

В книге освещены вопросы использования плоских солнечных водонагревательных коллекторов и приведена методика расчета их основных теплотехнических, технико-экономических и экологических показателей в системе горячего водоснабжения в зависимости от температуры получаемых из них горячей воды. Результаты расчетов могут быть использованы при разработке проектов солнечных систем горячего водоснабжения жилых, коммунально-бытовых и социальных объектов. Книга предназначена для научных работников, докторантов и специалистов – теплотехников, работающих в области проектирования, монтажа и эксплуатации систем горячего водоснабжения, магистрантов и студентов по специальности «Возобновляемые источники энергии».

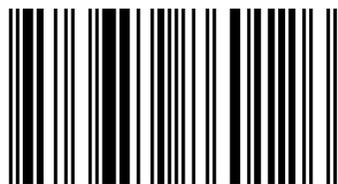


Нилуфар Авезова
Раббанакул Авезов
Акмал Вохидов

Авезова Нилуфар - кандидат технических наук, заведующая лабораторией Физико-технического института НПО "Физика-Солнце" Академии Наук Республики Узбекистан. Автор свыше 100 научных публикаций и 10 патентов. Ведет научное исследование в областях "Тепловое преобразование и использование солнечной энергии" и "Возобновляемые источники энергии".

Ресурсные показатели плоских солнечных водонагревательных коллекторов

Методика расчета основных
теплотехнических, технико-экономических и
экологических показателей солнечных
коллекторов



978-3-659-86012-6

LAP
LAMBERT
Academic Publishing

**Нилуфар Авезова
Раббанакул Авезов
Акмал Вохидов**

**Ресурсные показатели плоских солнечных
водонагревательных коллекторов**

**Нилуфар Авезова
Раббанакул Авезов
Акмал Вохидов**

**Ресурсные показатели плоских
солнечных водонагревательных
коллекторов**

**Методика расчета основных теплотехнических,
технико-экономических и экологических
показателей солнечных коллекторов**

LAP LAMBERT Academic Publishing

Impressum / Выходные данные

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: www.ingimage.com

Verlag / Издатель:

LAP LAMBERT Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Bahnhofstraße 28, 66111 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: info@lap-publishing.com

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

ISBN: 978-3-659-86012-6

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2016 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2016

Н.Р. Авезова, Р.Р. Авезов, А.У. Вохидов. **Ресурсные показатели плоских солнечных водонагревательных коллекторов.** Методика расчета основных теплотехнических, технико-экономических и экологических показателей плоских солнечных коллекторов.

В книге освещены вопросы использования плоских солнечных водонагревательных коллекторов и приведена методика расчета их основных теплотехнических, технико-экономических и экологических показателей в системе горячего водоснабжения в зависимости от температуры получаемых из них горячей воды. Результаты расчетов могут быть использованы при разработке проектов солнечных систем горячего водоснабжения жилых, коммунально-бытовых и социальных объектов.

Книга предназначена для научных работников, докторантов и специалистов – теплотехников, работающих в области проектирования, монтажа и эксплуатации систем горячего водоснабжения, магистрантов и студентов по специальности «Возобновляемые источники энергии».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Часть 1. Методика расчета теплопроизводительности плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системе горячего водоснабжения	7
Часть 2. Исходные данные для расчетов ресурсных показателей плоских солнечных водонагревательных коллекторов в зависимости от внешних факторов	27
Часть 3. Исходные данные для расчетов ресурсных показателей плоских солнечных водонагревательных коллекторов, зависящие от их весогабаритных и теплотехнических характеристик и оптических свойств светопрозрачного покрытия его корпуса	43
Часть 4. Удельная теплопроизводительность и тепловая эффективность плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системе горячего водоснабжения в зависимости от температуры получаемых из них горячей воды	57
Часть 5. Техничко-экономические показатели плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системе горячего водоснабжения	69
Часть 6. Экологические показатели использования плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системе горячего водоснабжения в условиях Республики Узбекистан	75
Литература	79

ВВЕДЕНИЕ

В решении проблем экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов, смягчения экологической напряженности и улучшения социально – бытовых условий проживания населения важное значение имеет расширение масштабов использования местных нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. В климатических условиях Республики Узбекистан одним из перспективных местных нетрадиционных и возобновляемых источников энергии является энергия солнечного излучения (СИ), технический потенциал которой составляет 180 млн. тонн нефтяного эквивалента, что более, чем в три раза превышает ежегодную потребность республики в энергоресурсах [1].

Наиболее подготовленной сферой для широкомасштабного применения солнечной энергии (СЭ) в республике, как и во всем мире, считается ее преобразование в низкопотенциальное тепло с помощью плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) и использование его в качестве источника тепловой энергии в системе горячего водоснабжения (СГВС) жилых, коммунально-бытовых и социальных объектов, являющихся основными потребителями тепла такого же температурного потенциала. Следует отметить, что для покрытия годовых тепловых нужд населения и коммунально-бытового сектора расходуется более 50% первичных энергоресурсов, ежегодно производимых в республике [2].

Реальные масштабы использования СЭ в СГВС, при прочих равных условиях, зависят от технико-экономических показателей их основного элемента - ПСВК, которые, в свою очередь, наряду со стоимостными показателями, зависят от их ресурсных показателей, т.е. годовой теплопроизводительности в зависимости от температуры, получаемой из них горячей воды, имеющую потребительскую значимость для абонентов СГВС.

Ресурсные показатели ПСВК в СГВС, как солнечные водонагревательные установки (СВУ), в свою очередь, могут быть определены путем проведения их соответствующих тепловых испытаний в натуральных условиях в характерных

регионах республики, отличающихся в основном по приходу СИ и температурой наружного воздуха. Однако, одновременность и неодинаковость условий проведения испытаний затруднят установить достоверную взаимосвязь ресурсных показателей солнечных коллекторов (СК) рассматриваемого типа и СГВС на их основе от долгосрочных усредненных метеорологических данных и температурного режима их эксплуатации. Поэтому, более рациональным считается определение теплопроизводительности ПСВК расчетным путем в зависимости от температуры, получаемой из них горячей воды на основе использования долгосрочных усредненных метеорологических данных местностей по заданным оптическим и теплотехническим характеристикам их элементов, установленных расчетным или экспериментальным способами.

В данной книге представлены результаты исследований по определению основных теплотехнических, технико-экономических и экологических показателей ПСВК в СГВС в климатических условиях Республики Узбекистан.

ЧАСТЬ 1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В данной части книги представлена методика расчета ресурсных показателей (дневной и месячный ходы и на их основе годовой теплопроизводительности) ПСВК, количества годовой экономии условного топлива за счет использования СЭ, стоимости «солнечного» топлива и тепловой энергии, генерированной с их помощью в СГВС.

В разработанной методике и выполнении на ее основе соответствующих расчетов сделаны следующие упрощающие допущения, не искажающие физическую сущность процессов восприятия, поглощения и преобразования в тепло энергии СИ в ПСВК:

1. Тепловой режим работы СК рассматриваемого типа и СГВС на их основе считается квазистационарным. Продолжительность временного шага в расчетах принимается равной 1 час. В течение указанного временного интервала значения параметров окружающей среды (приход СИ и температура наружного воздуха) считаются постоянными и равными их среднеарифметическим значениям, определенных по полусумме их значений в начале и конце рассматриваемого временного интервала.

2. Благодаря высокой теплопроводности материала изготовления теплообменной панели (ТП) СК ($\lambda = 45 \div 385 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^\circ\text{C})}$) ее среднерабочая температура считается равной среднерабочей температуре ее лучепоглощающей (ЛП) поверхности (t_p).

3. С целью установления зависимости ресурсных показателей ПСВК и СГВС на их основе от температуры воды на выходе из них ($t_{f_{\text{вых}}}$) рассматриваются режимы их работы при $t_{f_{\text{вых}}} = \text{const}$, равных 37, 45 и 55°C, на которые имеется потенциальная потребность абонентов СГВС.

4. В связи с тем, что в ПСВК, работающих в режиме $t_{f_{\text{вых}}} = \text{const}$, в стадиях ежедневных утреннего прогрева и вечернего остывания полезная тепловая энергия не производится, их тепловая эффективность (η) в этих стадиях считается равной нулю. В таких условиях (т.е. когда $\eta = 0$), как правило, разность температуры между теплоносителем и внутренней поверхностью стенок теплоотводящих каналов (ТОК) ТП данного ПСВК также равна нулю. Это в свою очередь дает основание считать, что $t_p = t_f$ в стадиях его утреннего прогрева и вечернего остывания.

5. В связи с тем, что отраженное от ЛП поверхности ТП ПСВК суммарное СИ ближе к диффузному, чем к зеркальному [3], эффективная интегральная отражательная способность ЛП поверхности ТП ($\rho_{p_{\text{эфф}}}^{\Sigma}$) считается равной ее эффективной интегральной отражательной способности при облучении ее через светопрозрачное покрытие (СП) корпуса рассматриваемого коллектора диффузным СИ ($\rho_{p_{\text{эфф}}}^{\text{диф}}$).

6. Минимальная температура окружающей среды ($t_{o_{\text{min}}}$), от которой в стадии утреннего прогрева ПСВК прогревается до среднерабочей температуры (t_p), приходится в момент времени восхода Солнца ($z_{\text{вс}}$), и в связи с этим в расчетах по определению продолжительности этой стадии считается, что $t_{o_{\text{min}}} = t_{o_{\text{вс}}}$.

7. Момент завершения стадии активной дневной работы ПСВК ($z_{\text{зав}}^{\text{ап}}$) совпадает с моментом начала стадии его вечернего остывания. В связи с тем, что за период стадии его вечернего остывания изменение значения t_o является небольшим ($\approx 0,5 \div 1,0^\circ\text{C}$), среднее значения t_o в этой стадии считается равным температуре окружающей среды в момент завершения освещения поверхности СП корпуса ПСВК прямыми солнечными лучами ($t_{o_{\text{зав}}}^{\text{осв}}$).

