поглощается им. Абсорбент состоит из металлического листа и приваренных к нему трубок 3, изогнутых в змеевик. Трубки являются тепловоспринимающей частью циркуляционного контура установки. В них и происходит нагрев теплоносителя (воды или антифриза). Боковые и нижняя стороны КСЭ покрыты слоем теплоизоляционного материала 6.

Нагретый в коллекторах рабочий теплоноситель по подъемному трубопроводу 2 (см. рис. 1) поступает в бак 3, где перемешивается с остальной жидкостью, увеличивая ее температуру. В баке установлен теплообменник для передачи тепла другому теплоносителю, направляемому потребителю. Если в качестве циркулирующего рабочего теплоносителя используется вода, и к ней не предъявляются повышенные требования по чистоте и солесодержанию, то она может направляться на потребление непосредственно из бака через сливной патрубок 7. Подпиточный патрубок 8 позволяет периодически вос-

полнять расход рабочего теплоносителя.

Более холодные слои рабочего теплоносителя, расположенные возле дна бака, по опускному трубопроводу 9 вновь направляются на вход КСЭ, где получают новую порцию тепла. Чтобы интенсифицировать теплообменные процессы, в схеме предусмотрен циркуляционный насос 10. Циркуляция теплоносителя происходит непрерывно в течение всего светового дня, что обуславливает постепенное повышение температуры  $t(\tau)$  в баке. Рост продолжается до тех пор, пока не наступит равенство между приходом тепла к воде в КСЭ и его расходом в виде тепловых потерь в окружающую среду и полезного тепла, отводимого потребителю.

Для снижения тепловых потерь бак и трубопроводы покрыты слоем теплоизоляции толщиной  $\delta_{из}$ .

При нагревании из воды выделяется растворенный в ней воздух и образуется водяной пар. Они выводятся в атмосферу через воздушный клапан 4.

Заполнение СВУ водой допускается только при  $t_{окр} > 0$  °С. В противном случае не исключено ее замерзание в элементах СВУ и, как следствие, выход установки из строя. Для предотвращения этого в качестве греющего теплоносителя вместо воды применяют антифриз, температура замерзания  $t_{зам}$  которого меньше наименьшей температуры окружающей среды.

Движение теплоносителя в циркуляционном контуре СВУ может быть принудительным или свободным. В первом случае рабочий теплоноситель, как показано это на рис. 1, перекачивается с помощью насоса 10. Установки второго типа называются термосифонными. Для таких установок циркуляционный насос не нужен. Движение теплоносителя при этом осуществляется за счет разности его плотностей в опускной (холодной) и подъемной (теплой) ветвях циркуляционного контура. Термосифонные СВУ более просты и экономичны, но требуют размещения бака над коллекторами. Интенсивность свободной конвекции зависит в них от расстояния по вертикали между центрами КСЭ и бака. В насосных установках расположение элементов СВУ относительно друг друга может быть произвольным, однако их стоимость и эксплуатационные расходы выше, хотя процессы теплопередачи протекают более интенсивно.

## 2 ОСНОВЫ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА СВУ

Рабочий процесс СВУ описывается уравнением теплового баланса

$$q_{л} F_{к} \eta_{опт} d\tau = (V_{б} c \rho + G_{ст} c_{ст} + G_{из} c_{из}) dt + (k_{б} F_{б} + k_{к} f_{к} n) (t - t_{окр}) d\tau. \quad (1)$$

