

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ.....	5
2 ОСНОВЫ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА СВУ.....	7
3 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ....	10
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	16

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. Однако, использование таких источников энергии еще не так эффективно, как, ставших 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 [1–7].

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, аккумулирования и передачи последней промежуточному теплоносителю, а затем и потребителю. Общая схема СВУ приведена на рисунке 1.

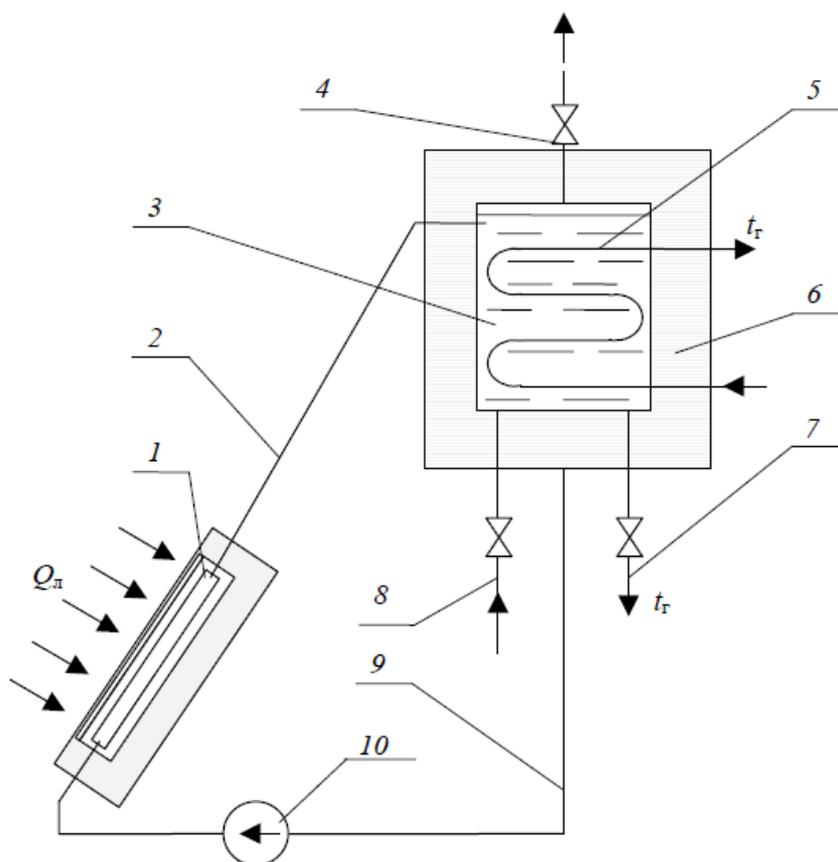


Рис. 1 Схема водонагревательной установки:

- 1 – коллектор солнечной энергии;
- 2 – трубопровод подъемный;
- 3 – бак;
- 4 – воздушоспускной клапан;
- 5 – змеевик;
- 6 – теплоизоляция;
- 7 – сливной патрубок;
- 8 – подпиточный патрубок;
- 9 – трубопровод спускной;
- 10 – циркуляционный насос.

Рассмотрим устройство и работу установки. Коллектор солнечной энергии (КСЭ), показанный на рисунке 2, представляет собой плоский ящик 1, обращенная к солнцу панель 2 которого выполнена из прозрачного материала – стекла или полимерной пленки. Прошедший через эту панель поток лучистой энергии солнца Q_l 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.