8. Среднемассовая температура теплоносителя (воды) в ТОК ТП коллектора (t_f) считается равной полусумме температур теплоносителя на входе ($t_{f_{\text{вх}}}$) и выходе ($t_{f_{\text{вых}}}$) из него, т.е. $\bar{t}_f = 0,5(t_{f_{\text{вх}}} + t_{f_{\text{вых}}})$.

Сущность и последовательность выполняемых расчетных процедур предлагаемой методики заключаются в следующем.

Прежде всего выбираются характерные дни месяцев года, метеорологические данные которых соответствуют или очень близки к долгосрочным среднемесячным данным и по выражению

$$\delta = 23,45 \sin[0,9863(284 + n)], \text{град} \quad (1.1)$$

устанавливаются соответствующие значения годового склонения Солнца (δ) для выбранных характерных дней (n – порядковый номер характерного дня года с 1 января). В дальнейшем все расчеты выполняются для выбранных характерных дней месяцев года. Полученные при этом результаты соответствуют среднемесячным метеорологическим данным рассматриваемых месяцев.

По значению δ на основе выражения

$$\cos i_z^{np} = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega(z_o - z) + \sin \delta \sin \varphi \quad (1.2)$$

для данной местности с географической широтой φ из условия $i_z^{np} = \pm 90^\circ$ определяются моменты восхода

$$Z_{вс} = Z_o - \frac{1}{\omega} \arccos(-tg\delta tg\varphi), \quad (1.3)$$

и захода Солнца

$$Z_{зх} = Z_o + \frac{1}{\omega} \arccos(-tg\delta tg\varphi), \quad (1.4)$$

а также продолжительность светового дня

$$\Delta Z_{дн} = Z_{зх} - Z_{вс} = \frac{2}{\omega} \arccos(-tg\delta tg\varphi) \quad (1.5)$$

для выбранных характерных дней года.

В (1.2) i_z^{np} – угол падения прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность; $\omega = 15 \frac{\text{град}}{\text{час}}$ – часовой угол вращения Земли вокруг своей оси; $Z_o = 12 \text{ час}$ – момент времени истинного полдня для данной местности по среднему солнечному времени; Z – текущий момент времени (также по среднему солнечному времени) рассматриваемого характерного дня года.

На базе ранее выполненных оптимизационных расчетов по определению среднемесячного хода прямого СИ на ориентированные на юг и наклоненные под углом α к плоскости горизонта поверхности $(Q_{над,мес}^{np})$ выбирается оптимальное значение угла наклона данного ПСВК к плоскости горизонта (α_{opt}) для данной местности, при котором обеспечивается максимальное значение годовой суммы прихода прямого СИ $(Q_{над,год}^{np})$ на данную поверхность.

Далее, для выбранных характерных дней года по выражению

$$\cos i_c^{np} = \cos \delta \cos(\varphi - \alpha) \cos \omega(Z_o - Z) + \sin \delta \sin(\varphi - \alpha) \quad (1.6)$$

в зависимости от значения выбранного угла наклона коллектора к плоскости горизонта (α) устанавливаются дневные ходы среднечасовых значений косинуса угла падения прямого СИ на плоскость поверхности СП корпуса рассматриваемого коллектора.

На основе выражения (1.6) по условию $i_c^{np} = \pm 90^\circ$ определяются моменты начала

$$Z_{нач}^{ocв} = \max \left\{ \begin{array}{l} Z_o - \frac{1}{\omega} \arccos(-tg\delta tg\varphi); \\ Z_o - \frac{1}{\omega} \arccos[-tg\delta tg(\varphi - \alpha)] \end{array} \right\}, \quad (1.7)$$

завершения

$$Z_{зав}^{ocв} = \min \left\{ \begin{array}{l} Z_o + \frac{1}{\omega} \arccos(-tg\delta tg\varphi); \\ Z_o + \frac{1}{\omega} \arccos[-tg\delta tg(\varphi - \alpha)] \end{array} \right\} \quad (1.8)$$

освещения поверхности СП корпуса ПСВК прямыми солнечными лучами и его дневная продолжительность-

$$\Delta Z_{дн}^{ocв} = Z_{зав}^{ocв} - Z_{нач}^{ocв}. \quad (1.9)$$

Из уравнения

$$i_c^{np} = \arccos[\cos \delta \cos(\varphi - \alpha) \cos \omega(z_o - z) + \sin \delta \sin(\varphi - \alpha)], \quad (1.10)$$

полученного на основе выражения (1.6), определяются дневные ходы среднечасовых значений угла падения прямого СИ на плоскость поверхности СП корпуса ориентированного на юг и наклонного под углом α к горизонту коллектора. Далее, из выражения

$$r_c^{np} = \arcsin\left(\frac{\sin i_c^{np}}{n_c}\right), \quad (1.11)$$

полученного на основе закона Снеллиуса, с соответствующим учетом значения i_c^{np} по (1.10) определяются дневные ходы среднечасовых значений угла преломления прямого СИ в толще СП корпуса коллектора в процессе прохождения СИ через данное СП, имеющее коэффициент преломления СИ n_c .

На основе (1.10) и (1.11) по формуле Френеля

$$\rho_c^{np} = 0,5 \left[\frac{\sin^2 i_c^{np} (r_c^{np} - i_c^{np})}{\sin^2 i_c^{np} (r_c^{np} + i_c^{np})} + \frac{\tan^2 (r_c^{np} - i_c^{np})}{\tan^2 (r_c^{np} + i_c^{np})} \right] \quad (1.12)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений коэффициента отражения прямого СИ материала СП корпуса коллектора.

Аналогичным образом, но с учетом эквивалентного значения угла падения $i_{c_{экс}}^{\partial u\phi} = 58,2^\circ$ [4] и угла преломления диффузного СИ по толще СП корпуса коллектора n_c

$$r_{c_{экс}}^{\partial u\phi} = \arcsin\left(\frac{\sin i_{\text{Б8,2}}}{n_c}\right) \quad (1.13)$$

по выражению

$$\rho_c^{\partial u\phi} = 0,5 \left[\frac{\sin^2 i_{c_{экс}}^{\partial u\phi} (r_{c_{экс}}^{\partial u\phi} - i_{c_{экс}}^{\partial u\phi})}{\sin^2 i_{c_{экс}}^{\partial u\phi} (r_{c_{экс}}^{\partial u\phi} + i_{c_{экс}}^{\partial u\phi})} + \frac{\tan^2 (r_{c_{экс}}^{\partial u\phi} - i_{c_{экс}}^{\partial u\phi})}{\tan^2 (r_{c_{экс}}^{\partial u\phi} + i_{c_{экс}}^{\partial u\phi})} \right] \quad (1.14)$$

определяются значения коэффициента отражения диффузного СИ материала СП корпуса данного ПСВК.

С учетом значения r_c^{np} из (1.11) по выражению

$$\alpha_c^{np} = 1 - e^{-\frac{(\beta\delta)_c}{\cos i_c^{np}}} \quad (1.15)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений коэффициента поглощения прямого СИ материала СП корпуса коллектора, имеющего толщину δ_c и коэффициент экстинкции β_c .

Далее, аналогичным образом с учетом значения эквивалентного угла преломления диффузного СИ по толще СП из (1.13) по выражению

$$\alpha_c^{\partial u\phi} = 1 - e^{-\frac{(\beta\delta)_c}{\cos i_{c_{экс}}^{\partial u\phi}}} \quad (1.16)$$

определяется значение коэффициента поглощения диффузного СИ материала СП данного коллектора.

Пользуясь выражениями (1.12) и (1.15) по формуле

$$\tau_{c_{эфф}}^{np} = \frac{(1-\rho_c^{np})^2(1-\alpha_c^{np})}{1-[\rho_c^{np}(1-\alpha_c^{np})]^2} \quad (1.17)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений эффективного коэффициента пропускания (т.е. пропускательной способности) прямого СИ СП корпуса ПСВК.

Аналогичным образом на основе выражений (1.14) и (1.16) по формуле

$$\tau_{c_{эфф}}^{\partial u\phi} = \frac{(1-\rho_c^{\partial u\phi})^2(1-\alpha_c^{\partial u\phi})}{1-[\rho_c^{\partial u\phi}(1-\alpha_c^{\partial u\phi})]^2} \quad (1.18)$$

определяется значение эффективного коэффициента пропускания диффузного СИ СП корпуса коллектора.

Пользуясь значениями $\tau_{c_{эфф}}^{np}$ по (1.17) и $\tau_{c_{эфф}}^{\partial u\phi}$ по (1.18) на основе выражения [6]

$$\tau_{ex}^{np} = \tau_{nn}^{np} + \tau_n \tau_{c_{эфф}}^{np} - 1 \quad (1.19)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений коэффициента вхождения прямого СИ через светопрозрачное ограждение (СО) (т.е. стеклянный переплет) корпуса ПСВК для характерных дней года, а по выражению

$$\tau_{ex}^{\partial u\phi} = \tau_{nn}^{\partial u\phi} + \tau_n \tau_{c_{эфф}}^{\partial u\phi} - 1 \quad (1.20)$$

- значение коэффициента вхождения диффузного СИ через СО корпуса данного коллектора.