Левая часть этого уравнения представляет собой приход тепла к коллекторам СВУ за счет солнечного излучения, а правая часть – расход тепла на нагрев греющего теплоносителя, стенок бака, коллектора и слоя теплоизоляции, а также потери КСЭ и бака в окружающую среду за период времени  $d\tau$ . Уравнение (1) записано в предположении, что температура стенки и изоляции бака равна средней температуре  $t(\tau)$  теплоносителя. В этом уравнении приняты следующие обозначения:  $q_{л}$  – средняя за световой день продолжительностью  $\tau_{св}$  плотность суммарного потока прямого  $q_{л}^{пр}$  и рассеянного  $q_{л}^{рас}$  солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$$q_{л} = q_{л}^{пр} (1 + \varepsilon_{л}^{рас}), \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{л}^{рас}$  – доля рассеянного солнечного излучения в полном потоке солнечного излучения;  $F_{к} = n f_{к}$  – суммарная площадь теплообменной поверхности системы КСЭ, м<sup>2</sup>;  $f_{к}$  – площадь теплообменной поверхности единичного КСЭ, м<sup>2</sup>;  $n$  – число коллекторов;  $F_{б}$ ,  $V_{б}$  – площадь наружной теплообменной поверхности стенок бака, м<sup>2</sup> и его объем, м<sup>3</sup>;  $c$ ,  $c_{ст}$ ,  $c_{из}$  – теплоемкость соответственно теплоносителя, стенки бака, тепловой изоляции бака, кДж/(кг · К);  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $t(\tau)$  – переменная во времени температура в баке, °С;  $t_{окр}$  – температура окружающей среды (воздуха) в тот период года и суток, для которого ведется расчет, °С;  $\eta_{опт}$  – оптический КПД коллектора;  $k_{к}$ ,  $k_{б}$  – коэффициенты теплопередачи соответственно в коллекторе и в баке, Вт/(м<sup>2</sup> · К).

Представим уравнение (1) в виде

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{q_{л} F_{к} \eta}{\sum Q} - \frac{k_{б} F_{б} + k_{к} f_{к} n}{\sum Q} (t - t_{окр}),$$

где  $\sum Q = V_{cp} + G_{ct}c_{ct} + G_{из}c_{из}$ , и введем обозначения –

$$\Theta = t - t_{окр}, \quad A = \frac{k_6 F_6 + k_k F_k}{\sum Q}, \quad B = \frac{q_l F_k \eta_{опт}}{\sum Q}. \quad (3)$$

Тогда получим линейное дифференциальное уравнение

$$\frac{d\Theta}{d\tau} + A\Theta = B.$$

Его решение, полученное при начальном условии  $t(0) = t_{хол}$ , описывает изменение во времени температуры теплоносителя в баке СВУ

$$\Theta = \left( \Theta_0 - \frac{B}{A} \right) \exp(-A\tau) + \frac{B}{A}$$

или

$$t(\tau) = t_{окр} + \left( t(0) - t_{окр} - \frac{q_l F_k \eta_{опт}}{k_6 F_6 + k_k F_k} \right) \exp\left( - \frac{k_6 F_6 + k_k F_k}{\sum Q} \tau \right) + \frac{q_l F_k \eta_{опт}}{k_6 F_6 + k_k F_k}. \quad (4)$$

Здесь  $t(0) = t_{хол}$  – температура теплоносителя в начальный момент времени (при  $\tau = 0$ ) работы СВУ. Нагревание холодного теплоносителя начинается с восходом солнца и продолжается весь световой день  $\tau_{св}$  в течение которого его температура повышается от  $t_{хол}$  до  $t_{гор}$ . После захода солнца инсоляция прекращается и начинается охлаждение теплоносителя в баке от  $t_{гор}$  до  $t_{хол}$  за счет теплопотерь в окружающую среду. Продолжительность охлаждения за сутки  $\tau_{охл} = 24 - \tau_{св}$ , ч.

При расчетах следует учитывать, что температура окружающей среды в дневное  $t_{окр}^{дн}$  и в ночное  $t_{окр}^{ночн}$  время неодинакова. При отсутствии сведений о значении  $t_{окр}^{ночн}$  можно принимать приближенно, что в летний период  $t_{окр}^{ночн} = t_{окр}^{дн} - \delta t_{окр}$ , где  $\delta t_{окр} = 4 \dots 10$  °С.

По уравнениям (2) – (4) могут быть найдены все основные характеристики режима работы СВУ:

– максимально возможная температура теплоносителя  $t_{max}$  при бесконечно длительном облучении КСЭ, т.е. при  $\tau_{св} = \infty$

$$t_{max} = t_{окр}^{дн} + \frac{q_l F_k \eta_{опт}}{k_6 F_6 + k_k F_k}; \quad (5)$$

– температура теплоносителя после облучения КСЭ в течение светового дня продолжительностью  $\tau_{св}$

$$t_{гор} = t_{окр}^{дн} + \left( t_{хол} - t_{окр}^{дн} - \frac{B}{A} \right) \exp(-A\tau_{св}) + \frac{B}{A}; \quad (6)$$

