

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**РД 34.20.115-89**



Срок действия устанавливается  
с 01.01.90  
до 01.01.92

Настоящие Методические указания устанавливают порядок выполнения расчета и содержат рекомендации по проектированию систем солнечного теплоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений.

Методические указания предназначены для проектировщиков и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой систем солнечного теплоснабжения и горячего водоснабжения.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Методические указания распространяются на активные системы солнечного теплоснабжения (ССТ) с плоскими солнечными коллекторами, принудительной циркуляцией жидкого теплоносителя в теплоприемном контуре и предусматривают использование трехконтурной системы для покрытия нагрузок круглогодичного теплоснабжения и двухконтурной - для горячего водоснабжения (ГВС). Терминология по солнечному теплоснабжению приведена в приложении I.

1.2. Данная методика используется при расчете ССТ для населенных пунктов, расположенных южнее  $53^{\circ}$  северной широты и от  $22,5$  до  $84^{\circ}$  восточной долготы.

1.3. Целесообразность и эффективность применения ССТ зависит от доли тепловой нагрузки (коэффициента замещения), обеспечиваемый за счет солнечной энергии  $f$ , и в каждом конкретном случае определяется технико-экономическим расчетом.

1.4. Методика расчета удельной теплопроизводительности, отнесенной к единице площади поверхности солнечных коллекторов (СК),

базируется на среднегодовых долгосрочных данных суммарной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, и теплотехнических характеристиках солнечных коллекторов, приведенных в приложении 2.

1.5. Расчет годовой удельной теплопроизводительности ССТ производится при следующих условиях:

удельный расход антифриза в теплоприемном контуре  $q$  равен  $50 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;

эффективность водяного теплообменника  $\varepsilon_1$  равна  $0,7$ ;

удельная вместимость бака-аккумулятора (БА)  $V_a$ , приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  площади поверхности СК, равна  $75 \text{ л}/\text{м}^2$ ;

эффективность водовоздушного теплообменника  $\varepsilon_2$  удовлетворяет условию  $\varepsilon_2 C_{\min}/\lambda V \geq 2$ , где  $C_{\min}$  меньший из водяных эквивалентов водовоздушного теплообменника;

удельная суточная нагрузка ГВС равна  $517 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ;

разность температур горячей  $t_r$  и холодной воды  $t_x$  равна  $40^\circ\text{C}$ .

1.6. Тепловой расчет ССТ служит основой для расчетов гидродинамических и конструктивных параметров.

1.7. Выбор и расчет ССТ, площади поверхности СК, их типа, бака-аккумулятора рекомендуется осуществлять с учетом следующих основных факторов:

потерь теплоты в окружающую среду;

гидравлических сопротивлений по потокам теплоносителей;

габаритных размеров;

массы и металлоемкости;

экологии окружающей среды,

ремонтоспособности;

технологичности узлов;

соответствия требованиям действующих стандартов.

1.8. Исходные данные для расчетов должны входить в техническое задание на проектирование ССТ. Разработка, порядок согласования и утверждение технического задания регламентируются ГОСТ 15.001-73\*. Техническое задание на разработку ССТ должно содержать:

местонахождение объекта, на котором устанавливается система теплоснабжения (населенный пункт), географическая широта;

тип дублирующего источника, его КПД и стоимость вырабатываемой теплоты;

тепловую нагрузку по месяцам, приходящуюся на отопление и ГВС;  
теплотехнические ( $\lambda$ ,  $\kappa$ ) и габаритные показатели здания  
( $V$ ,  $S$ );

температуру горячей воды;

температуру питательной (холодной) воды.

1.9. Критерием для выбора оптимальной доли тепловой нагрузки, обеспечиваемой ССТ, является минимум приведенных затрат.

## 2. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Для установок солнечного теплоснабжения следует применять солнечные коллекторы с одинарным или двойным остеклением. Технические характеристики солнечных коллекторов, выпускаемых в СССР, приведены в приложении 3.

2.2. В установках солнечного теплоснабжения следует использовать водяные насосы, применяемые в системах отопления и горячего водоснабжения зданий.

При использовании в теплоприемном контуре антифриза целесообразно применять насосы типов ЦВЦ, ВС, ВКО и ХО.

2.3. При установке насосов в жилых домах следует применять малощумные насосы или принимать меры к снижению шума и вибрации до норм, допустимых СНиП II.12.77.

2.4. В качестве теплообменников для ССТ рекомендуется применять водоводяные подогреватели для тепловых сетей, выпускаемые по ТУ 400-28-429-82Е, и скоростные теплообменники типа ТТ, разработанные ВНИИнефтемаш Минхиммаш СССР.

Технические характеристики проточных теплообменников типа ТТ приведены в приложении 4.

2.5. В системе солнечного теплоснабжения рекомендуется применять воздушно-отопительные агрегаты А02-10-02УЗ, А0Д2-10-02УЗ, АСУ2-10-02УЗ по ТУ 36-2552-82, калориферы стальные пластинчатые КВСБ-ПУЗ, КВББ-ПУЗ и калориферы биметаллические со спиральнонакатным оребрением КС<sub>к</sub>3-01ХЛЗА и КС<sub>к</sub>3-02ХЛЗА.

### 3. РАСЧЕТЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

#### 3.1. Общие положения

3.1.1. При расчете ССТ и горячего водоснабжения учитывается круглогодичность их работы.

3.1.2. Теплопроизводительность ССТ за годичный период ее эксплуатации ( $Q_c$ ) определяется по уравнению

$$Q_c = fQ, \quad (3.1)$$

где  $f$  - доля полной среднегодовой тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счет солнечной энергии;

$Q$  - полная годовая нагрузка теплоснабжения, кВт·ч.

3.1.3. Удельная годовая теплопроизводительность ССТ определяется по формуле

$$q = Q_c / F, \quad (3.2)$$

где  $F$  - площадь поверхности СК, м<sup>2</sup>.