В выражении (1.19)

$$\tau_{nn}^{np} = 1 - \frac{\sum F_{замi}}{F_{фр}} \quad (1.21)$$

- коэффициент пропускания прямого СИ переплета (рамы) СО корпуса коллектора;

$$\sum F_{замi} = F_{nn} + F_{m\sigma} + F_{m\sigma} - F_{\perp} \quad (1.22)$$

- сумма площадей затенения элементами боковых стенок корпуса коллектора ЛП поверхности его ТП, в которой

$$F_{nn} = SL_{cp} = F_{fp} - F_{mn} \quad (1.23)$$

- площадь затенения верхними поверхностями брусков рамы корпуса коллектора, имеющие ширину S и периметр (по среднему сечению) L_{cp} ;

$$F_{m\bar{e}} = (\delta_{en} + \delta_c + \delta_{\bar{e}M})l_{\bar{e}} \frac{\cos \delta \operatorname{si} \bar{n} \omega(z_0 - z)}{\cos i_c} \quad (1.24)$$

- площадь вертикального затенения ЛП поверхности ТП коллектора бруском рамы его корпуса, имеющим меридиональное расположение по сторонам света и длину $l_{\bar{e}}$;

$$F_{m\bar{z}} = (\delta_{en} + \delta_c + \delta_{\bar{z}M})l_{\bar{z}} \frac{\sqrt{\operatorname{si} \bar{n} i_c - \cos^2 \delta \operatorname{si} \bar{n} \omega(z_0 - z)}}{\cos i_c} \quad (1.25)$$

- площадь горизонтального затенения ЛП поверхности ТП коллектора бруском рамы его корпуса, имеющим экваториальное расположение по сторонам света и длину $l_{\bar{z}}$;

$$F_{\perp} = (\delta_{en} + \delta_c + \delta_{\bar{z}M})^2 \frac{[\cos \delta \operatorname{si} \bar{n} \omega(z_0 - z)] \sqrt{\operatorname{si} \bar{n} i_c - \cos^2 \delta \operatorname{si} \bar{n} \omega(z_0 - z)}}{\cos^2 i_c} \quad (1.26)$$

- площадь затенения ЛП поверхности ТП коллектора угловыми элементами взаимно перпендикулярно расположенных брусков рамы, тень одного из которых накладывается на тень другого; τ_n – коэффициент пропускания СИ (как прямого, так и диффузного) слоя пыли и грязи на наружной поверхности СП; δ_{en} – толщина замкнутой воздушной прослойки корпуса коллектора, заключенной между ЛП поверхностью ТП и внутренней поверхностью СП; δ_c – толщина СП; $\delta_{\bar{e}M}$ – высота планки и мастики, герметизирующей грань СП с рамой боковых стенок корпуса коллектора.

В связи с тем, что диффузное СИ, входящее через СО коллектора, не создает вертикального и горизонтального затенений, значение $\tau_{nn}^{\text{диф}}$ в (1.20) определяется из выражения

$$\tau_{nn}^{\text{диф}} = 1 - \frac{F_{nn}}{F_{fp}} \quad (1.27)$$

Если учесть, что отношение площади ЛП поверхности ТП (F_{mn}), к площади фронтальной поверхности ПСВК ($F_{фр}$) в (1.23) представляет собой коэффициент заполнения коллектора ($K_{зан}$), т.е.

$$K_{зан} = \frac{F_{mn}}{F_{фр}}, \quad (1.28)$$

то выражение (1.23) может быть представлено в виде

$$F_{mn} = (1 - K_{зан})F_{фр}. \quad (1.29)$$

Далее, из кривой зависимости интегрального коэффициента поглощения прямого СИ ЛП (т.е. зачерненной) поверхности ТП коллектора от угла падения прямого СИ на данную поверхность, приведенной в [3], определяются дневные ходы среднечасовых значений интегральной поглощательной способности ЛП поверхности ТП при облучении ее прямыми солнечными лучами через СП корпуса коллектора (α_p^{np}). Из этой же кривой зависимости по значению эквивалентного угла падения диффузного СИ ($i_{c_{экс}}^{\text{диф}} = 58,2^\circ$) определяется значение интегральной поглощательной способности ЛП поверхности ТП при облучении ее диффузными солнечными лучами через СП корпуса коллектора ($\alpha_p^{\text{диф}}$).

По выражениям

$$\alpha_{p_{эфф}}^{np} = \frac{\alpha_p^{np}}{1 - \rho_p^{np} \rho_{c_{эфф}}^{\text{диф}}} \quad (1.30)$$

и

$$\alpha_{p_{эфф}}^{\text{диф}} = \frac{\alpha_p^{\text{диф}}}{1 - \rho_p^{\text{диф}} \rho_{c_{эфф}}^{\text{диф}}} \quad (1.31)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений эффективных поглощательных способностей ЛП поверхности ТП коллектора при облучении ее через СП корпуса коллектора прямым ($\alpha_{p_{эфф}}^{np}$) и диффузным ($\alpha_{p_{эфф}}^{\text{диф}}$) СИ.

В выражениях (1.30) и (1.31)

$$\rho_{c_{эфф}}^{\text{диф}} = \rho_c^{\text{диф}} \left\{ 1 + \frac{(1 - \rho_c^{\text{диф}})^2 (1 - \alpha_c^{\text{диф}})^2}{1 - [\rho_c^{\text{диф}} (1 - \alpha_c^{\text{диф}})]^2} \right\} \quad (1.32)$$

- эффективный коэффициент отражения материала СП диффузного СИ, отраженного от ЛП поверхности ТП коллектора, в котором учтено влияние многократного внутреннего отражения, проходящего через него излучения между его внутренней и внешней границами раздела.

Значения коэффициентов отражения ЛП поверхности ТП коллектора прямого (ρ_p^{np}) и диффузного (ρ_p^{diff}) СИ в (1.30) и (1.31) определяются из выражения

$$\rho_p = 1 - \alpha_p, \quad (1.33)$$

написанного для них в общем виде.

Из долгосрочных среднемесячных метеорологических и актинометрических данных для рассматриваемой местности для выбранных характерных дней года определяются дневные ходы среднечасовых значений температуры наружного воздуха (t_o), поверхностных плотностей потоков прямого СИ, падающего на нормальную к прямым солнечным лучам поверхность (q_{\perp}), на горизонтальную поверхность - ($q_{nad_c}^{np}$), диффузного СИ на горизонтальную поверхность - ($q_{nad_c}^{diff}$) и, суммарного - ($q_{nad_c}^{\Sigma} = q_{nad_c}^{np} + q_{nad_c}^{diff}$) СИ на горизонтальную поверхность.

На основе значений q_{\perp} и $cos i_c^{np}$ по выражению

$$q_{nad_c}^{np} = q_{\perp} cos i_c^{np} \quad (1.34)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностной плотности потока прямого СИ, падающего на фронтальную поверхность СП корпуса ПСВК.

Далее, по выражениям

$$q_{nad_c}^{diff} = 0,5(1 + \cos \alpha) q_{nad_c}^{diff} \quad (1.35)$$

и

$$q_{nad_c}^{omp} = 0,5\rho_o(1 - \cos \alpha)(q_{nad_c}^{\Sigma}) \quad (1.36)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков диффузного и отраженного от окружающих предметов

суммарного СИ, падающего на фронтальную поверхность СП корпуса коллектора.

Суммируя значения $q_{nad_c}^{np}$ по (1.34), $q_{nad_c}^{\partial u\phi}$ по (1.35) и $q_{nad_c}^{omp}$ по (1.36) на основе выражения

$$q_{nad_c}^{\Sigma} = q_{\perp} \cos i_c^{np} + 0,5 \left[(1 + \cos \alpha) q_{nad_c}^{\partial u\phi} + 0,5 \rho_o (1 - \cos \alpha) q_{nad_c}^{\Sigma} \right] \quad (1.37)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностной плотности потока суммарного (прямого, диффузного и отраженного от окружающей предметов, имеющих коэффициент альbedo ρ_o) СИ, падающего на фронтальную поверхность СП корпуса коллектора.

По выражениям

$$q_{прои_c}^{np} = \tau_{ex}^{\partial u\phi} q_{nad_c}^{np} \quad (1.38)$$

и

$$q_{прои_c}^{\partial u\phi} = \tau_{ex}^{\partial u\phi} \left[(1 + \cos \alpha) q_{nad_c}^{\partial u\phi} + \rho_o (1 - \cos \alpha) q_{nad_c}^{\Sigma} \right], \quad (1.39)$$

с учетом значений τ_{ex}^{np} по (1.19) и $\tau_{ex}^{\partial u\phi}$ по (1.20) определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностной плотности потоков прямого ($q_{прои_c}^{np}$) и диффузного ($q_{прои_c}^{\partial u\phi}$) СИ, прошедших через СО корпуса ПСВК.

Далее, суммируя значения $q_{прои_c}^{np}$ по (1.38) и $q_{прои_c}^{\partial u\phi}$ по (1.39) на основе выражения

$$q_{прои_c}^{\Sigma} = q_{прои_c}^{np} + q_{прои_c}^{\partial u\phi} \quad (1.40)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностной плотностей потока суммарного (прямого диффузного и отраженного от окружающих предметов) СИ, прошедшего через СП корпуса коллектора.

Далее, по выражениям

$$(\alpha_p \tau_c)_{эфф}^{np} = \frac{1 - \rho_p^{np}}{1 - \rho_p^{np} \rho_{c\partial u\phi}^{\partial u\phi}} \cdot \frac{(1 - \rho_c^{np})^2 (1 - \alpha_c^{np})}{1 - [\rho_c^{np} (1 - \alpha_c^{np})]^2} \quad (1.41)$$

и

$$(\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{диф}} = \frac{1 - \rho_p^{\text{диф}}}{1 - \rho_p^{\text{диф}} \rho_c^{\text{эфф}}} \cdot \frac{(1 - \rho_c^{\text{диф}})^2 (1 - \alpha_c^{\text{диф}})}{1 - [\rho_c^{\text{диф}} (1 - \alpha_c^{\text{диф}})]^2} \quad (1.42)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений эффективной поглотительной способности ЛП ТП коллектора прямого $(\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{np}}$ и диффузного $(\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{диф}}$ СИ при облучении ее через СП корпуса коллектора прямым и диффузным СИ.