– снижение температуры теплоносителя в баке  $\delta t_{охл}$  за ночь продолжительностью  $\tau_{охл}$  при температуре окружающего воздуха  $t_{окр}^{ночн}$

$$\delta t_{охл} = (t_{гор} - t_{окр}^{ночн}) [1 - \exp(-A_{охл} \tau_{охл})]. \quad (7)$$

Здесь  $A_{охл} = \frac{K_6 F_6}{\sum V_{cp}}$ , так как вычисляется охлаждение воды, находящейся только в баке, через стенки которого и отводится тепло. Поэтому при расчете  $A$  по формуле (3) принимают, что  $k_k F_k = 0$ .

Продолжительность нагрева теплоносителя в СВУ до заданной температуры  $t_{гор}$

$$\tau_{\text{нагр}} = \frac{1}{A} \ln \frac{t_{\text{гор}} - t_{\text{окр}}^{\text{дн}} - B/A}{t_{\text{хол}} - t_{\text{окр}}^{\text{дн}} - B/A}; \quad (8)$$

– тепло, переданное потребителю в сутки, Дж/сут.,

$$Q = V c \rho (t_{\text{гор}} - t_{\text{хол}}); \quad (9)$$

– экономия условного топлива в сутки за счет использования солнечной энергии, кг/сут.,

$$\Delta B_{\text{сут}} = Q_{\text{потр}} / Q_{\text{усл}} \eta_{\text{ку}} \quad (10)$$

или в месяц, кг/мес.,

$$\Delta B_{\text{мес}} = z \Delta B_{\text{сут}}, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{усл}} = 29\,330 \cdot 10^3$  – теплота сгорания условного топлива, Дж/кг;  $\eta_{\text{ку}}$  – КПД котельной установки,  $\eta_{\text{ку}} = 0,75 \dots 0,85$ ;  $z$  – число суток в месяце;

– экономический эффект использования СВУ, р./мес.

$$D = 10^{-9} \Delta B_{\text{мес}} Q_{\text{усл}} \mathcal{E}, \quad (12)$$

где  $\mathcal{E}$  – стоимость тепловой энергии, р./ГДж, в населенном пункте (регионе), для которого проектируется СВУ. Значения  $\mathcal{E}$  в разных регионах России неодинаковы. Например, для городов Тамбовской области в 2002 году стоимость тепловой энергии равна  $\mathcal{E} = 180 \dots 200$  р. за 1 ГДж.

### 3 ТЕКСТ ЗАДАНИЯ

Для солнечной водонагревательной установки с рабочим объемом бака  $V_6 = \dots \text{ м}^3$ , которая расположена в районе города  $\dots$  и служит для нагрева воды от температуры  $t_{\text{хол}} = \dots \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{гор}} = \dots \text{ }^\circ\text{C}$ , подобрать вид и число коллекторов солнечной энергии промышленного производства. Рассчитать и построить график зависимости изменения температуры воды в баке в течение суток, принимая, что ежедневно в  $6^{\text{00}}$  бак полностью заполняется свежей водой с температурой  $t_{\text{хол}}$ . Определить часы допустимого разбора нагретой воды с температурой  $(t_{\text{гор}} - 6) \text{ }^\circ\text{C}$  для расчетного месяца  $\dots$ . Исследовать влияние толщины тепловой изоляции бака, выполненной из  $\dots$ , на величину тепловых потерь, подобрав оптимальную (по теплотехническому критерию) толщину изоляции. Определить кпд и отдельные характеристики экономической эффективности установки. Исходные данные принять по номеру варианта из таблицы 1.

1 Исходные данные для расчетов

Предпоследняя цифра	$V_6, \text{ м}^3$	Город	Материал тепловой изоляции	Предпоследняя цифра номера варианта	$t_{\text{хол}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_{\text{гор}}, \text{ }^\circ\text{C}$	Расчетный месяц
1	1,4	Ессентуки	Шлак котельный	1	10	39	май
2	0,8	Краснодар	Пенопласт ПВ-1	2	8	37	июнь



3	2,5	Астрахань	Войлок стеклянный	3	7	43	сен- тябрь
4	1,0	Воронеж	Стружки березовые	4	12	38	август
5	2,0	Сочи	Стекловата	6	9	44	июль
6	1,5	Тамбов	ДВП	5	11	45	июль
7	0,7	Туапсе	Минвата	7	10	40	июнь

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1 Записать полный текст задания, вставляя вместо пропусков соответствующие значения по номеру заданного варианта.