3.1.4. Удельная годовая теплопроизводительность  $q$  является функцией следующих параметров:

географической и климатических характеристик ( $\varphi, H, t_{н.в}$ );

характеристик солнечного коллектора ( $U_L, (\tau\alpha), F_R, \varepsilon$ );

режимных параметров ( $t_r, t_x, g$ );

параметров системы ( $\varepsilon_1, V_a, f$ ).

3.1.5. Характеристики солнечных коллекторов различных конструкций обобщены в трех типах - I, II, III, которые используются при нахождении удельной годовой теплопроизводительности ССТ  $q$ , и приведены в приложении I.

3.1.6. Для ССТ рекомендуется применять одностекольный селективный коллектор (тип II) и двухстекольный неселективный коллектор (тип III). Для систем ГВС - одностекольные коллекторы (типов I, II).

#### 3.2. Принципиальные схемы систем солнечного теплоснабжения

3.2.1. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения приведена на рис. I и предусматривает работу установки в режимах:

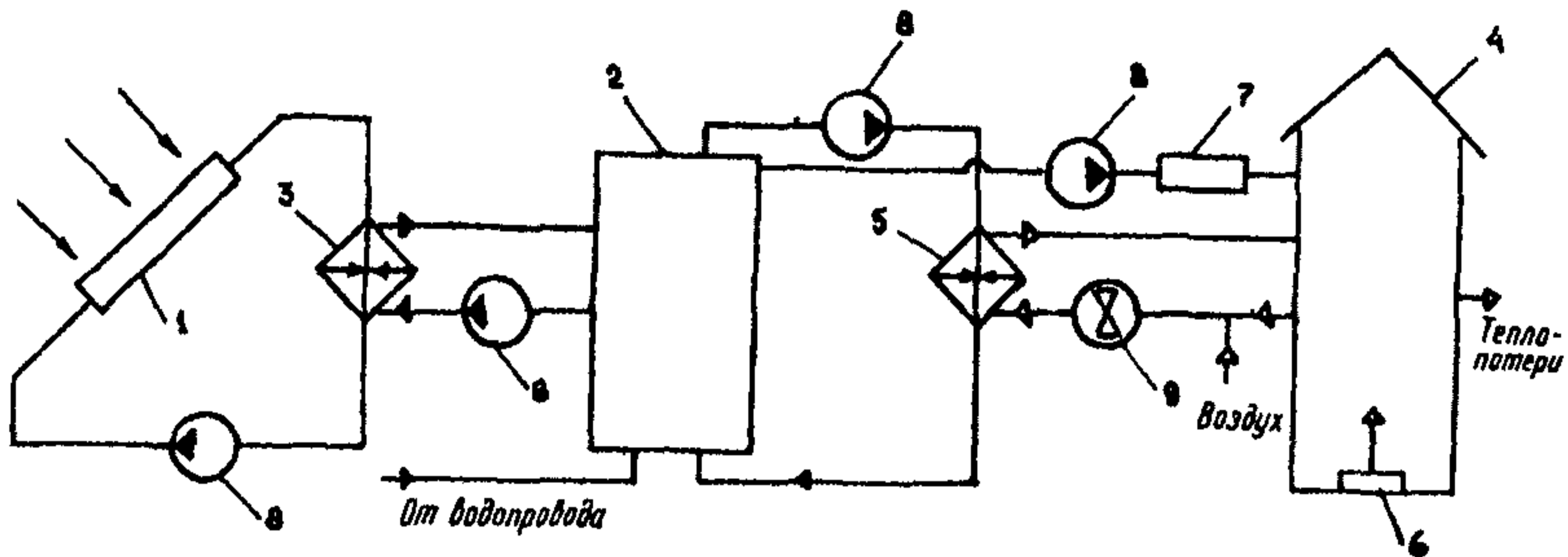


Рис. I. Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения

отопления и горячего водоснабжения;  
горячего водоснабжения.

Система ССТ включает три контура циркуляции:

первый контур, состоящий из солнечных коллекторов I, циркуляционного насоса 8 и жидкостного теплообменника 3;

второй контур, состоящий из бака-аккумулятора 2, циркуляционного насоса 8 и теплообменника 3;

третий контур, состоящий из бака-аккумулятора 2, циркуляционного насоса 8, водо-воздушного теплообменника (калорифера) 5.

Функционирует ССТ следующим образом. Теплоноситель (антифриз) теплоприемного контура, нагреваясь в солнечных коллекторах I, поступает в теплообменник 3, где теплота антифриза передается воде, циркулирующей в межтрубном пространстве теплообменника 3 под действием насоса 8 второго контура. Нагретая вода поступает в бак-аккумулятор 2.

Из бака-аккумулятора вода забирается насосом ГВС 8, доводится при необходимости до требуемой температуры в дублере 7 и поступает в систему ГВС здания. Подпитка бака-аккумулятора осуществляется из водопровода.

Для отопления вода из бака-аккумулятора 2 подается насосом третьего контура 8 в калорифер 5, через который с помощью вентилятора 9 пропускается воздух и, нагревшись, поступает в здание 4.

В случае отсутствия солнечной радиации или нехватки тепловой энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами, в работу включается дублер 6.

3.2.2. Принципиальная схема системы ГВС приведена на рис.2.

Работа СГВС осуществляется следующим образом. Циркуляционный насос 5 прокачивает теплоноситель через солнечные коллекторы I, где он, нагреваясь, отдает в теплообменнике 2 теплоту воде второго контура. Второй контур образован теплообменником 2, баком-аккумулятором 3 и насосом 5, соединенными между собой трубопроводом. Вода из бака-аккумулятора 3 через дублер 4 поступает в систему горячей воды здания. Холодная вода для подпитки поступает в нижнюю часть БА из водопровода.