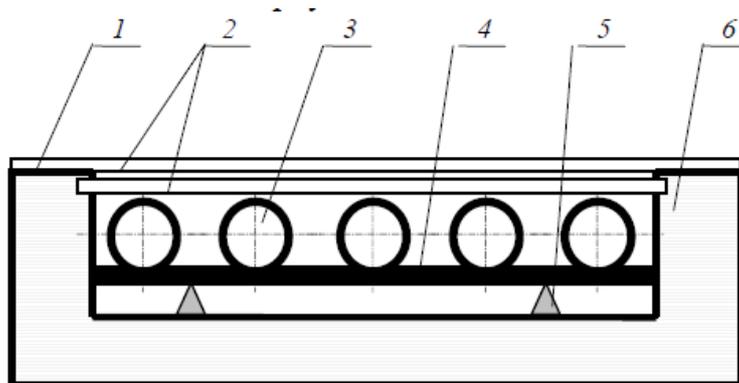


Рис. 2 Устройство коллектора солнечной энергии:
 1 – корпус; 2 – двойное остекление; 3 – трубки змеевика;
 4 – абсорбер солнечной энергии; 5 – опора; 6 – тепловая изоляция

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, который поступает к 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 восполнять 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 низшей температуры окружающей среды.

Движение теплоносителя в циркуляционном контуре СВУ может быть принудительным или свободным. В первом случае рабочий теплоноситель, как показано это на рисунке 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

$$q_l F_k \eta_{онм} d\tau = (V_{\sigma} c_{\rho} + G_{cm} c_{cm} + G_{из} c_{из}) dt + (k_{\sigma} F_{\sigma} + k_k F_k n)(t - t_{окр}) d\tau. \quad (1)$$

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 тепла КСЭ и тепловые потери 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_l – средняя за световой день продолжительностью $\tau_{св}$ плотность суммарного потока прямого q_l^{np} и рассеянного q_l^{pac} солнечного излучения, Вт/м;

$$q_l = q_l^{np} (1 + \varepsilon_l^{pac}), \quad (2)$$

где ε_l^{pac} – доля рассеянного солнечного излучения в полном потоке солнечного излучения;

$F_k = nfk$ – суммарная площадь теплообменной поверхности системы КСЭ, м²;

f – площадь теплообменной поверхности единичного КСЭ, м²;

n – число коллекторов;

F, V – площадь наружной теплообменной поверхности стенок бака, м^2 и его объем, м^3 ;

c, c_{cm}, c_{uz} – теплоемкость соответственно теплоносителя, стенки бака, тепловой изоляции бака, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

ρ – плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$t(\tau)$ – переменная во времени температура в баке, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{окр}$ – температура окружающей среды (воздуха) в тот период года и суток, для которого ведется расчет, $^{\circ}\text{C}$;

$\eta_{\text{пв}}$ – оптический КПД коллектора;

$k_{\kappa}, k_{\bar{o}}$ – коэффициенты теплопередачи соответственно в коллекторе и в баке, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Представим уравнение (1) в виде

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{q_{\text{л}} F_{\kappa} \eta}{\sum Q} - \frac{k_{\bar{o}} F_{\bar{o}} + k_{\kappa} f_{\kappa z}}{\sum Q} (t - t_{окр}),$$

где $\sum Q = Vc\rho + G_{cm}c_{cm} + G_{uz}c_{uz}$, и введем обозначения:

$$\Theta = t - t_{окр}, \quad A = \frac{k_{\bar{o}} F_{\bar{o}} + k_{\kappa} F_{\kappa}}{\sum Q}, \quad B = \frac{q_{\text{л}} F_{\kappa} \eta_{\text{онм}}}{\sum Q}. \quad (3)$$

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

$$t(\tau) = t_{окр} + \left(t(0) - t_{окр} - \frac{q_{\text{л}} F_{\kappa} \eta_{\text{онм}}}{k_{\bar{o}} F_{\bar{o}} + k_{\kappa} F_{\kappa}} \right) \exp\left(-\frac{k_{\bar{o}} F_{\bar{o}} + k_{\kappa} F_{\kappa}}{\sum Q} \tau \right) + \frac{q_{\text{л}} F_{\kappa} \eta_{\text{онм}}}{k_{\bar{o}} F_{\bar{o}} + k_{\kappa} F_{\kappa}} \quad (4)$$

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 теплотерь в окружающую среду. Продолжительность охлаждения за сутки $\tau_{охл} = 24 - \tau_{св}$, ч.