2 Географическую широту места расположения населенного пункта,  $L$ , град. северной широты, найти по табл. 1П приложения [4].

3 Плотность лучистого теплового потока (инсоляцию)  $q_{л}^{пп}$ , Вт/м<sup>2</sup>, для заданного месяца и широты расположения населенного пункта определить по рис. 1П. Величину  $\varepsilon_{л}^{рас}$  – по табл. 2П [4].

4 Коллектор солнечной энергии (КСЭ), его тип, длину  $a$ , ширину  $b$ , толщину  $\delta$  выбрать по табл. 3П.

5 Показатели энергетической эффективности КСЭ: оптический КПД  $\eta_{опт}$  и коэффициент тепловых потерь в коллекторе  $k_{КСЭ}$  определить по табл. 4П.

6 Рассчитать габариты бака-аккумулятора (диаметр  $d$  и высоту  $h$ ) по формулам:

$$d = \sqrt[3]{4V_6(\pi\varepsilon_h)}, \quad h = \sqrt[3]{4V_6\varepsilon_h^2/\pi},$$

где  $\varepsilon_h = h/d$  – относительная высота бака. Рекомендуемые значения  $\varepsilon_h$  лежат в пределах 1,5...2,5.

7 Вычислить площадь теплоотдающей поверхности бака-аккумулятора, м<sup>2</sup>,

$$F_6 = \pi(d + \delta_{из})h + \pi(d + 2\delta_{из})^2/2.$$

8 Задаться в первом приближении числом коллекторов солнечной энергии  $n$ , штук, принимая ориентировочно

$$n = (30...60)V, \text{ шт./м}^3 \text{ воды в баке.}$$

9 Рассчитать площадь теплообменной поверхности КСЭ, м<sup>2</sup>

$$F_k = f_k n,$$

где  $f_k$  – площадь теплообменной поверхности одного КСЭ (по табл. 2П).

10 Коэффициент теплопередачи  $k_6$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) от нагретой воды в баке через его теплоизолированную стенку к воздуху вычислить по формуле

$$k_6 = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}, \quad (13)$$

где  $\alpha_1 = 300...600$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) – коэффициент теплоотдачи от воды в баке к внутренней его поверхности;  $\alpha_2 = 10...20$  Вт/(м<sup>2</sup> · К) – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляции бака к окружающему воздуху (значения  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  рассчитать по известным методикам на основе критериальных уравнений);  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала Вт/(м · К) (выбирается по табл. 5П);  $\delta_{из}$  – толщина слоя изоляции бака, м.

Для определения оптимальной толщины тепловой изоляции  $\delta_{из}$  бака следует при выбранных значениях  $\alpha_1, \alpha_2, \lambda_{из}$  вычислить по формуле (13) коэффициент теплопередачи  $k_б$  при нескольких значениях термического сопротивления слоя теплоизоляции бака  $(\delta_{из} / \lambda_{из}) = 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ , построить график зависимости  $k_б = f(\delta_{из} / \lambda_{из})$  (см. рис. 2). Анализируя полученную зависимость, найти значение термического сопротивления изоляции, при котором возможное дальнейшее увеличение толщины изоляции уже не приводит к существенному (более чем на 5 %) снижению коэффициента теплопередачи  $k_б$ . Это значение  $\delta_{из}$  для конкретных условий эксплуатации СВУ является оптимальным, его и надлежит использовать при дальнейших расчетах СВУ (термическим сопротивлением металлической стенки самого бака ввиду его малости пренебрегаем).