Пользуясь значениями $(\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{np}}$ по (1.35) и $(\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{диф}}$ по (1.42) на основе выражений

$$q_{\text{погл}_p}^{\text{np}} = (\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{np}} q_{\text{над}_c}^{\text{np}} \quad (1.43)$$

и

$$q_{\text{погл}_p}^{\text{диф}} = (\alpha_p \tau_c)_{\text{эфф}}^{\text{диф}} (q_{\text{над}_c}^{\text{диф}} + q_{\text{над}_c}^{\text{отр}}) \quad (1.44)$$

с соответствующим учетом значений $q_{\text{над}_c}^{\text{np}}$ по (1.34), $q_{\text{над}_c}^{\text{диф}}$ по (1.35) и $q_{\text{над}_c}^{\text{отр}}$ по (1.36) определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков поглощенных ЛП поверхностью ТП ПСВК прямого и диффузного (с учетом отраженного от окружающих предметов суммарного СИ) СИ.

Суммируя значения $q_{\text{погл}_p}^{\text{np}}$ по (1.43) и $q_{\text{погл}_p}^{\text{диф}}$ по (1.44) на основе выражения

$$q_{\text{погл}_p}^{\Sigma} = q_{\text{погл}_p}^{\text{np}} + q_{\text{погл}_p}^{\text{диф}} \quad (1.45)$$

определяются дневные ходы среднечасовых значений поверхностной плотности потока поглощенного ЛП поверхностью ТП коллектора суммарного СИ и на их основе строятся графики зависимостей $q_{\text{погл}_p}^{\Sigma} = f(z)$ для всех характерных дней года.

На основе графиков зависимостей $q_{\text{погл}_p}^{\Sigma} = f(z)$ в утренние часы и значений угловых коэффициентов касательных к ним, проведенных через точки $z_{\text{нач}}^{\text{осв}} + 1,7 \div 1,8$ ч на осях абсцисс, по формуле

$$m_{ymp} = \frac{\Delta q_{nozлp_{ymp}}^{\Sigma}}{\Delta z_{ymp}} = tg\psi_{ymp} \quad (1.46)$$

устанавливается темпы роста $q_{nozлp}^{\Sigma}$ в утренние часы для всех характерных дней года.

Аналогичным образом на основе графиков зависимостей $q_{nozлp}^{\Sigma} = f(z)$ вечерние часы и значений угловых коэффициентов касательных к ним, проведенных через точки $z_{зав}^{ocв} - 1,7 \div 1,8$ ч на осях абсцисс, по формуле

$$m_{веч} = \frac{\Delta q_{nozлp_{веч}}^{\Sigma}}{\Delta z_{веч}} = tg(180 - \psi_{веч}) = -tg\psi_{веч} \quad (1.47)$$

устанавливаются темпы роста $q_{nozлp}^{\Sigma}$ в вечерние часы.

Как видно из (1.47), темпы роста $q_{nozлp}^{\Sigma}$ в вечерние часы светового дня отрицательны.

По выражению [5]

$$K_{np_{p-o}}^{эфф} = K_{np_{p-o}} - 6,5 \cdot 10^{-5} \alpha \beta_c \left(1,107 + \rho_{p_{эфф}}^{\text{диф}} \right) \alpha_{вн_{p-c1}} \frac{q_{над_c}^{-\Sigma}}{t_p - t_o}, \quad (1.48)$$

в котором учтено влияние частичного поглощения и преобразования в тепло проходящего через СП корпуса коллектора суммарного СИ, падающего на его фронтальную поверхность, и отраженного от ЛП поверхности коллектора диффузного СИ, падающего на его тыльную поверхность, на тепловые потери ЛП поверхности ТП через рассматриваемое СП, с учетом равенства t_p и t_f (из условия $\eta = 0$) в стадиях утреннего прогрева и вечернего остывания определяется значение эффективного приведенного коэффициента тепловых потерь ПСВК в стадиях его утреннего прогрева и вечернего остывания.

В выражении (1.48) $q_{над_c}^{-\Sigma}$ - среднее значение $q_{над_c}^{\Sigma}$ за период утреннего прогрева и вечернего остывания ПСВК;

$$K_{np_{p-o}} = aK_{c_{p-o}} + bK_{\text{дн}_{p-o}} + cK_{\text{бс}_{p-o}} \quad (1.49)$$

- приведенный (к единице площади фронтальной поверхности корпуса) коэффициент суммарных тепловых потерь ТП данного коллектора, в котором

$$a = \frac{F_c}{F_{\phi p}}; b = \frac{F_{\partial n}}{F_{\phi p}}; \text{ и } c = \frac{(\delta_{\partial n} + \delta_c)L_{cp}}{F_{\phi p}}; \quad (1.50)$$

(F_c и $F_{\partial n}$ – площади поверхностей СП и дна корпуса коллектора, соответственно);

$$K_{c_{p-o}} = \left(\frac{1}{\alpha_{\partial n p-c_1}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{нар c_2-o}} \right)^{-1} \quad (1.51)$$

- коэффициент тепловых потерь ТП коллектора через СП его корпуса;

$$K_{\partial n p-o} = \left(\frac{\delta_{\partial c}}{\lambda_{\partial c}} + \frac{1}{\alpha_{нар c_2-o}} \right)^{-1} \quad (1.52)$$

- коэффициент тепловых потерь ТП коллектора через дно его корпуса;

$$K_{\partial c p-o} = \left(\frac{1}{\alpha_{\partial n p-\partial c_1}} + \frac{\delta_{\partial c}}{\lambda_{\partial c}} + \frac{1}{\alpha_{нар c_2-o}} \right)^{-1} \quad (1.53)$$

- коэффициент тепловых потерь ТП коллектора через боковые стенки его корпуса; $\alpha_{\partial n p-c_1}$ – коэффициент суммарного (конвективного и лучистого) теплообмена через замкнутую воздушную прослойку корпуса коллектора, заключенную между его ЛП поверхностью ТП (p) и внутренней поверхностью СП (c_1); λ_c – коэффициент теплопроводности материала СП; $\alpha_{нар c_2-o}$ – коэффициент суммарного (конвективного и лучистого) теплообмена между наружной поверхностью СП (c_2) и окружающей средой (o); $\delta_{\partial n}$ и $\lambda_{\partial n}$ – толщина слоя и коэффициент теплопроводности материала тепловой изоляции дна корпуса коллектора, соответственно; $\delta_{\partial c}$ и $\lambda_{\partial c}$ – толщина слоя и коэффициент теплопроводности материала тепловой изоляции боковых стенок корпуса коллектора, соответственно;

$$\rho_{p \rightarrow \phi \phi}^{\partial n \phi} = 1 - \alpha_{p \rightarrow \phi \phi}^{\partial n \phi} \quad (1.54)$$

- эффективная отражательная способность ЛП поверхности ТП при облучении ее через СП корпуса коллектора диффузным СИ.

Далее, с учетом того, что в стадии утреннего прогрева ПСВК $t_p = t_f$ и $t_p \cong t_{o_{ec}}$ по выражению [6]

$$\Delta Z_{ymp}^{npz} = \frac{K_{np-p-o}^{\partial\phi\phi} (t_f - t_{o_{ec}}) + \sqrt{\left[K_{np-p-o}^{\partial\phi\phi} (t_f - t_{o_{ec}}) \right]^2 + 18m_{ymp} C_{np}^{\partial\phi\phi} (t_f - t_{o_{ec}})}}{3m_{ymp}} \quad (1.55)$$

определяются продолжительности стадии (периода) утреннего прогрева коллектора для выбранных характерных дней.

В связи с равенством значений t_p и $t_{f_{вых}}$, а также $t_o \cong t_{o_{зав}}^{oc6}$ в стадии вечернего остывания коллектора по выражению

$$\Delta Z_{веч}^{ocm} = \frac{K_{np-p-o}^{\partial\phi\phi} (t_f - t_{o_{зав}}^{oc6})}{m_{веч}}, \quad (1.56)$$

определяются продолжительности стадии вечернего остывания рассматриваемого коллектора от t_f до $t_{o_{зав}}^{oc6}$ для выбранных характерных дней года.

В случаях, $t_p \leq t_o$ и $q_{над}^{\Sigma} = 0$, которые имеют место в часы летних месяцев года (т.е. после завершения освещения поверхности СП корпуса ПСВК прямыми солнечными лучами), значение $\Delta Z_{веч}^{ocm}$ определяется из отношения

$$\Delta Z_{веч}^{ocm} = \frac{C_{np}^{\partial\phi\phi}}{K_{np-p-o}}, \quad (1.57)$$

которое получено на основе балансового уравнения

$$C_{np}^{\partial\phi\phi} (t_p - t_o) = K_{np-p-o} (t_p - t_o) \Delta Z_{веч}^{ocm}, \quad (1.58)$$

характерного для рассматриваемых случаев.

В выражениях (1.55), (1.56) и (1.57) $C_{np}^{\partial\phi\phi}$ – приведенная (к единице площади фронтальной поверхности корпуса) эффективная теплоемкость ПСВК. При отсутствии информации значение $C_{np}^{\partial\phi\phi}$ в соответствии с [3, 6, 8] может быть определено из выражения

$$C_{np}^{\partial\phi\phi} = K_{зан} \left[(\rho V_{y\partial} C_p)_f + (M_{y\partial} C_p)_p \right] + \frac{1}{3} \left[a(\rho\delta C_p)_c + b(\rho\delta C_p)_{дн} + c(\rho\delta C_p)_{oc} \right], \quad (1.59)$$

где $V_{y\partial}_f$ – удельный (отнесенный к единице площади ЛП поверхности ТП) объем теплоносителя (воды) в ток ТП; $M_{y\partial}_p$ – удельная (отнесенная к единице

площади ЛП поверхности ТП) масса ТП; ρ_f , ρ_c , $\rho_{\text{дн}}$, и $\rho_{\text{бс}}$ – плотности теплоносителя в ТОК ТП, материалов СП, теплоизоляций дна и боковых стенок корпуса коллектора, соответственно; C_{p_f} , C_{p_p} , C_{p_c} , $C_{p_{\text{дн}}}$, и $C_{p_{\text{бс}}}$ – удельные (отнесенная к единице массы) теплоемкости теплоносителя (воды) в ТОК ТП, материала изготовления ТП, материалов СП, теплоизоляций дна и боковых стенок корпуса данного коллектора, соответственно.