При расчетах следует учитывать, что температура окружающей среды в дневное $t_{окр}^{\text{дн}}$ и в ночное $t_{окр}^{\text{ночн}}$ время неодинакова. При отсутствии сведений о значении $t_{окр}^{\text{ночн}}$ можно принимать приближенно, что в летний период

$$t_{окр}^{\text{ночн}} = t_{окр}^{\text{дн}} - \delta t_{окр},$$

где $\delta t_{окр} = 4 \dots 10$ $^{\circ}\text{C}$.

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 $\tau_{св} = \infty$

$$t_{\max} = t_{окр}^{\partial n} + \frac{q_l F_k \eta_{онм}}{k_{\delta} F_{\delta} + k_k F_k}; \quad (5)$$

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

$$t_{гор} = t_{окр}^{\partial n} + \left(t_{хол} - t_{окр}^{\partial n} - \frac{B}{A} \right) \exp(-A\tau) + \frac{B}{A}; \quad (6)$$

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

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

Здесь $A_{охл} = \frac{k_{\delta} F_{\delta}}{\sum V_{ср}}$, 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 $t_{гор}$.

$$\tau_{нагр} = \frac{1}{A} \ln \frac{t_{гор} - t_{окр}^{\partial n} - B/A}{t_{хол} - t_{окр}^{\partial n} - B/A};$$

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

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

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

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

или в месяц, кг/мес.,

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

где $Q_{усл} = 29330 \cdot 10^3$ – теплота сгорания условного топлива, Дж/кг;

$\eta_{ку}$ – КПД котельной установки, $\eta_{ку} = 0,75 \dots 0,85$;

z – число суток в месяце;

- экономический эффект использования СВУ, р./мес.

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

где \mathcal{E} – стоимость тепловой энергии, р./ГДж, в населенном пункте (регионе), для которого проектируется СВУ. Значения \mathcal{E} в разных регионах России неодинаковы. Принять стоимость тепловой энергии $\mathcal{E} = 320$ р. за 1 ГДж.

4. Коллектор солнечной энергии (КСЭ), его тип, длину a , ширину b , толщину δ выбрать по таблице 3П.

5. Показатели энергетической эффективности КСЭ: оптический КПД η_{opt} и коэффициент тепловых потерь в коллекторе $k_{КСЭ}$ определить по таблице 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 ε_h лежат в пределах 1,5...2,5.

7. Вычислить площадь теплоотдающей поверхности бака-аккумулятора, м²,

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

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, м²

$$F_k = f_k n,$$

где f_k – площадь теплообменной поверхности одного КСЭ (по таблице 3П).

10. Коэффициент теплопередачи k_δ Вт/(м²·К) от нагретой воды в баке через его теплоизолированную стенку к воздуху вычислить по формуле

$$k_\delta = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\alpha_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (13)$$

где $\alpha_1 = 300...600$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи от воды в баке к внутренней его поверхности;

$\alpha_2 = 10...20$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляции бака к окружающему воздуху (значения α_1 и α_2 рассчитать по известным методикам на основе критериальных уравнений);

$\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала Вт/(м²·К) (выбирается по таблице 5П);

$\delta_{из}$ – толщина слоя изоляции бака, м.

Для определения оптимальной толщины тепловой изоляции $\delta_{из}$ бака следует при выбранных значениях α_1 , α_2 , $\lambda_{из}$ вычислить по формуле (13) коэффициент теплопередачи k_δ 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 м²·К/Вт, построить график зависимости $k_\delta = f(\delta_{из} / \lambda_{из})$ (см. рис. 3). 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_δ . 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).