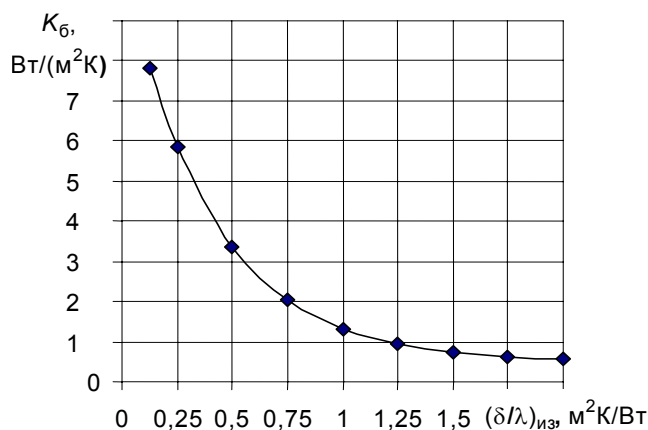


Рис. 2 К выбору оптимальной толщины теплоизоляции бака

11 Температуру воды в баке-аккумуляторе после его нагрева в течение светового дня рассчитать по формуле

$$t_{гор} = t_{окр} + \left( t_{хол} - t_{окр} - \frac{q_{л} F_{к} \eta_{опт}}{k_{к} F_{к} + k_{б} F_{б}} \right) \exp \left( - \frac{k_{к} F_{к} + k_{б} F_{б}}{\sum Q} \tau_{св} \right) + \frac{q_{л} F_{к} \eta_{опт}}{k_{к} F_{к} + k_{б} F_{б}}. \quad (14)$$

Значение  $t_{окр}^{дн}$  найти по табл. 6П, а величину  $\tau_{св}$  – по табл. 7П.

Найденное расчетами по формуле (14) значение  $t_{гор}$  следует сравнивать с заданной ее величиной. При их несовпадении необходимо задаться новым значением числа КСЭ  $n$ : –  $n' = 0,5n$ ,  $n' = n'' = 2n$ ,  $n''' = 3n$  и, повторяя вычисления по формулам (13), (14), построить график зависимости  $t_{гор} = f(n)$ , (см. рис. 3). По этой кривой определяется количество КСЭ, которыми должна быть снабжена СВУ для нагрева за световой день воды объемом  $V_б$  до заданной температуры  $t_{гор}$ .

12 Максимально возможную температуру  $t_{max}$  воды в баке при бесконечно большой продолжительности инсоляции найти по формуле (5).

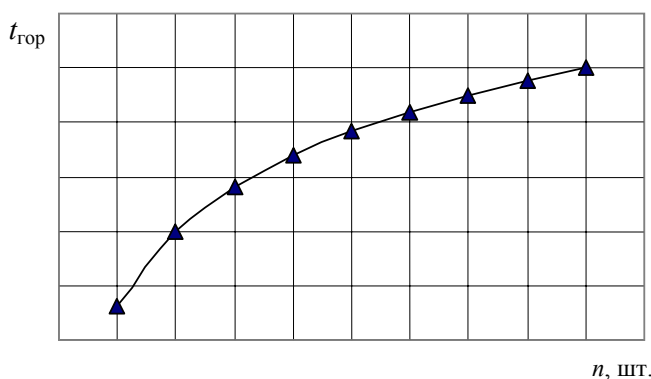


Рис. 3 Зависимость  $t_{гор}$  от числа коллекторов

13 Снижение температуры воды в баке-аккумуляторе  $\delta t_{охл}$  рассчитать по формуле (7).

14 Продолжительность  $\tau_{\text{нагр}}$  нагрева воды в СВУ до заданной температуры  $t_{\text{гор}}$  при известной емкости бака-аккумулятора и условиях инсоляции вычислить по формуле (8).

15 Определить текущие значения температуры воды в баке по формуле (14) при  $\tau = 0$ ;  $\tau = \tau_{\text{св}} / 4$ ;  $\tau = \tau_{\text{св}} / 2$ ;  $\tau = 0,75\tau_{\text{св}}$ ;  $\tau = \tau_{\text{св}}$  и по формуле (7) при  $\tau = 0$ ;  $\tau = 0,5\tau_{\text{охл}}$ ;  $\tau = \tau_{\text{охл}}$ .

При расчетах значений  $t(\tau)$  принять, что в начале каждого этапа (нагрева и охлаждения воды)  $\tau = 0$ , а  $t(0) = t_0$ . По найденным таким образом значениям температуры следует построить график изменения температуры воды в баке в течение суток (см. рис. 4).