Далее, на основе значений $Z_{\text{нач}}^{\text{осв}}$ по (1.7), $\Delta Z_{\text{зав}}^{\text{осв}}$ по (1.8), $Z_{\text{умр}}^{\text{нрз}}$ по (1.55), $\Delta Z_{\text{веч}}^{\text{осм}}$ по (1.56) (или (1.57)) из выражений

$$Z_{\text{нач}}^{\text{ап}} = Z_{\text{нач}}^{\text{т}^{\text{осв}}} + \Delta Z_{\text{умр}}^{\text{нрз}} \quad (1.60)$$

и

$$Z_{\text{зав}}^{\text{ап}} = Z_{\text{зав}}^{\text{осв}} + \Delta Z_{\text{веч}}^{\text{осм}} \quad (1.61)$$

определяются среднемесячные значения моментов начала ($Z_{\text{нач}}^{\text{ап}}$) и завершения ($Z_{\text{зав}}^{\text{ап}}$) активной дневной работы коллектора.

Для всех характерных дней года по выражению

$$q_{\text{пол}} = \eta_{\text{звс}} \left[q_{\text{нозл}_p}^{\Sigma} - 0,5K_{\text{нр}_p-o}^{\text{эфф}} (t_{f_{\text{вх}}} + t_{f_{\text{вых}}} + 2t_o) \right] \quad (1.62)$$

с учетом значения дневного хода $q_{\text{нозл}_p}^{\Sigma}$ по (1.45) при заданной температуре исходной (холодной) воды на входе в коллектор ($t_{f_{\text{вх}}}$) за период светового дня от $Z_{\text{нач}}^{\text{ап}}$ до $Z_{\text{зав}}^{\text{ап}}$ с временным интервалом (шагом) $\Delta Z = 1 \text{ час}$ определяются дневные ходы среднечасовых значений полезной теплопроизводительности коллектора в зависимости от температуры получаемой из него горячей воды ($t_{f_{\text{вых}}}$).

Значение $t_{f_{\text{вх}}}$ в (1.62) при отсутствии информации принимается равным $+5^{\circ}\text{C}$ в холодный (ноябрь - март месяцы), а $+15^{\circ}\text{C}$ в теплый периоды года (апрель - октябрь месяцы).

Коэффициент тепловой эффективности солнечной двухконтурной СГВС ($\eta_{\text{звс}}$) в (1.62) характеризует эффективность переноса тепла от ЛП поверхности

ТП коллектора к нагреваемой воде во втором контуре системы и его значение в соответствии с [6] определяется из

$$\eta_{\text{звс}} = \left(\frac{1}{\eta_{mn}} + \frac{K_{np-p-o}^{\text{эфф}} F_{mn}}{K_{mo} F_{mo}} \right)^{-1}, \quad (1.63)$$

где η_{mn} – коэффициент тепловой эффективности ТП ПСВК, характеризующий эффективность переноса тепла от ЛП поверхности ТП к нагреваемому в ее ТОК теплоносителю (воде); K_{mo} и F_{mo} – соответственно, площадь поверхности нагрева и коэффициент теплопередачи промежуточного теплообменника двухконтурной системы.

В одноконтурных солнечных СГСВ, как правило, $\eta_{mn} = \eta_{\text{звс}}$.

Значение $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$ в (1.55), (1.56), (1.62) и (1.63) определяется из (1.48) с учетом значения t_p , входящего в него, из выражения

$$t_p = 0,5\eta_{\text{звс}}(t_{f_{\text{вх}}} + t_{f_{\text{вых}}}) + (1 - \eta_{\text{звс}}) \left(\frac{q_{\text{носл}p}^{\Sigma}}{K_{np-p-o}^{\text{эфф}}} + t_o \right), \quad (1.64)$$

полученного из условия равенств значений $q_{\text{носл}}$, определенных по выражениям (1.62) и

$$q_{\text{носл}} = q_{\text{носл}p}^{\Sigma} - K_{np-p-o}^{\text{эфф}}(t_p - t_o). \quad (1.65)$$

В связи с тем, что значение t_p , как следует из (1.64), зависит от значения $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$, а значение $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$, как следует из (1.48), зависит от значения t_p , расчеты по определению значений $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$ и t_p при заданных значениях t_o , $q_{\text{носл}c}^{\Sigma}$, $q_{\text{носл}p}^{\Sigma}$, $t_{f_{\text{вх}}}$, $\eta_{\text{звс}}$, α , β_c и $\rho_{p\text{эфф}}^{\text{диф}}$ в зависимости от $t_{f_{\text{вых}}}$ для каждого временного интервала (шага) характерных дней года выполняются итерационным методом в следующем порядке. Произвольно (ориентировочно на $5\div 10^\circ\text{C}$ меньше, чем значение $t_{f_{\text{вых}}}$) задается значение t_p и по (1.48) определяется соответствующее значение $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$. По полученному значению $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$ по (1.64) вычисляется значение t_p . Если полученное значение t_p при этом отличается от начального

произвольно выбранного значения не более $0,1^{\circ}\text{C}$, то нет необходимости в дальнейших расчетах. В противном случае полученное значение t_p принимается за исходное и процесс вычислений повторяется.

На основе расчетов по определению дневных ходов среднечасовых значений $q_{пол}$ по (1.62) в зависимости от $t_{f_{вых}}$ с учетом значения продолжительности временного шага ($\Delta Z_i = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$) из выражения

$$Q_{пол_{дн_i}} = \sum_{i=Z_{нач}^{ap}}^{Z_{кон}^{ap}} (q_{пол} \Delta Z)_i \quad (1.66)$$

определяются дневные суммы значения среднечасовой теплопроизводительности коллектора для характерных дней года.

С учетом числа дней в рассматриваемых месяцах (N) по выражению

$$Q_{пол_{мес_i}} = N Q_{пол_{дн_i}} \quad (1.67)$$

определяется годовой ход среднемесячной среднечасовой теплопроизводительности коллектора для рассматриваемого месяца.

Далее, на основе суммирования значения $Q_{пол_{мес_i}}$ по выражению

$$Q_{пол_{год}} = \sum_{i=1}^{12} Q_{пол_{мес_i}} \quad (1.68)$$

определяется годовая теплопроизводительность коллектора, которая равна количеству сэкономленной тепловой энергии в течение года за счет использования солнечной энергии, в зависимости от $t_{f_{вых}}$.

Стоимость тепловой энергии, сэкономленной в течение года за счет использования солнечной энергии, при этом определяется из отношения

$$C_{тэ} = \frac{K_{уд}^{свч} E_n + \sum \mathcal{E}_i^{год}}{Q_{пол_{год}}} \quad (1.69)$$

где $K_{уд}^{свч}$ — установленная удельная (отнесенная к единице площади фронтальной поверхности корпуса коллектора) стоимость солнечной водонагревательной установки (СВУ) в СГВС, которая складывается из удельных стоимостей самого ПСВК, подставки, промежуточного теплообменника (в случае двухконтурной системы), бака-аккумулятора,

трубной обвязки, циркуляционных насосов, строительно – монтажных работ и т.п.; E_n - нормативный коэффициент амортизации СВУ; $\sum \mathcal{E}_i^{zod}$ - суммарные годовые эксплуатационные расходы СВУ.

Количество сэкономленного условного топлива (отнесенное к единице площади фронтальной поверхности корпуса) коллектора в течение года при этом определяется из

$$G_{y.m.}^{zod} = \frac{Q_{пол,zod}}{\eta_{mz} q_{y.m.}} \cdot \frac{кг.у.т.}{м^2 \cdot год} \quad (1.70)$$

где η_{mz} – тепловая эффективность традиционных теплогенерирующих установок СГВС, работающих на органическом топливе (при отсутствии информации принимается равной 0,8); $q_{y.m.}$ – 29307,6 кДж/кг.у.т. удельная теплотворная способность условного топлива (у.т.).

Стоимость «солнечного» топлива ($c.m.$), замещаемого данным коллектором в течение года, определяется из отношения

$$C_{c.m.} = \frac{K_{y.d}^{свy} E_u + \sum \mathcal{E}_i^{zod}}{G_{y.m.}^{zod}} \quad (1.71)$$

Значения среднемесячной (которая равна среднедневной тепловой эффективности ПСВК за характерные дни соответствующих месяцев) и среднегодовой тепловой эффективности данного солнечного коллектора в системе горячего водоснабжения определяются из отношений:

$$\bar{\eta}_{днi} = \bar{\eta}_{месi} \frac{Q_{пол,днi}}{\sum (q_{пад} \Delta Z)_{днi}} = \frac{Q_{пол,месi}}{Q_{пад,месi}^{\sum}} \quad (1.72)$$

и

$$\bar{\eta}_{zod} = \frac{Q_{пол,zod}}{\sum_{i=1}^{12} Q_{пад,месi}^{\sum}}, \quad (1.73)$$

соответственно.

В (1.72) и (1.73) $Q_{пол,месi}$ и $Q_{пад,месi}^{\sum}$ - соответственно месячные суммы полезной теплопроизводительности СВУ в СГВС и поверхностной плотности потока суммарного СИ, падающего на плоскость фронтальной поверхности

корпуса ПСВК; $\sum_{i=1}^{12} Q_{над_{мес_i}}^{\Sigma}$ - годовая сумма поверхностной плотности потока суммарного СИ, падающего на плоскость фронтальной поверхности корпуса ПСВК.