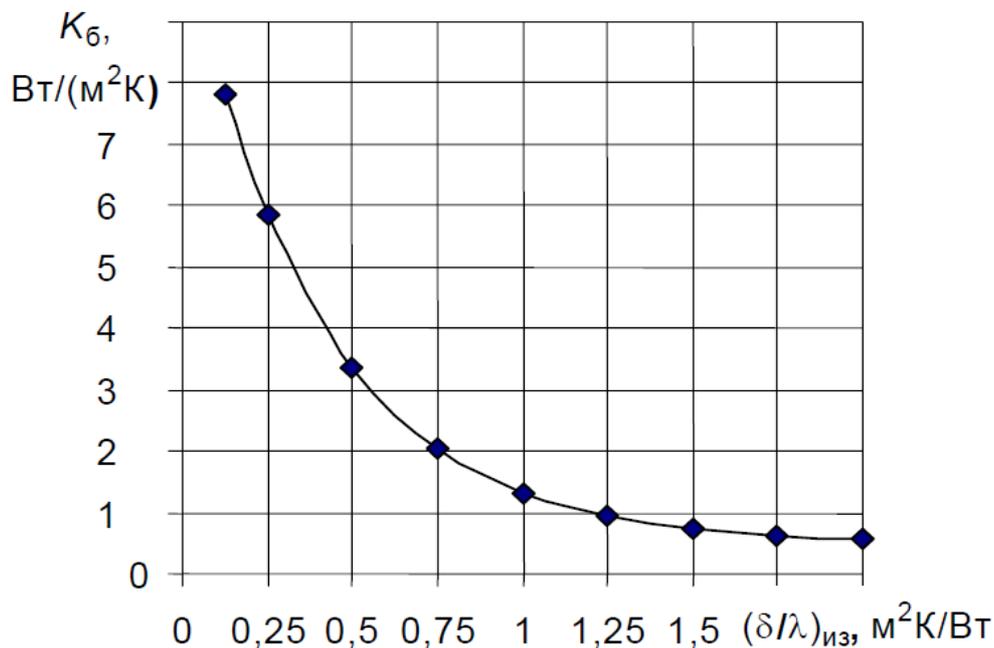


Рис. 3 К выбору оптимальной толщины теплоизоляции бака

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

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

Значение $t_{окр}$ найти по таблице 6П, а величину $\tau_{св}$ – по таблице 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 : $n' = 0,5$, $n' = n'' = 2n$, $n''' = 3n$ и, повторяя вычисления по формулам (13) и (14), построить график зависимости $t_{гор} = f(n)$, (см. рис. 4). 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).

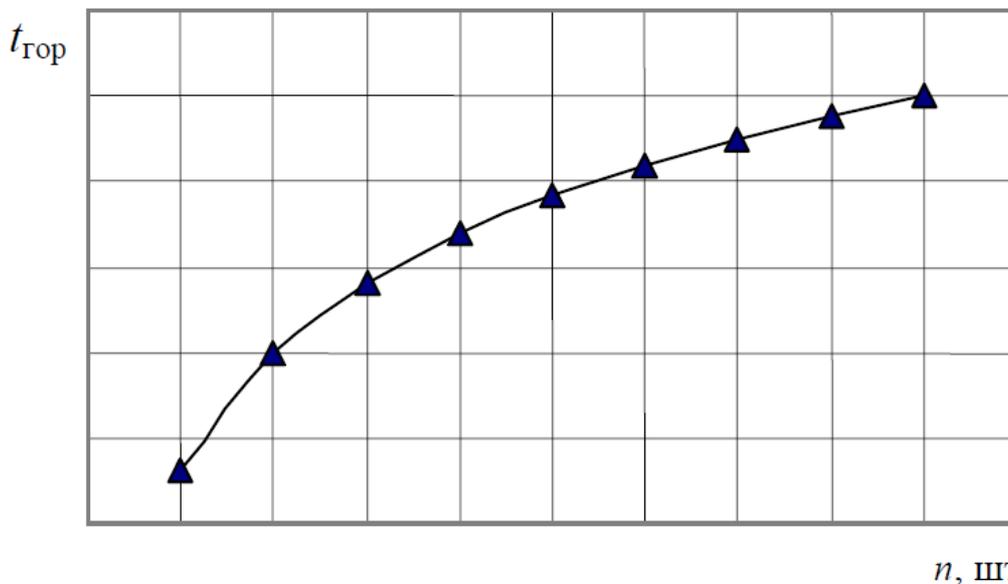


Рис. 4 Зависимость $t_{гор}$ от числа коллекторов

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

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

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

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. 5).