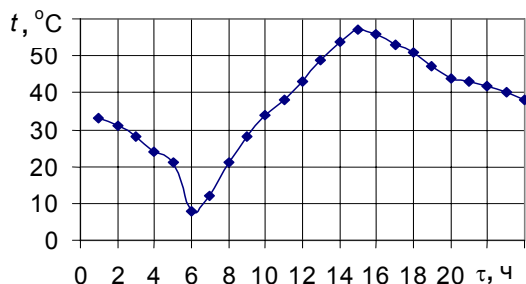


Рис. 4 График изменения температуры в течение суток

- 16 Количество тепла, передаваемое за сутки потребителю тепловой энергии, найти по формуле (9).
- 17 Определить экономию условного топлива: суточную, кг/сутки, – по формуле (10); месячную, кг/месяц, – по формуле (11).
- 18 Экономический эффект использования СВУ за месяц рассчитать по формуле (12).
- 19 Проанализировать результаты расчетов и оценить возможность и эффективность круглосуточной эксплуатации СВУ.
- 20 Оформить отчет по заданию в соответствии со стандартом предприятия [7].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ляшков В.И., Кузьмин С.Н. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003, 96 с.
- 2 Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М., 1991. 208 с.
- 3 Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплоснабжением. М., 1989. 184 с.
- 4 Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М., 1982. 77 с.
- 5 Ушаков В.Г. Солнечная водонагревательная установка. Новочеркасск: НПИ, 2000. 20 с.
- 6 СНиП 2.01.02. Строительная климатология и геофизика. М., 1985. 67 с.
- 7 Стандарт предприятия. Проекты (работы) дипломные и курсовые. Правила оформления. СТП ТГТУ 07-97. Тамбов, 1997. 39 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

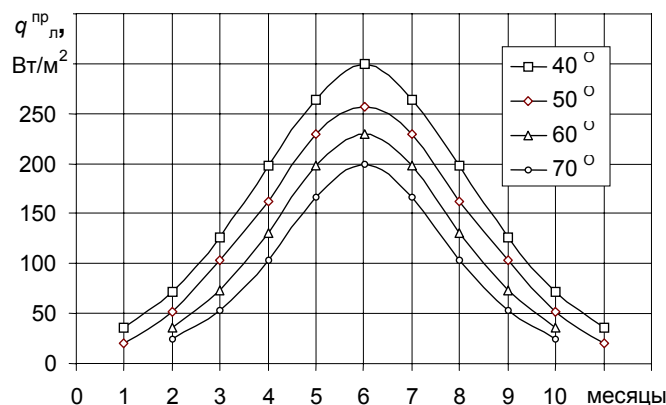


Рис. 1П Распределение по месяцам года плотности потока

прямого солнечного излучения

#### 4П Значения $\eta_{\text{опт}}$ и $k_{\text{КСЭ}}$

Тип коллектора	$\eta_{\text{опт}}$	$k_{\text{КСЭ}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> · К)
Неселективный плоский КСЭ без остекления	0,95	15
То же с однослойным остеклением	0,85	7
То же с двухслойным остеклением	0,75	5
Селективный плоский коллектор с однослойным остеклением	0,80	3,5

#### 5П Теплофизические характеристики различных теплоизоляционных материалов

Материал	$t$ , °С	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м · К	$C$ , кДж/кг · К	$\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
Вата минеральная	50	200	0,056	0,94	0,303
Вата стеклянная	65	200	0,054	0,837	0,322
Войлок стеклянный	50	50	0,048	0,929	1,025
Воздух сухой в тонких прослойках	20	1,21	0,026	1,005	58,0
Дерево (стружки березовые)	25	154	0,09	2,762	0,212
Древесноволокнистые плиты (ДВП)	20	150	0,058	2,512	0,154
Картон гофрированный	20...30	200	0,07	1,46	0,239
Пенопласт ПВ-1 (сухой)	20...30	125	0,046	1,34	0,277
Торф измельченный	20	200	0,058	1,507	0,192
Шлак котельный	20	800	0,232	0,754	0,385