Как уже отмечено выше, все расчеты по определению $q_{пол}$ по (1.62) выполняются для значений температуры горячей воды на выходе из коллектора или из двухконтурной СГСВ ($t_{f_{вых}}$), равных 37, 45 и 55°C, которые имеют потребительскую значимость для абонентов данной системы.

В соответствии с этим все полученные результаты по определению величин $q_{пол} = f(z)$, $\eta_{дн} = f(z)$, $Q_{пол_{дн}}$, $Q_{пол}^{zod}$, $\bar{\eta}_{дн}$, $\bar{\eta}_{zod}$, $C_{тэ}$ и $G_{y.t.}^{zod}$ обрабатываются в зависимости от $t_{f_{вых}}$.

ЧАСТЬ 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

В данной части книги представлены исходные данные для определения ресурсных показателей ПСВК в СГВС, независящие от их весогабаритных и теплотехнических характеристик и оптических свойств СП корпуса коллекторов рассматриваемого типа.

Для оценки реальных среднедневной и среднегодовой тепловой эффективности ПСВК в СГВС, а также определения годовой экономии условного топлива и стоимости «солнечного топлива необходимо знать долгосрочные среднемесячные данные суммарного (прямая, диффузная и отраженная от окружающих предметов) СИ, падающего на лучевоспринимающую поверхность (ЛВП) коллектора в реальных погодных условиях и температуры наружного воздуха с учетом влияния переходных процессов (утреннего прогрева и вечернего остывания) и зависимости поглощения СИ в СП их корпусов.

Многопараметричность задачи требует проведения предварительного анализа исходных данных и определения формы их рационального представления.

Как показывает опыт практической реализации, предложенной в [9] методики расчета ресурсных показателей, представление исходных данных в виде таблиц для некоторых характерных дней года удобно для разработки соответствующих подпрограмм для расчетов с помощью ПВЭМ.

В табл. 2.1 приведены даты характерных дней месяцев их порядковые номера в течение года (n), годовой ход склонения Солнца (δ) и Представлены результаты расчетов по определению моментов времени восхода ($z_{вс}$), захода ($z_{зх}$) Солнца, а также возможного начала ($z_{нач}^{ap}$) и завершения ($z_{зав}^{ap}$) освещения ЛВП ПСВК прямым СИ и определенные на их основе продолжительности

светового дня ($\Delta z_{\text{дн}} = z_{\text{zx}} - z_{\text{вс}}$) и освещения ЛВП коллектора прямым СИ ($\Delta z_{\text{дн}}^{\text{осв}} = z_{\text{зав}}^{\text{осв}} - z_{\text{нач}}^{\text{осв}}$) для коллектора, ориентированного на юг и установленного под углом $\alpha = 30^\circ$ на широте г. Ташкента ($\varphi=41,33^\circ\text{C}$) по выражениям (1.1), (1.3)-(1.5), (1.7)-(1.9) работы [9].

Даты характерных дней месяцев года на основе результатов статистической обработки дневных ходов среднечасовых значений долгосрочных среднемесячных актинометрических и метеорологических данных, приведенных в [10-12], выбраны 15 –е число января, марта-декабря месяцев и 14-е число февраля месяца. Согласно [10], умножив дневную сумму среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков прямого, диффузного и отраженного (от окружающих предметов) СИ, на число календарных дней в текущем месяце, можно получить их месячную сумму за рассматриваемый месяц.

Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 2.1, при $\delta < 0$ $z_{\text{вс}} = z_{\text{нач}}^{\text{осв}}$, $z_{\text{zx}} = z_{\text{зав}}^{\text{осв}}$, и $\Delta z_{\text{дн}} = z_{\text{дн}}^{\text{осв}}$, а при $\delta > 0$ $z_{\text{вс}} < z_{\text{нач}}^{\text{осв}}$, $z_{\text{zx}} > z_{\text{зав}}^{\text{осв}}$ и $\Delta z_{\text{дн}} > z_{\text{дн}}^{\text{осв}}$. Из данных табл. 2.1 также следует, что в условиях г. Ташкента максимально возможные значения продолжительности солнечного сияния в течение года составляют 4367,99 ч., а продолжительности освещения ЛВП поверхности ПСВК прямым СИ - 4113,83 ч.

В табл. 2.2 приведены дневные ходы среднечасовых значений косинуса угла падения прямого солнечного излучения на плоскость поверхности СП корпуса, ориентированного на юг и установленного под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту ПСВК ($\cos i_c^{\text{np}}$), для характерных дней года, определенных по выражению (1.6) работы [9].

Таблица 2.1

Даты характерных дней года, их порядковые номера (n), годовой ход склонения Солнца (δ), моменты времени восхода ($z_{вс}$) и захода ($z_{зх}$) Солнца, возможного начала ($z_{нач}^{осв}$) и завершения ($z_{зав}^{осв}$) освещения ЛВП коллектора прямым СИ по характерным дням года

Месяцы	Даты характерных дней	n	δ , град	$z_{вс}$, час	$z_{зх}$, час	$\Delta z_{дн}$, час	$z_{нач}^{осв}$, час	$z_{зав}^{осв}$, час	$\Delta z_{дн}^{осв}$, час
I	15	15	-21,27	7,33	16,67	9,34	7,33	16,67	9,34
II	14	45	-13,62	6,82	17,18	10,36	6,82	17,18	10,36
III	15	74	-2,82	6,17	17,84	11,67	6,17	17,84	11,67
IV	15	105	9,41	5,44	18,56	13,12	5,87	18,13	12,26
V	15	135	18,79	4,84	19,16	14,32	5,74	18,26	12,52
VI	15	166	23,31	4,52	19,49	14,97	5,67	18,33	12,66
VII	15	196	21,52	4,64	19,35	14,70	5,70	18,30	12,60
VIII	15	227	13,58	5,17	18,83	13,66	5,81	18,19	12,38
IX	15	258	2,22	5,87	18,13	12,26	5,97	18,03	12,06
X	15	288	-9,60	6,57	17,43	10,86	6,57	17,43	10,86
XI	15	319	-19,15	7,19	16,81	9,635038	7,19	16,81	9,62
XII	15	349	-23,34	7,49	16,51	9,02	7,49	16,51	9,02

Таблица 2.2

Дневной ход $\cos i_c^{np}$ по характерным дням года

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы					
	6-7; 17-18	7-8; 16-17	8-9; 15-16	9-10; 14-15	10-11; 13-14	11-12; 12-13
I	0,0480	0,2784	0,4849	0,6536	0,7729	0,8346
II	0,0781	0,3184	0,5338	0,7079	0,8341	0,8985
III	0,1182	0,3651	0,5865	0,7673	0,8951	0,9613
IV	0,1584	0,4148	0,6210	0,7995	0,9255	0,9912
V	0,1845	0,4185	0,6284	0,7997	0,9209	0,9836
VI	0,1593	0,4224	0,6269	0,7921	0,9097	0,9705
VII	0,1912	0,4212	0,6273	0,7957	0,9148	0,9764
VIII	0,1712	0,4115	0,6269	0,8028	0,9272	0,9915
IX	0,1355	0,3825	0,6040	0,7849	0,9128	0,9790
X	0,0934	0,3372	0,5558	0,7342	0,8604	0,9257
XI	0,0564	0,2900	0,4994	0,6704	0,7193	0,9538
XII	0,0401	0,2672	0,4709	0,6439	0,7548	0,9157

Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 2.2, в летние месяцы года с 10 ч до 14 ч дня наблюдается небольшое снижение значения ($\cos i_c^{np}$), что является следствием влияния выбранного угла наклона ПСВК к горизонту (30°). Отметим, что для указанных периодов года значения оптимального угла наклона коллектора к горизонту (α_{opt}) для условия г. Ташкента составляет $20 \div 25^\circ$, и соответственно, ниже на $5 \div 10^\circ$ по сравнению с выбранным значением (т.е. 30°).

В табл. 2.3-2.5 приведены результаты расчетов по определению дневных ходов среднечасовых значений отношений $\frac{\cos \delta \sin \omega(z_o - z)}{\cos i_c^{np}}$,

$$\frac{\sqrt{\sin^2 i_c^{np} - \cos^2 \delta \sin^2 \omega(z_o - z)}}{\cos i_c^{np}} \text{ и } \frac{\cos \delta \sin \omega(z_o - z) \sqrt{\sin^2 i_c^{np} - \cos^2 \delta \sin^2 \omega(z_o - z)}}{\cos i_c^{np}} \text{ в выражениях}$$

(1.24) – (1.25) работы [9], соответственно, необходимых для определения значений площадей вертикального (F_{mv}) и горизонтального (F_{mz}) затенений лучепоглощающей поверхности (ЛПП) теплообменной панели (ТП) коллектора брусками рамы его корпуса, имеющим меридиональное и экваториальное расположения по сторонам света, а также площади затенения ЛПП ТП коллектора угловыми элементами взаимно перпендикулярно расположенных брусков рамы корпуса, тень одного из которых накладывается на тень другого (F_1), по методике [13].