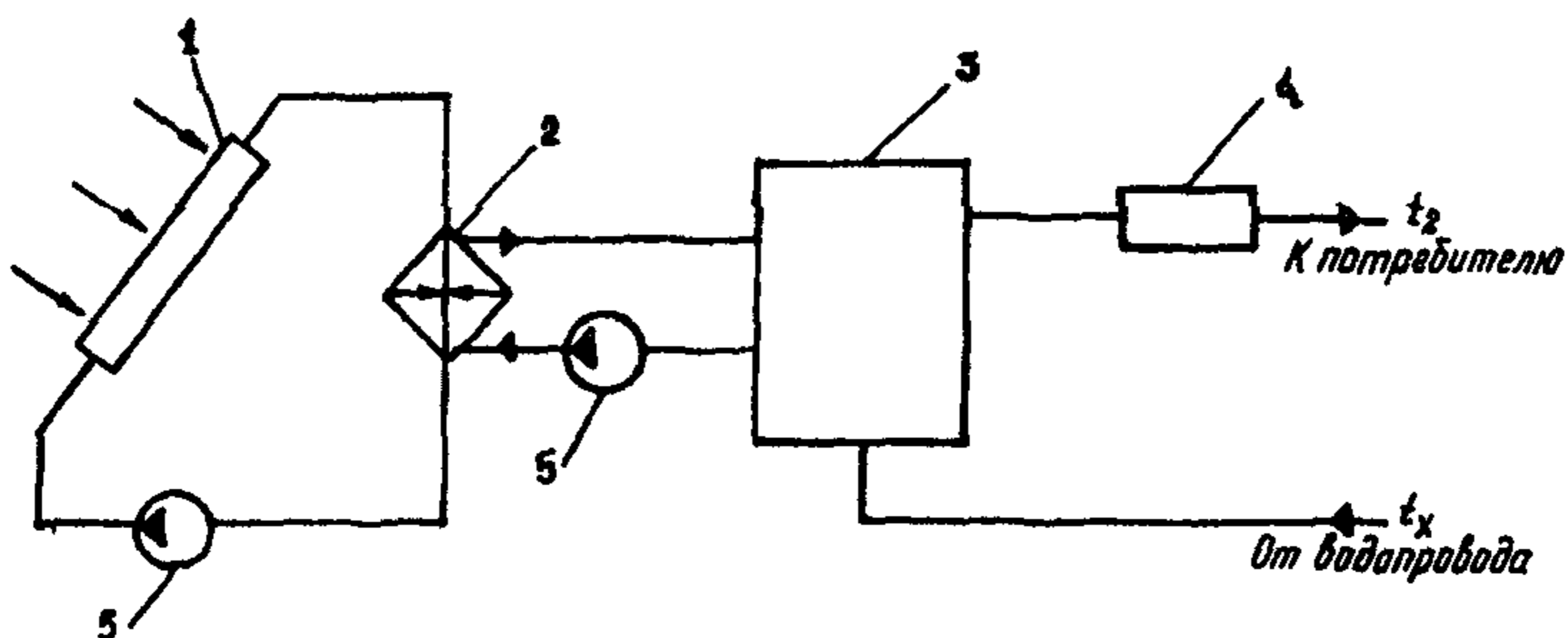


Рис.2. Принципиальная схема системы солнечного горячего водоснабжения

### 3.3. Расчет системы солнечного теплоснабжения

3.3.1. Основным параметром ССТ является годовая удельная теплопроизводительность, определяемая из уравнения

$$q = a + b (N - 1000), \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2, \quad (3.3)$$

где  $N$  - среднегодовая суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ; находится из приложения 5;

$a, b$  - параметры, определяемые из уравнения (3.4) и (3.5)

$$a = (\alpha_1 + \alpha_2 r + \alpha_3 r^2) + (\alpha_4 + \alpha_5 r + \alpha_6 r^2) f + (\alpha_7 + \alpha_8 r + \alpha_9 r^2) f^2; \quad (3.4)$$



$$\delta = (\beta_1 + \beta_2 \gamma + \beta_3 \gamma^2) + (\beta_4 + \beta_5 \gamma + \beta_6 \gamma^2) f + (\beta_7 + \beta_8 \gamma + \beta_9 \gamma^2) f^2, \quad (3.5.)$$

где  $\gamma$  - характеристика теплоизолирующих свойств ограждающих конструкций здания при фиксированном значении нагрузки ГВС, представляет собой отношение суточной нагрузки отопления при температуре наружного воздуха равной  $0^\circ\text{C}$  к суточной нагрузке ГВС. Чем больше  $\gamma$ , тем больше доля отопительной нагрузки по сравнению с долей нагрузки ГВС и тем менее совершенной является конструкция здания с точки зрения тепловых потерь;  $\gamma = 0$  принимается при расчете только системы ГВС. Характеристика определяется по формуле

$$\gamma = (\lambda m + k \rho_{\text{в}} c_p^{\text{в}}) V t_{\text{в}} / \ell S, \quad (3.6)$$

где  $\lambda$  - удельные тепловые потери здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  
 $m$  - количество часов в сутках;  
 $k$  - кратность вентиляционного обмена воздуха,  $\text{I}/\text{сут}$ ;  
 $\rho_{\text{в}}$  - плотность воздуха при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $c_p^{\text{в}}$  - теплоемкость воздуха при  $0^\circ\text{C}$  и постоянном давлении,  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ;  
 $V$  - объем здания,  $\text{м}^3$ ;  
 $t_{\text{в}}$  - температура воздуха внутри здания,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $\ell$  - суточная нагрузка ГВС, равная  $5\text{I}7 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ;  
 $S$  - жилая площадь здания,  $\text{м}^2$ ;  
 $\alpha_1, \dots, \alpha_9; \beta_1, \dots, \beta_9$  - коэффициенты, находятся из табл. 3.1 и 3.2;  
 $f$  - коэффициент замещения, ориентировочно принимается от 0,2 до 0,4.