#### 2П Значение коэффициента $\varepsilon_{\text{л}}^{\text{рас}}$ , входящего в формулу (2)

Широ-	Месяцы
-------	--------

та, град.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	0,31	0,20	0,15	0,10	0,07 5	0,07	0,07	0,07 5	0,11	0,16	0,26	0,40
45	0,46	0,35	0,27	0,20	0,16	0,15	0,15	0,16	0,19	0,25	0,36	0,55
50	0,0	0,50	0,38	0,30	0,25	0,23	0,24	0,23 5	0,27	0,35	0,47	0,70
55	0,85	0,65	0,49	0,40	0,32	0,30	0,29	0,30	0,34	0,43	0,56	0,83
60	1,10	0,80	0,60	0,50	0,4	0,37	0,35	0,37	0,41	0,50	0,65	0,95

### 3П Геометрические характеристики КСЭ

Габариты	Завод - изготовитель		
	г. Братск, з-д отопительного оборудо- вания	г. Киев, ПО "Спецгелиотепло- монтаж"	ФТИ АН Узбекистана
Длина $a$ , мм	1530	1240	1145
Ширина $b$ , мм	630	600	650
Высота $\delta$ , мм	98	100	111
Площадь $f_k = axb$ , м <sup>2</sup>	0,964	0,744	0,744

### 6П Примерные значения дневной температуры окружающей среды в ряде городов России $t_{окр}^{дн}$ , °С

Город	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пятигорск	-4,0	-3,2	1,1	8,0	14,1	17,8	20,5	20,0	15,0	9,3	2,8	-1,7
Ставрополь	-3,7	-3,0	1,6	8,6	15,2	19,0	21,9	21,5	16,0	10,0	3,4	-1,1
Краснодар	-1,8	-0,9	4,2	10,9	16,8	20,4	23,2	22,7	17,4	11,6	5,1	0,4
Туапсе	4,4	4,7	7,2	11,1	16,1	20,0	23,0	23,4	19,5	15,1	10,2	6,7
Анапа	10,6	11,1	18,7	23,6	30,2	30,1	30,2	30,5	24,3	22,2	16,8	17,0
Ейск	1,3	2,3	6,2	12,0	16,8	20,2	23,0	22,3	16,8	12,0	7,5	3,5
Элиста	-6,7	-6,0	-0,7	8,5	16,5	21,1	24,2	23,0	16,5	9,1	1,8	-3,6
Сочи	5,8	5,9	8,1	11,6	16,1	19,9	22,8	23,2	19,9	15,9	11,6	8,2
Ростов на Дону	-5,7	-5,1	0,2	9,0	16,4	20,0	22,9	22,1	16,2	9,2	2,2	-3,1
Волгоград	-9,2	-8,7	-2,3	8,3	16,7	21,6	24,2	22,7	16,1	7,8	0	-6,1
Воронеж	-9,3	-9,2	-4,1	5,9	14	18	19,9	18,7	12,8	5,6	-1,1	-6,7

### 7П Продолжительность светового дня $\tau_{св}$ , ч-мин.

Географиче- ская широта, градусы се- верной ши- роты	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	9-33	10-	12-	13-	14-	14-	14-	13-	12-	11-	10-	9-24

		32	42	05	15	58	50	56	40	22	08	
45	9-02	10-13	11-39	13-16	14-41	15-33	15-23	14-18	12-47	12-23	10-60	10-12
50	8-24	9-52	11-34	13-29	15-12	16-17	16-06	14-45	12-55	11-04	9-17	8-11
55	7-49	9-25	11-28	13-47	15-53	17-17	17-01	15-18	13-05	10-5	8-43	7-18
60	6-28	8-48	11-20	14-10	16-47	18-43	18-20	16-03	13-8	10-37	7-55	6-02
65	4-40	8-00	11-12	14-44	18-16	21-32	20-45	17-10	13-38	10-17	6-46	4-02

### III Месторасположение (северная широта) некоторых городов России

Градусы северной широты	Города
43	Грозный, Махачкала, Сочи
44	Ессентуки, Железноводск, Кисловодск, Пятигорск, Туапсе
45	Анапа, Армавир, Краснодар, Новороссийск, Ставрополь, Элиста
46	Астрахань, Ейск
47	Ростов- на -Дону
49	Волгоград
51	Саратов
52	Курск, Воронеж
53	Смоленск, Орел, Пенза, Тамбов, Липецк, Самара
54	Тула, Ульяновск
55	Калуга, Рязань
56	Москва