Таблица 2.3

Дневной ход среднечасовых значений отношения $\frac{\cos \delta \sin \omega(Z_o - Z)}{\cos i_c^{np}}$ для расчета

F_{TB} по характерным дням года

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы					
	6-7; 17-18	7-8; 16-17	8-9; 15-16	9-10; 14-15	10-11; 13-14	11-12; 12-13
I	19,2574	3,0935	1,5247	0,8680	0,4615	0,1457
II	12,3369	2,8197	1,4381	0,8338	0,4460	0,1412
III	8,3876	2,5280	1,3511	0,7925	0,4262	0,1356
IV	6,1770	2,2659	1,2602	0,7512	0,4078	0,1299
V	5,0882	2,0901	1,1953	0,7208	0,3933	0,1256
VI	4,6387	2,0082	1,1640	0,7058	0,3863	0,1235
VII	4,8248	2,0405	1,1763	0,7117	0,3892	0,1243
VIII	5,6327	2,1840	1,2311	0,7375	0,4014	0,1280
IX	7,3746	2,4135	1,3124	0,7751	0,4140	0,1332
X	10,4654	2,7012	1,4076	0,7884	0,4386	0,1389
XI	16,3418	2,9940	1,4980	0,8568	0,4564	0,1442
XII	22,9820	3,1825	1,5493	0,8784	0,4661	0,1470

Таблица 2.4

Дневной ход среднечасовых значений отношения $\frac{\sqrt{\sin^2 i_c^{np} - \cos^2 \delta \sin^2 \omega(Z_o - Z)}}{\cos i_c^{np}}$
 для расчета $F_{T\Gamma}$ по характерным дням года

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы					
	6-7; 17-18	7-8; 16-17	8-9; 15-16	9-10; 14-15	10-11; 13-14	11-12; 12-13
I	7,9111	1,5295	0,9630	0,7667	0,6791	0,6443
II	3,2712	0,9534	0,6648	0,5387	0,4884	0,4680
III	0,6292	0,3377	0,2854	0,2655	0,2577	0,2528
IV	0,8575	0,2133	0,0692	0,0150	0,0245	0,0333
V	1,5803	0,5843	0,3224	0,2102	0,1556	0,1338
VI	1,8538	0,7546	0,4442	0,3089	0,2430	0,2151
VII	1,7577	0,6880	0,3954	0,2635	0,2080	0,1825
VIII	1,2014	0,3740	0,1808	0,0137	0,0600	0,0442
IX	0,1807	0,0966	0,1356	0,1499	0,1577	0,1607
X	2,0187	0,7037	0,5067	0,4832	0,3980	0,3820
XI	5,9633	1,3324	0,8598	0,6916	0,6171	0,5865
XII	10,4037	1,7160	1,0593	0,8354	0,7362	0,6963

Таблица 2.5

Дневной ход среднечасовых значений отношения $\frac{\cos \delta \sin \omega(Z_o - Z) \sqrt{\sin^2 i_c^{np} - \cos^2 \delta \sin^2 \omega(Z_o - Z)}}{\cos i_c^{np}}$ для расчета F_{\perp}
 по характерным дням года

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы					
	6-7; 17-18	7-8; 16-17	8-9; 15-16	9-10; 14-15	10-11; 13-14	11-12; 12-13
I	152,3472	4,3315	1,4683	0,6655	0,3134	0,0939
II	40,3565	2,6883	0,9560	0,4492	0,2178	0,0661
III	5,2775	0,8537	0,3856	0,2104	0,1098	0,0343
IV	5,2968	0,4833	0,0759	0,0113	0,0100	0,0043
V	8,0408	1,2212	0,3854	0,1515	0,0612	0,0168
VI	8,5992	1,5154	0,5170	0,1193	0,0934	0,0266
VII	8,4806	1,4039	0,4641	0,1875	0,0810	0,0227
VIII	6,7671	0,8168	0,2226	0,0101	0,0241	0,0057
IX	1,3326	0,2331	0,1780	0,1162	0,0661	0,0214
X	21,1265	1,9008	0,7132	0,3810	0,1746	0,0531
XI	9,74511	3,9892	1,2880	0,5928	0,2816	0,0846
XII	239,0978	5,4612	1,6412	0,7338	0,3431	0,1024

Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 2.3-2.5, влияние вертикального затенения ЛПП ТП коллектора существенно лишь в утренние и вечерние часы, а горизонтального затенения – в холодные месяцы года. Как и ожидалось, влияние затенения ЛПП ТП от взаимно перпендикулярных брусьев рамы существенно меньше, по сравнению с вертикальным и горизонтальным затенениями.

В табл. 2.6 приведены результаты расчетов по определению дневных ходов среднечасовых значений угла падения прямого СИ на ЛВП (i_c^{np}) и соответствующей к нему направленной поглощательной способности ЛПП ТП ($\alpha_{p_i}^{np}$) для ориентированного на юг и наклоненного к плоскости горизонта под углом $\alpha = 30^\circ$ ПСВК при $\alpha_{p_{i=0}}^{np} = 0,97$ для характерных дней года.

Таблица 2.6

Дневные ходы среднечасовых значений угла падения прямого СИ на ЛВП (i_c^{np} , град) и направленной поглощательной способности ЛПП ТП ($\alpha_{p_i}^{np}$ при $\alpha_{p_{i=0}}^{np} = 0,97$) по характерным дням года для ориентированного на юг и наклоненного к плоскости горизонта под углом $\alpha = 30^\circ$ в условиях г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7; 17-18		7-8; 16-17		8-9; 15-16		9-10; 14-15		10-11; 13-14		11-12; 12-13	
	i_c^{np}	α_p^{np}	i_c^{np}	α_p^{np}	i_c^{np}	α_p^{np}	i_c^{np}	α_p^{np}	i_c^{np}	α_p^{np}	i_c^{np}	α_p^{np}
I	87,25	0,0122	73,84	0,6616	60,99	0,8129	49,19	0,9088	39,39	0,9503	33,42	0,9533
II	85,52	0,0199	71,43	0,6661	57,44	0,9019	44,79	0,9127	33,48	0,9533	26,05	0,9570
III	83,22	0,4052	68,59	0,8020	54,09	0,9049	39,89	0,9501	26,48	0,9568	16,01	0,9620
IV	80,89	0,4121	66,28	0,8053	51,61	0,9070	36,92	0,9515	22,22	0,9589	7,64	0,9662
V	79,37	0,6512	65,26	0,8079	51,07	0,9074	36,90	0,9516	22,93	0,9585	10,40	0,9648
VI	78,68	0,6525	65,01	0,8071	51,25	0,9073	37,61	0,9512	24,53	0,9577	13,93	0,9630
VII	78,98	0,6519	65,09	0,8070	51,14	0,9074	37,27	0,9514	23,81	0,9581	12,45	0,9638
VIII	80,15	0,4114	65,72	0,8061	52,21	0,9073	36,65	0,9517	22,09	0,9590	7,71	0,9661
IX	82,28	0,4080	67,51	0,8036	52,84	0,9060	38,29	0,9509	24,12	0,9579	11,79	0,9641
X	84,64	0,4011	70,29	0,6682	56,24	0,9031	42,76	0,9144	30,64	0,9547	22,12	0,9589
XI	86,71	0,0146	73,07	0,6630	59,93	0,9001	47,76	0,9102	37,51	0,9512	31,13	0,9544
XII	87,73	0,0101	74,54	0,6603	61,95	0,8115	50,48	0,9079	41,07	0,9158	35,44	0,9523

Таблица 2.7

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока прямого солнечного излучения на нормальную к прямым солнечным лучам поверхность (q_{\perp} , Вт/м²) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Гашкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-5	15-16	16-17	17-18		
I	50,00	202,78	283,33	330,56	355,56	355,56	377,78	330,56	283,33	188,89	41,67	8,72	270,00	
II	30,56	250,00	330,56	356,57	391,67	413,89	402,78	377,78	330,56	283,33	236,11	130,56	10,40	291,00
III	72,22	245,00	319,44	366,67	402,78	413,89	402,78	377,78	330,56	283,33	201,78	72,22	12,49	387,00
IV	213,89	344,44	427,78	475,00	497,22	457,22	486,11	461,11	427,78	377,78	319,44	202,78	17,03	510,90
V	366,67	497,22	555,56	605,56	627,78	638,89	627,78	605,56	569,44	522,22	438,89	390,56	22,99	712,69
VI	497,22	616,67	675,00	711,11	733,33	747,22	747,22	733,33	700,00	638,89	569,44	461,11	28,19	845,70
VII	508,33	627,78	700,00	747,22	783,33	754,44	805,56	794,44	758,33	722,22	638,89	508,33	30,20	936,20
VIII	438,39	616,67	700,00	758,33	783,33	865,56	816,67	805,56	769,44	722,22	616,67	438,89	29,78	923,18
IX	261,11	508,33	627,78	700,00	733,33	747,22	758,33	747,22	711,11	638,89	508,33	250,00	25,89	776,70
X	39,33	283,33	438,89	522,22	569,44	580,56	580,56	555,56	508,33	427,78	272,22	41,67	17,33	537,00
XI	105,56	279,22	391,67	438,89	461,11	450,00	413,89	366,67	272,22	86,11	272,22	86,11	11,82	355,00
XII	25,00	166,67	261,11	308,33	319,44	319,44	308,33	250,00	166,67	22,22	22,22	7,73	240,00	

За год 6785,37

Таблица 2.8

Дневной ход средних значений поверхностной плотности потока прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность ($Q_{\text{ппр}}, \text{Вт}/\text{м}^2$) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
	I		2,78	38,89	94,44	124,44	169,44	177,78	180,00	91,67	36,11	2,78		
II		16,67	75,00	141,67	144,44	222,22	216,67	183,33	130,56	72,22	9,44		4,58	128,00
III	8,33	52,48	133,33	205,56	263,89	286,11	280,56	241,67	180,56	116,67	47,22	2,78	6,55	203,00
IV	41,67	125,00	216,67	302,78	363,11	383,33	383,33	347,22	277,78	197,27	108,33	36,11	10,01	300,30
V	102,78	227,78	352,78	452,78	523,00	563,89	563,89	522,22	436,11	325,00	194,44	94,44	15,70	471,00
VI	161,11	305,56	442,44	561,11	650,00	700,00	705,56	663,89	558,33	436,11	297,22	155,56	20,30	609,00
VII	147,22	252,78	436,11	575,00	672,22	727,78	736,11	711,11	597,22	472,22	313,89	155,56	21,02	651,62
VIII	97,22	224,44	397,22	502,78	623,00	680,56	700,00	647,22	552,78	416,67	255,56	100,00	18,82	583,42
IX	27,78	144,44	280,56	402,78	500,00	552,78	563,89	516,67	416,67	291,67	147,22	25,00	13,93	418,00
X		47,22	142,44	238,89	313,11	350,00	352,78	305,55	230,56	133,33	44,44		7,77	241,00
XI		22,22	58,33	125,00	183,33	219,44	211,11	177,78	119,44	55,56	5,56		4,19	126,00
XII			22,22	66,67	108,33	133,33	130,56	108,33	66,67	19,44			2,36	73,00