Уравнение (3.3) применимо при использовании схемы, приведенной на рис. I.

Значения  $\lambda$ ,  $k$ ,  $V$ ,  $t_{\text{в}}$ ,  $S$  закладываются при проектировании ССТ.

Значения коэффициента  $\alpha$  для солнечных коллекторов  
II и III типов

Т а б л и ц а 3.1

| Тип кол-лек-тора | Значения коэффициентов |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                  | $\alpha_1$             | $\alpha_2$ | $\alpha_3$ | $\alpha_4$ | $\alpha_5$ | $\alpha_6$ | $\alpha_7$ | $\alpha_8$ | $\alpha_9$ |
| II               | 607,0                  | -80,0      | -3,0       | -1340,0    | 437,5      | 22,5       | 1900,0     | -1125,0    | 25,0       |
| III              | 298,0                  | 148,5      | -61,5      | 150,0      | 1112,0     | 337,5      | -700,0     | 1725,0     | -775,0     |

Т а б л и ц а 3.2

Значения коэффициента  $\beta$  для солнечных коллекторов  
II и III типов

| Тип кол-лек-тора | Значения коэффициентов |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                  | $\beta_1$              | $\beta_2$ | $\beta_3$ | $\beta_4$ | $\beta_5$ | $\beta_6$ | $\beta_7$ | $\beta_8$ | $\beta_9$ |
| II               | 1,177                  | -0,496    | 0,140     | -2,6      | 3,6       | -0,995    | 3,350     | -5,05     | 1,400     |
| III              | 1,062                  | -0,434    | 0,158     | -2,465    | 2,958     | -1,088    | 3,550     | -4,475    | 1,775     |

Уравнение (3.3) применимо при значениях:

$$1050 \leq H \leq 1900; \quad 1 \leq r \leq 3; \quad 0,2 \leq f \leq 0,4.$$

3.3.2. Общая площадь поверхности солнечных коллекторов находится по формуле

$$F = Qf/q, \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

### 3.4. Расчет системы солнечного горячего водоснабжения (СГВС)

3.4.1. Удельная годовая теплопроизводительность СГВС (схема на рис.2) определяется по формуле

$$q = a + b(N - 1050), \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \quad (3.8)$$

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  находятся из табл.3.3.

Т а б л и ц а 3.3

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  в зависимости от типа солнечного коллектора

| Тип коллектора | Значения коэффициентов |      |
|----------------|------------------------|------|
|                | $a$                    | $b$  |
| I              | 235                    | 0,75 |
| II             | 355                    | 0,80 |

Уравнение (3.8) справедливо при  $f = 0,5$  и  $1050 \leq N \leq 1900$ .

3.4.2. При других значениях коэффициента замещения  $f$  для рассматриваемых типов коллекторов I и II значение удельной годовой теплопроизводительности  $q$  должно быть увеличено (уменьшено) в соответствии с данными табл.3.4 и определяется по формуле

$$q_i = q(1 + \Delta q/100) \text{ , кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2, \quad (3.9)$$

где  $q_i$  - удельная годовая теплопроизводительность СГВС при значениях  $f$  , отличных от 0,5;  
 $\Delta q$  - изменение годовой удельной теплопроизводительности СГВС, %.

Т а б л и ц а 3.4

Изменение значения удельной годовой теплопроизводительности  $\Delta q$  от годового поступления солнечной радиации на горизонтальную поверхность  $H$  и коэффициента  $f$

| Значения $H$ , кВт.ч/м <sup>2</sup> | Значения $\Delta q$ , % при |         |         |         |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|
|                                     | $f=0,3$                     | $f=0,4$ | $f=0,5$ | $f=0,6$ |
| Менее 1500                          | +17                         | +9      | 0       | -10     |
| Более 1500                          | +10                         | +5      | 0       | -6      |

Значение  $f$  больше 0,6 достигается при  $H \geq 1700$ .

3.4.3. Общая площадь поверхности солнечных коллекторов СГВС определяется по формуле

$$F = Q_f / q, \text{ м}^2. \quad (3.10)$$

#### 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

4.1. Размещение солнечных коллекторов производится на кровле зданий или площадках с учетом ландшафта и застройки местности.

4.2. При проектировании установки теплоснабжения следует произвести расчет опорных конструкций с учетом ветровой и снеговой нагрузок, а при необходимости - с учетом сейсмических воздействий.

4.3. Оптимальная ориентация солнечных коллекторов - южная. Отклонение от южной ориентации на восток до  $15^\circ$  ведет к уменьшению прихода солнечной радиации на 5%, а на запад до  $30^\circ$  - на 10%.

4.4. Угол наклона солнечных коллекторов к горизонту при круглогодичной работе установки должен приниматься равным широте местности для солнечного ГВС и  $\varphi + 15^\circ$  для ССТ.

4.5. Расстояние между рядами солнечных коллекторов по горизонтали рассматривается из условия незатенения по наименьшему значе-

нию высоты солнца над горизонтом, приведенной в приложении 6, в зависимости от географической широты местонахождения объекта.

4.6. Для обеспечения высокой эффективности солнечных коллекторов и выбора циркуляционного насоса производится гидравлический расчет по общепринятой методике. Сопротивление солнечного коллектора при расходе  $50 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  не превышает 500 Па.

4.7. Для равномерного распределения потока теплоносителя в системах солнечные коллекторы соединяются в последовательно-параллельные и параллельно-последовательные группы с учетом удобства технического обслуживания и ремонта.

4.8. В установках солнечного теплоснабжения с большой площадью поверхности солнечных коллекторов следует предусматривать возможность отключения отдельных секций в случае выхода их из строя без вывода из эксплуатации всей установки.

4.9. Для удаления воздуха из системы необходимо предусматривать воздушный клапан, устанавливаемый в наивысшей точке системы. Допускается удаление воздуха с помощью расширительного бака, установленного выше уровня статического давления в гелиоконтуре.