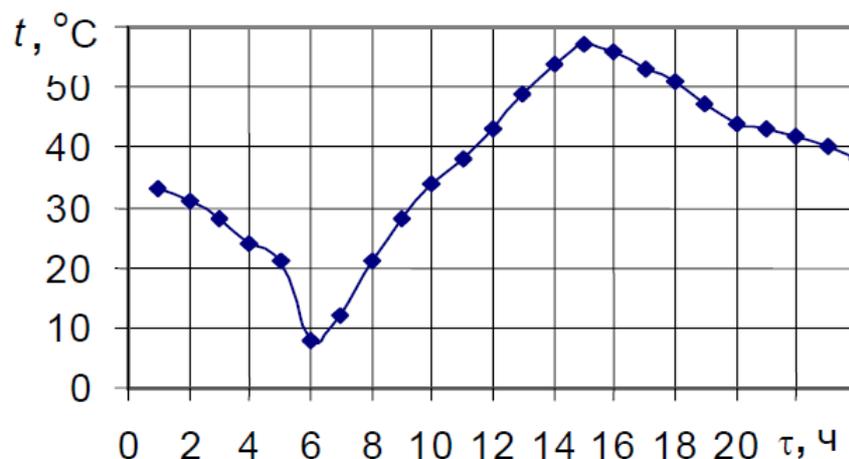


Рис. 5 График изменения температуры в течение суток

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 контрольную работу по заданию в соответствии с правилами «Документированная процедура системы менеджмента качества. Текстовые работы студентов. Правила оформления. ДП СМК 02-09-2013.

21. Пример оформления титульного листа контрольной работы см. Приложение 8 (П8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 96 с.
2. Солнечная водонагревательная установка: Метод. разр. / Сост.: В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. - 20 с.
3. Ляшков В.И., Кузьмин С.Н. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. - 96 с.
4. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. - М., 1991. - 208 с.
5. Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплохладоснабжением. - М., 1989. - 184 с.
6. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. - М., 1982. - 77 с.
7. Ушаков В.Г. Солнечная водонагревательная установка. - Новочеркасск: НПИ, 2000. - 20 с.
8. <http://meteoinfo.ru/klimatgorod>. Ежемесячные климатические данные для городов России.