4.10. В системе теплоснабжения необходимо предусматривать арматуру для заполнения системы, а в нижней части - для спуска теплоносителя с уклоном трубопровода 0,002.

4.11. Рекомендуется предусматривать 10%-ный запас площади поверхности солнечных коллекторов на случай выхода части ее из строя, ухудшения теплопередающих свойств и загрязнения поверхности остекления.

4.12. Движение теплоносителей в контурах следует принимать по противоточной схеме.

4.13. Тепловые потери через изоляцию БА, теплообменников и трубопроводов не должны превышать 5% теплопроизводительности СК.

4.14. Для поддержания постоянной температуры горячей воды, подаваемой к потребителю, установки должны обеспечиваться автоматическими регуляторами температуры.

4.15. При использовании в гелиоконтуре в качестве теплоносителя воды необходимо предусмотреть ее химическую обработку и деаэрирование перед заполнением системы.

4.16. При круглогодичной эксплуатации ССТ в теплоприемном контуре рекомендуется применять антифриз. Свойства антифризов приведены в приложении 7.

Давление антифриза в теплоприемном контуре во избежание попадания его в БА при нарушении герметичности теплообменника должно быть ниже, чем давление воды в тепловоспринимающем контуре.

4.17. Система теплоснабжения должна включать дублер, работающий совместно с солнечной установкой при длительном отсутствии солнечной радиации, обеспечивающий 100%-ное покрытие тепловой нагрузки здания.

## 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Применение ССТ считается целесообразным, если выполняется условие

$$Z_c \leq Z_b, \quad (5.1)$$

где  $Z_c$  - удельные приведенные затраты на единицу вырабатываемой тепловой энергии ССТ, руб./ГДж;

$Z_b$  - удельные приведенные затраты на единицу вырабатываемой тепловой энергии базовой установкой, руб./ГДж.

5.2. Удельные приведенные затраты на единицу вырабатываемой энергии (стоимость единицы тепловой энергии) для солнечной установки определяется по формуле

$$Z_c = C_c / Q, \quad (5.2)$$

где  $C_c$  - приведенные затраты на ССТ и дублер, руб./год;

$$C_c = (K_c + K_b) E_n + Z_c K_c + Z_b K_b + C N_d - K_3 - K_n, \quad (5.3)$$

где  $K_c$  - капитальные затраты на ССТ, руб;

$K_b$  - капитальные затраты на дублер, руб;

$E_n$  - нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений (0,1);

$Z_c$  - доля эксплуатационных расходов от капитальных затрат на ССТ;

$Э_b$  - доля эксплуатационных расходов от капитальных затрат на дублер;

$Ц$  - стоимость единицы тепловой энергии, вырабатываемой дублером, руб./ГДж;

$N_d$  - количество тепловой энергии, вырабатываемой дублером в течение года, ГДж;

$K_э$  - эффект от снижения загрязнения окружающей среды, руб;

$K_n$  - социальный эффект от экономии зарплаты персонала, обслуживающего дублер, руб.

Удельные приведенные затраты определяются по формуле

$$З_b = C_b / Q, \quad (5.4)$$

где  $C_b$  - приведенные затраты на базовую установку, руб./год;

$$C_b = K_b E_n + Э_b K_b, \quad (5.5)$$

где  $K_b$  - капитальные затраты на базовый источник тепловой энергии, руб.;

$Э_b$  - доля эксплуатационных расходов от капитальных затрат на базовый источник тепловой энергии.

5.3. Эффект от снижения загрязнения окружающей среды учитывается для приведения к сопоставимому виду сравниваемых вариантов и рассчитывается в соответствии с действующей "Временной типовой методикой определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды" (Госплан СССР, Госстрой СССР, АН СССР, 1983) и "Руководством по расчету количества и удельных показателей выбросов вредных веществ в атмосферу" (М.: ВПТИтрансстрой, 1982).

5.4. Социальный эффект от экономии зарплаты персонала, обслуживающего дублер  $K_n$  при отключении дублера в период полного покрытия тепловой нагрузкой ССТ, определяется по формуле

$$K_n = \frac{З_n}{12} \tau_{nn}, \quad (5.6)$$

где  $Z_n$  - среднегодовая удельная зарплата с начислениями эксплуатационного персонала дублера, руб./год;

$T_{пн}$  - период полного покрытия тепловой нагрузки ССТ, мес.

5.5. Расчет экономии топлива в пересчете на условное (т) за счет использования солнечной энергии следует определять по формуле

$$B = \frac{Q_c}{10^3 Q_n^p \eta}, \quad (5.7)$$

где  $Q_n^p$  - низшая теплота сгорания условного топлива, кВт.ч/кг;  
 $\eta$  - КПД замещаемого источника энергии.

## 6. ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $Z_c$  - удельные приведенные затраты на единицу вырабатываемой тепловой энергии ССТ, руб./ГДж;
- $Z_b$  - удельные приведенные затраты на единицу вырабатываемой тепловой энергии базовой установкой, руб./ГДж;
- $Z_n$  - среднегодовая удельная зарплата с начислениями эксплуатационного персонала дублера, руб./год;
- $K_c$  - капитальные затраты на ССТ, руб.;
- $K_b$  - капитальные затраты на дублер, руб.;
- $K_э$  - эффект от снижения загрязнения окружающей среды, руб.;
- $K_n$  - социальный эффект от экономии зарплаты персонала обслуживающего дублер, руб.;
- $E_n$  - нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений;
- $C_c$  - приведенные затраты на ССТ и дублер, руб./год;
- $C_b$  - приведенные затраты на базовую установку, руб./год;
- $Э_c$  - доля эксплуатационных расходов от капитальных затрат на ССТ;
- $Э_b$  - доля эксплуатационных расходов от капитальных затрат на дублер;
- $Э_б$  - доля эксплуатационных расходов от капитальных затрат на базовый источник тепловой энергии;