ПРИЛОЖЕНИЯ

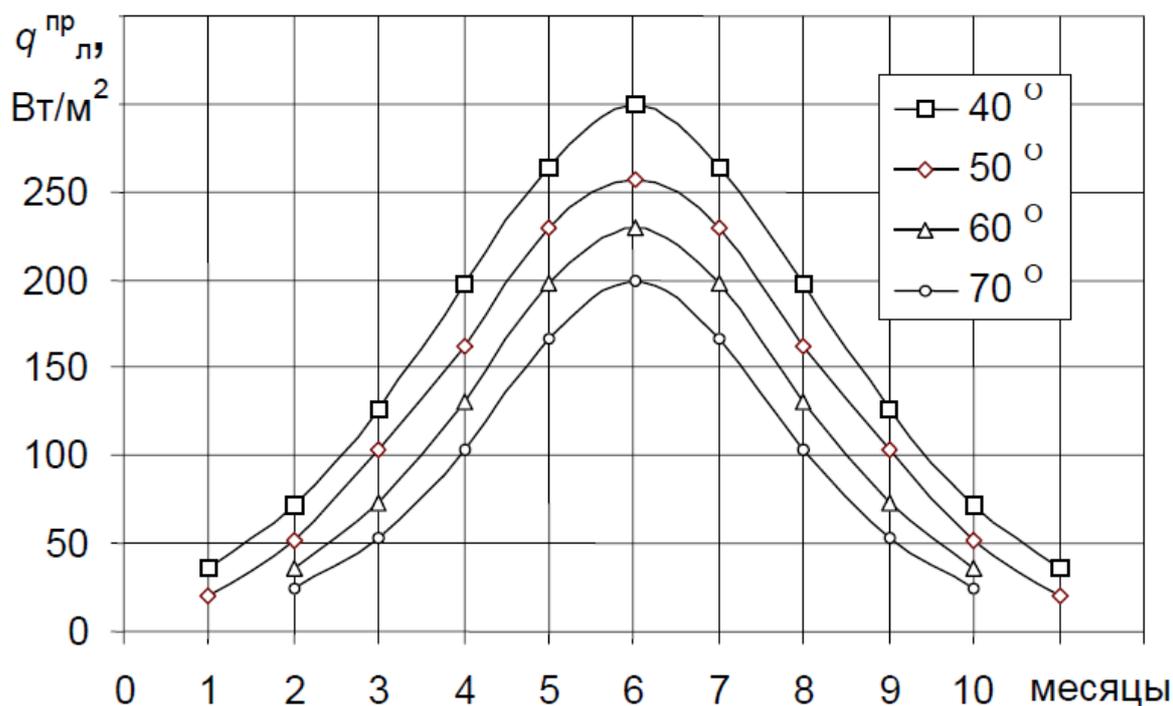


Рис. 1.3 Распределение по месяцам года плотности потока прямого солнечного излучения

1.3 Месторасположение (северная широта) некоторых городов России

Градусы северной широты	Города
48.7071	Волгоград
51.6615	Воронеж
54.7074	Калининград
54.7825	Смоленск
55.7537	Москва
57.0003	Иваново
57.6266	Ярославль
57.7677	Кострома
58.6029	Киров
59.9391	Санкт-Петербург

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

Ширина, град.	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	0,31	0,20	0,15	0,10	0,075	0,07	0,07	0,075	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	0,235	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	Марка		
	ES-58-1800-10-R1 CHINA	Сокол-А РОССИЯ	ОРС10 ШВЕЙЦАРИЯ
Длина a , мм	2010	2007	1700
Ширина b , мм	854	1007	850
Высота δ , мм	145	100	97
Площадь $f_k = a \cdot b$, м ²	1,71	2,02	1,45

4П Значения η_{opt} и $k_{КСЭ}$

Тип коллектора	η_{opt}	$k_{КСЭ}$, Вт/(м ² ·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	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	$C, \text{кДж/кг}\cdot\text{К}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
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

6П Примерные значения средней дневной температуры окружающей среды в ряде городов России $t_{окр}^{дн}, ^\circ\text{C}$

Город	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кострома	-8,6	-6,2	0	8,9	17,4	21,2	23,1	21	14,5	6,7	-0,7	-5,5
Санкт-Петербург	-5,1	-4,1	1,1	8,1	15,6	20,1	21,9	20	14,5	8,2	2,0	-2,3
Смоленск	-6,1	-4,4	0,5	9,6	17,7	20,7	21,9	20,9	15,3	8,5	1,4	-3,1
Киров	-10,8	-8,3	-1,2	7,9	16,4	21,1	23,2	20,4	13,4	4,5	-2,5	-7,6
Воронеж	-5,6	-4,4	1,2	12,9	20,9	24	25,4	24,5	18,5	10,2	2,4	-2,4
Ярославль	-8	-6,0	-0,7	8,5	16,5	21,1	24,2	23,0	16,5	9,1	1,8	-3,6
Калининград	-0,7	0,3	4,7	10,9	17,2	20,6	21,8	21,6	17,3	12,0	5,7	1,6
Волгоград	-9,1	-6,7	-0,1	7,9	16,6	20,6	22,7	20,3	13,8	6,1	-1,0	-5,9
Иваново	-8,2	-5,7	0,3	9,6	18,2	21,9	23,7	22,0	15,1	7,3	-0,4	-5,3
Москва	-6	-4	1	10	18	21	23	21	15	8	1	-3

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

Географическая широта, градусы се-верной широты	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	9–33	10–32	12–42	13–05	14–15	14–58	14–50	13–56	12–40	11–22	10–08	9–24
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