- $C$  - стоимость единицы тепловой энергии, вырабатываемой дублером, руб./ГДж;
- $B$  - экономия топлива в пересчете на условное за эксплуатационный период солнечной установки, т/год;
- $H$  - среднегодовая суммарная солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, кВт·ч;
- $Q$  - полная годовая нагрузка теплоснабжения, кВт·ч;
- $Q_H^p$  - низшая теплота сгорания условного топлива, кВт·ч/кг;
- $Q_c$  - годовая теплопроизводительность ССТ, кВт·ч;
- $F$  - площадь поверхности СК, м<sup>2</sup>;
- $U_L$  - общий коэффициент тепловых потерь, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- $F_R$  - коэффициент эффективности солнечного коллектора;
- $V_a$  - удельная вместимость бака-аккумулятора, л/м<sup>2</sup>;
- $V$  - объем здания, м<sup>3</sup>;
- $S$  - жилая площадь здания, м<sup>2</sup>;
- $N_d$  - количество тепловой энергии, вырабатываемой дублером за год, ГДж;
- $a$  - параметр;
- $b$  - параметр;
- $t_r$  - температура горячей воды на выходе из СК, °С;
- $t_x$  - температура холодной воды на входе в БА, °С;
- $t_{н.в}$  - температура наружного воздуха, °С;
- $t_{в}$  - температура воздуха внутри здания, °С;
- $q$  - годовая удельная теплопроизводительность ССТ, отнесенная к единице площади солнечных коллекторов, кВт·ч/м<sup>2</sup>;
- $f$  - доля полной среднегодовой тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счет солнечной энергии (коэффициент замещения);
- $\varphi$  - географическая широта, град.;
- $\varepsilon$  - степень черноты поглощательной поверхности СК в диапазоне рабочих температур коллектора;
- $\varepsilon_1$  - эффективность водяного теплообменника;
- $\varepsilon_2$  - эффективность водовоздушного теплообменника;
- $\tau_n$  - пропускательная способность остекления;
- $\tau_{пн}$  - период полного покрытия тепловой нагрузки ССТ, мес.;
- $(\tau\alpha)$  - приведенная поглощательная способность солнечного коллектора;
- $q$  - удельный расход антифриза в теплоприемном контуре, кг/(м<sup>2</sup>·ч);

- $\alpha$  - поглощательная способность теплоприемной поверхности;  
 $\alpha_1, \dots, \alpha_g$  - коэффициенты;  
 $\beta_1, \dots, \beta_g$  - коэффициенты;  
 $\Gamma$  - характеристика теплоизолирующих свойств ограждающих конструкций здания при фиксированном значении нагрузки ГВС;  
 $\lambda$  - удельные тепловые потери здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C);  
 $m$  - количество часов в сутках;  
 $K$  - кратность вентиляционного обмена воздуха, 1/сут;  
 $\rho_{\theta_0}$  - плотность воздуха при 0°C, кг/м<sup>3</sup>;  
 $c_p$  - теплоемкость воздуха при 0°C и постоянном давлении, Вт·ч/(кг·°C);  
 $l$  - удельная суточная нагрузка ГВС, Вт·ч/м<sup>2</sup>;  
 $C_{min}$  - меньший из водяных эквивалентов водовоздушного теплообменника, Вт/°C;  
 $\eta$  - КПД замещаемого источника энергии.

## Приложение I

### Терминология по солнечному теплоснабжению

| Термин  | Определение термина  |
|---|--|
| Солнечный коллектор   | Устройство для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую и другие виды энергии   |
| Часовая (суточная, месячная и т.д.) теплопроизводительность | Количество тепловой энергии, отводимой от коллектора за час (сутки, месяц и т.д.) работы   |
| Плоский солнечный коллектор                                 | Нефокусирующий солнечный коллектор с поглощающим элементом плоской конфигурации (типа "труба в листе", только из труб и т.п.) и плоской прозрачной изоляцией |
| Площадь тепловоспринимающей поверхности                     | Площадь поверхности поглощающего элемента, освещенная солнцем в условиях нормального падения лучей   |

О к о н ч а н и е п р и л о ж е н и я I

| Термин   | Определение термина  |
|--|--|
| Коэффициент тепловых потерь через прозрачную изоляцию (днище, боковые стенки коллектора) | Поток тепла в окружающую среду через прозрачную изоляцию (днище, боковые стенки коллектора), отнесенный к единице площади тепловоспринимающей поверхности, при разности средних температур поглощающего элемента и наружного воздуха в $1^{\circ}\text{C}$   |
| Удельный расход теплоносителя в плоском солнечном коллекторе                             | Расход теплоносителя в коллекторе, отнесенный к единице площади тепловоспринимающей поверхности  |
| Коэффициент эффективности  | Величина, характеризующая эффективность переноса тепла от поверхности поглощающего элемента к теплоносителю и равная отношению фактической теплопроизводительности к теплопроизводительности при условии, что все термические сопротивления передачи тепла от поверхности поглощающего элемента к теплоносителю равны нулю |
| Степень черноты поверхности  | Отношение интенсивности излучения поверхности к интенсивности излучения черного тела при той же температуре  |
| Пропускательная способность остекления   | Пропускаемая прозрачной изоляцией доля солнечного (инфракрасного, видимого) излучения, падающего на поверхность прозрачной изоляции  |
| Дублер   | Традиционный источник тепловой энергии, обеспечивающий частичное или полное покрытие тепловой нагрузки и работающий в сочетании с системой солнечного теплоснабжения   |
| Система солнечного теплоснабжения  | Система, обеспечивающая покрытие нагрузки отопления и горячего водоснабжения за счет солнечной энергии   |

Приложение 2

Теплотехнические характеристики солнечных коллекторов

| Наименование величины   | Тип коллектора |      |      |
|---|----------------|------|------|
|   | I              | II   | III  |
| Общий коэффициент тепловых потерь $U_L$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)                               | 7,5            | 4,3  | 4,4  |
| Поглощательная способность теплоприемной поверхности $\alpha$                                   | 0,95           | 0,90 | 0,95 |
| Степень черноты поглощательной поверхности в диапазоне рабочих температур коллектора $\epsilon$ | 0,95           | 0,10 | 0,95 |
| Пропускательная способность остекления $\tau_n$   | 0,87           | 0,87 | 0,72 |
| Коэффициент эффективности $F_R$   | 0,91           | 0,93 | 0,95 |
| Максимальная температура теплоносителя, °С  | 80             | 100  | 80   |

Примечание. I - одностекольный неселективный коллектор; II - одностекольный селективный коллектор; III - двухстекольный неселективный коллектор.

Приложение 3

Технические характеристики солнечных коллекторов

| Основные параметры и характеристики солнечного коллектора | Изготовитель                               |                            |            |                                  |
|---|--|----------------------------|------------|----------------------------------|
|   | Братский завод отопительно-го оборудования | Спецтеплиотепломонтаж СССР | КиевЗНИИЭП | Бухарский завод гелио-аппаратуры |
| Длина, мм   | 1530                                       | 1000-3000                  | 1624       | 1100                             |
| Ширина, мм  | 630  | 600                        | 1008       | 650                              |
| Высота, мм  | 98   | 70-100                     | 100        | 111                              |
| Масса, кг   | 50,5                                       | 30-50                      | 37         | 36                               |
| Тепловоспринимающая поверхность, м <sup>2</sup>           | 0,8  | 0,6-1,5                    | 1,5        | 0,62                             |
| Рабочее давление, МПа                                     | 0,6  | 0,2-0,6                    | 0,6        | 0,6                              |

Приложение 4

Технические характеристики проточных теплообменников типа ТТ

| Тип теплообменника | Диаметр наружный/внутренний, мм |                | Проходное сечение                 |                                    | Поверхность нагрева одной секции, м <sup>2</sup> | Длина секции, мм | Масса одной секции, кг |
|--------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|------------------|------------------------|
|                    | внутренней трубы                | наружной трубы | внутренней трубы, см <sup>2</sup> | кольцевого канала, см <sup>2</sup> |  |                  |                        |
| ТТ 1-25/38-10/10   | 25/20                           | 38/32          | 3,14                              | 1,13                               | 1,4  | 1500             | 140                    |
| ТТ 2-25/38-10/10   | 25/20                           | 38/32          | 6,28                              | 6,26                               | 1,4  | 1500             | 140                    |

Годовой приход суммарной солнечной радиации  
на горизонтальную поверхность ( $H$ ), кВт·ч/м<sup>2</sup>

| Населенный пункт    | $H$  |
|---------------------|------|
| Азербайджанская ССР |      |
| Баку                | 1375 |
| Кировобад           | 1426 |
| Мингечаур           | 1426 |
| Армянская ССР       |      |
| Ереван              | 1701 |
| Ленинакан           | 1681 |
| Севан               | 1732 |
| Нахичевань          | 1783 |
| Грузинская ССР      |      |
| Телави              | 1498 |
| Тбилиси             | 1396 |
| Цхакая              | 1365 |
| Казахская ССР       |      |
| Алма-Ата            | 1447 |
| Гурьев              | 1569 |
| Форт-Шевченко       | 1437 |
| Джезназган          | 1508 |
| Ак-Кум              | 1773 |
| Аральское море      | 1630 |
| Бирса-Кельмес       | 1569 |
| Кустанай            | 1212 |
| Семипалатинск       | 1437 |
| Джаныбек            | 1304 |
| Колыково            | 1406 |

Продолжение приложения 5

| Населенный пункт      | Н    |
|-----------------------|------|
| Киргизская ССР        |      |
| Фрунзе                | 1538 |
| Тянь-Шань             | 1915 |
| РСФСР                 |      |
| Алтайский край        |      |
| Благовещенка          | 1284 |
| Астраханская область  |      |
| Астрахань             | 1365 |
| Волгоградская область |      |
| Волгоград             | 1314 |
| Воронежская область   |      |
| Воронеж               | 1039 |
| Каменная степь        | 1111 |
| Краснодарский край    |      |
| Сочи                  | 1365 |
| Куйбышевская область  |      |
| Куйбышев              | 1172 |
| Курская область       |      |
| Курск                 | 1029 |
| Молдавская ССР        |      |
| Кишинев               | 1304 |

Продолжение приложения 5

| Населенный пункт                | И            |
|---------------------------------|--------------|
| Оренбургская область<br>Бузулук | 1182         |
| Ростовская область              |              |
| Цимлянск<br>Гигант              | 1284<br>1314 |
| Саратовская область             |              |
| Ершов<br>Саратов                | 1263<br>1233 |
| Ставропольский край             |              |
| Ессентуки                       | 1294         |
| Узбекская ССР                   |              |
| Самарканд                       | 1661         |
| Тамдыбулак                      | 1752         |
| Тахнаташ                        | 1681         |
| Ташкент                         | 1559         |
| Термез                          | 1844         |
| Фергана                         | 1671         |
| Чурук                           | 1610         |
| Таджикская ССР                  |              |
| Душанбе                         | 1752         |
| Туркменская ССР                 |              |
| Ак-Молла                        | 1834         |
| Ашхабад                         | 1722         |



Продолжение приложения 5

| Населенный пункт       | Н    |
|------------------------|------|
| Гасан-Кули             | 1783 |
| Кара-Богаз-Гол         | 1671 |
| Чарджоу                | 1885 |
| Украинская ССР         |      |
| Херсонская область     |      |
| Херсон                 | 1335 |
| Аскания Нова           | 1335 |
| Сумская область        |      |
| Конотоп                | 1080 |
| Полтавская область     |      |
| Полтава                | 1100 |
| Волынская область      |      |
| Ковель                 | 1070 |
| Донецкая область       |      |
| Донецк                 | 1233 |
| Закарпатская область   |      |
| Берегово               | 1202 |
| Киевская область       |      |
| Киев                   | 1141 |
| Кировоградская область |      |
| Знаменка               | 1161 |

О к о н ч а н и е п р и л о ж е н и я 5

| Населенный пункт | Н    |
|------------------|------|
| Крымская область |      |
| Евпатория        | 1386 |
| Карадаг          | 1426 |
| Одесская область |      |
| Одесса           | 1355 |

П р и л о ж е н и е 6

Высота солнца над горизонтом, град.

| Геогра-<br>фиче-<br>ская<br>широта,<br>° с. ш. | Месяцы |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | I      | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| 38   | 30,8   | 39,2 | 49,8 | 61,7 | 70,8 | 75,3 | 73,6 | 66,2 | 55,1 | 43,6 | 33,6 | 28,7 |
| 40   | 28,8   | 37,2 | 47,8 | 59,7 | 68,8 | 73,3 | 71,6 | 64,2 | 53,1 | 41,6 | 31,6 | 26,7 |
| 42   | 26,8   | 35,2 | 45,8 | 57,7 | 66,8 | 71,3 | 69,6 | 62,2 | 51,1 | 39,6 | 29,6 | 24,7 |
| 44   | 24,8   | 33,2 | 43,8 | 55,7 | 64,8 | 69,3 | 67,6 | 60,2 | 49,1 | 37,6 | 27,6 | 22,7 |
| 46   | 22,8   | 31,2 | 41,8 | 53,7 | 62,8 | 67,3 | 65,6 | 58,2 | 47,1 | 35,6 | 25,6 | 20,7 |
| 48   | 20,8   | 29,2 | 39,8 | 51,7 | 60,8 | 65,3 | 63,6 | 56,2 | 45,1 | 33,6 | 23,6 | 18,7 |
| 50   | 18,8   | 27,2 | 37,8 | 49,7 | 58,8 | 63,3 | 61,6 | 54,2 | 43,1 | 31,6 | 21,6 | 16,7 |
| 52   | 16,8   | 25,2 | 35,8 | 47,7 | 56,8 | 61,3 | 59,6 | 52,2 | 41,1 | 29,6 | 19,6 | 14,7 |
| 54   | 14,8   | 23,2 | 33,8 | 45,7 | 54,8 | 59,3 | 57,6 | 50,2 | 39,1 | 27,6 | 17,6 | 12,7 |

Приложение 7

Свойства антифризов, применяемых  
в солнечных системах теплоснабжения

| Наименование                           | Хлористый натрий (23,1%-й раствор) | Хлористый кальций (29,9%-й раствор) | Пропилен гликоль (60%-й раствор) | Этилен гликоль (60%-й раствор) | Углекислый калий |
|--|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Температура замерзания, °С             | -21,2                              | -55,0                               | -52                              | -53                            | -57              |
| Температура кипения, °С                | 106,0                              | 110,0                               | 107,5                            | 105,0                          | 113,0            |
| Вязкость, 10 <sup>-3</sup> Па·с:       |                                    |                                     |                                  |                                |                  |
| при температуре 5°С                    | 2,6                                | 5,15                                | -                                | 6,38                           | -                |
| при температуре 20°С                   | -                                  | -                                   | -                                | -                              | 7,65             |
| при температуре -40°С                  | 7,75                               | 35,3                                | -                                | 28,45                          | -                |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>           | -                                  | -                                   | -                                | 1077                           | 1483-1490        |
| Теплоемкость кДж/(м <sup>3</sup> ·°С): |                                    |                                     |                                  |                                |                  |
| при температуре 5°С                    | 3900                               | 3524                                | -                                | -                              | -                |
| при температуре 20°С                   | -                                  | -                                   | -                                | 3340                           | 3486             |
| Коррозионная способность               | Сильная                            | Средняя                             | Слабая                           | Слабая                         | Сильная          |
| Токсичность                            | Нет                                | Средняя                             | Нет                              | Слабая                         | Нет              |

Примечание. Теплоносители на основе углекислого калия имеют следующие составы (массовая доля):

|                                    | Рецептура 1 | Рецептура 2 |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Калий углекислый, 1,5-водный       | 51,6        | 42,9        |
| Натрий фосфорнокислый, 12-водный   | 4,3         | 3,57        |
| Натрий кремнекислый, 9-водный      | 2,6         | 2,16        |
| Натрий тетраборнокислый, 10-водный | 2,0         | 1,66        |
| Флуоресцин                         | 0,01        | 0,01        |
| Вода                               | До 100      | До 100      |

---

## О Г Л А В Л Е Н И Е

|   |    |
|---|----|
| 1. Общие положения .....  | 3  |
| 2. Основное оборудование системы солнечного теплоснабжения .....                                | 5  |
| 3. Расчеты систем солнечного теплоснабжения и горячего водоснабжения .....                      | 6  |
| 4. Рекомендации по проектированию системы солнечного теплоснабжения .....                       | 12 |
| 5. Обоснование экономической целесообразности применения солнечной системы теплоснабжения ..... | 14 |
| 6. Обозначения .....  | 16 |
| Приложение 1. Терминология по солнечному теплоснабжению .....                                   | 18 |
| Приложение 2. Теплотехнические характеристики солнечных коллекторов .....                       | 20 |
| Приложение 3. Технические характеристики солнечных коллекторов .....                            | 21 |
| Приложение 4. Технические характеристики проточных теплообменников типа ТТ .....                | 21 |
| Приложение 5. Годовой приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность.....    | 22 |
| Приложение 6. Высота солнца над горизонтом.   | 26 |
| Приложение 7. Свойства антифризов, применяемых в солнечных системах теплоснабжения .....        | 27 |

---