За год 3905,34

Таблица 2.9

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока диффузного солнечного излучения на горизонтальную поверхность ($Q_{\text{поф}}, \text{Вт./м}^2$) по характерным дням года при средних условиях облачности

для г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
I	13,89	61,11	108,33	141,67	163,89	161,11	141,67	111,11	66,67	19,44			3,56	110,00
II	5,56	44,44	97,22	147,22	183,33	200,00	202,78	186,11	150,00	102,78	47,22	5,56	4,94	138,00
III	25,00	80,56	136,11	183,33	216,67	236,11	219,44	188,89	144,44	88,89	14,44	88,89	30,56	199,00
IV	66,67	116,67	175,00	216,67	244,44	266,67	272,22	258,33	230,56	188,89	138,89	72,22	8,09	242,70
V	94,44	136,11	172,22	208,33	283,33	241,67	247,22	238,89	222,22	191,66	150,00	102,78	8,06	249,86
VI	100,00	136,11	163,89	188,56	194,44	202,78	205,56	202,78	188,89	166,67	141,67	108,33	7,17	215,10
VII	91,67	152,78	162,78	169,44	186,11	191,67	188,81	183,33	163,89	150,00	130,56	100,00	6,47	200,57
VIII	77,78	125,00	141,67	166,67	177,78	186,11	183,33	175,00	163,89	136,11	116,67	80,56	6,00	186,00
IX	52,78	113,89	138,89	161,11	175,00	183,33	180,56	175,00	152,78	133,33	100,00	50,00	5,99	179,70
X	16,67	66,67	111,11	150,00	175,00	172,22	166,67	150,00	113,89	63,89	16,67		5,07	157,00
XI		25,00	75,00	113,89	136,11	152,78	136,11	168,33	66,67	25,00			3,57	107,00
XII		11,11	47,22	91,67	125,00	138,89	136,11	122,23	94,44	52,78	13,89		3,00	93,00

За год 2077,93

Таблица 2.10

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока суммарного (прямого, диффузного) солнечного излучения на горизонтальную поверхность ($Q_{\text{гид}, \Sigma}$, Вт/м²) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
	I	16,57	100,00	202,78	286,11	333,33	338,89	291,67	202,78	102,79	22,22	6,83		
II	5,56	61,11	172,22	288,89	377,78	422,22	419,44	369,44	280,56	175,00	66,67	5,56	267,00	
III	33,33	133,33	269,44	388,89	480,56	522,22	516,67	461,11	369,44	261,11	136,11	33,33	402,00	
IV	108,33	241,67	391,67	519,44	605,56	650,00	655,56	605,56	508,33	386,11	247,22	108,33	543,00	
V	197,22	363,89	525,00	661,11	758,33	805,56	811,11	761,11	658,33	516,67	344,44	197,22	23,76	736,56
VI	261,11	441,67	608,33	741,67	844,44	902,78	911,11	866,67	747,22	602,78	438,89	263,89	27,47	824,10
VII	238,89	419,44	588,89	741,67	850,00	911,11	916,67	886,11	761,11	622,22	444,44	255,56	27,49	852,19
VIII	175,00	366,67	536,11	663,84	800,00	855,56	872,22	813,89	705,56	552,78	372,22	180,56	24,82	769,42
IX	80,56	247,22	422,22	572,22	686,11	744,44	752,78	700,00	580,56	425,00	247,22	75,00	19,52	597,60
X	16,67	113,89	255,56	388,89	486,11	536,11	536,11	480,56	380,56	247,22	108,33	16,67	12,84	398,00
XI	33,33	133,33	288,89	319,44	372,22	363,89	313,89	227,78	122,22	30,56	7,76	233,00	5,36	166,00
XII	11,11	69,44	158,33	233,33	272,22	266,67	230,56	161,11	72,22	13,89				600,87

Таблица 2.11

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока прямого СД, падающего на ЛВП ориентированного на юг и наклоненного под углом $\alpha = 30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК ($q_{\text{пад}}^{\text{пр}}$, Вт/м²) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
I	-	13,92	98,33	185,18	255,49	296,75	296,75	255,49	185,18	91,59	11,6	-	6,0850	188,6352
II	0,23	41,57	133,45	234,60	305,84	351,92	339,44	296,57	218,82	126,04	41,57	0,65	7,5264	210,7416
III	8,54	89,45	187,35	281,35	360,53	397,87	387,19	338,15	253,64	166,17	74,03	8,54	9,1901	284,8926
IV	33,88	142,87	265,65	379,76	460,33	492,84	481,83	436,90	342,01	234,60	132,50	32,12	12,3310	369,9313
V	67,65	208,09	349,11	484,27	577,61	628,41	617,48	557,66	455,38	328,16	183,65	72,06	16,3063	505,4955
VI	97,11	260,48	422,48	563,27	667,11	725,18	725,18	667,11	554,47	399,88	240,53	91,03	19,4898	584,6936
VII	97,19	264,42	439,11	594,56	716,59	775,69	786,55	736,75	603,40	453,05	269,08	97,19	20,9663	649,9562
VIII	75,05	253,76	438,83	608,79	726,30	798,71	810,03	716,92	617,71	452,47	253,76	75,14	21,0879	653,7260
IX	35,38	194,41	379,18	519,43	669,38	731,53	741,65	682,06	558,15	385,89	191,44	33,88	18,5595	556,7843
X	3,67	95,54	243,94	383,41	489,95	537,42	537,42	478,00	373,22	237,76	91,79	3,89	12,5136	387,9227
XI	-	30,61	139,44	262,58	347,29	393,70	384,21	327,51	245,82	135,95	24,97	-	8,2515	247,5446
XII	-	6,68	78,48	168,13	232,73	260,57	232,73	160,98	78,48	5,94	-	-	5,3470	165,7583

$Q_{\text{пад, год}}^{\text{пр}} = 4806,0829$

Таблица 2.12

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока диффузного СИ, падающего на ЛВП ориентированного на юг и наклоненного под углом $\alpha=30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК ($Q_{\text{эф}}^{\text{эф}}$, Вт·м²) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы														Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18				
	I	-	42,96	57,02	101,07	132,18	152,91	150,32	132,18	103,67	62,20	18,14	-	3,3215		
II	3,19	41,46	90,71	137,36	171,05	186,60	189,20	173,64	139,95	93,90	44,06	5,19	4,6091	129,0352		
III	23,33	75,16	126,99	171,05	202,16	210,29	220,29	204,74	176,24	134,76	82,49	28,51	5,9993	185,9769		
IV	62,20	108,85	153,28	202,16	211,70	248,81	253,93	241,03	215,12	176,24	129,59	67,38	7,5482	226,4466		
V	88,11	126,99	160,68	194,37	228,07	225,48	230,66	222,84	207,33	178,82	139,95	95,90	7,5198	233,1134		
VI	93,30	126,99	152,91	168,46	181,41	189,20	191,79	189,20	176,24	155,51	132,18	101,07	6,6897	200,6921		
VII	85,53	116,63	142,55	158,09	173,64	183,83	176,24	171,05	152,91	139,95	121,81	93,30	6,0367	187,1376		
VIII	72,57	106,26	132,18	155,51	163,87	173,64	171,21	163,28	152,91	126,99	108,85	75,16	5,5981	173,5125		
IX	49,24	95,50	129,59	151,32	163,28	171,05	168,47	163,28	142,55	124,40	93,30	46,65	5,3887	167,6624		
X	15,55	62,20	103,67	139,95	163,28	163,28	160,68	155,51	139,95	106,26	59,61	15,35	4,7304	146,6413		
XI	-	23,33	69,98	106,26	139,95	142,55	142,55	126,99	101,07	62,20	23,33	-	3,3499	99,9770		
XII	-	10,37	44,06	85,53	116,63	119,39	116,63	114,03	88,11	49,24	12,96	-	2,7990	86,7701		

$Q_{\text{эф}}^{\text{эф}}$ — 1939,9322

Таблица 2.13

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока отраженного от окружающих предметов СИ, падающего на ДВП ориентированного на юг и наклоненного под углом $\alpha=30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК ($Q_{\text{пад},\alpha}^{\text{отр}}, \text{Вт/м}^2$) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Ташкента при коэффициенте альбедо окружающих предметов $\rho_0=0,3$

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м^2	Сумма за месяц, МДж/м^2
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
I	-	0,34	2,01	4,08	5,75	6,70	6,81	5,86	4,08	2,07	0,45	-	0,1362	4,2218
II	0,11	1,23	3,46	5,81	7,59	8,49	8,43	7,42	5,64	3,52	1,34	0,11	0,1913	5,3577
III	0,67	2,68	5,41	7,82	9,66	10,49	10,38	9,27	7,42	5,25	2,74	0,67	0,2608	8,0865
IV	2,18	4,83	7,87	10,44	12,17	13,06	13,17	12,17	10,22	7,76	4,97	2,18	0,3638	10,9140
V	3,96	7,31	10,55	13,29	15,24	16,19	16,30	15,30	13,23	10,38	6,92	3,96	0,4775	14,8015
VI	5,25	8,88	12,23	14,90	17,45	18,14	18,31	17,42	13,02	12,1	8,82	5,30	0,5521	16,5618
VII	4,80	8,43	11,83	14,90	17,08	18,31	18,42	17,81	13,50	12,50	8,95	5,14	0,5524	17,1250
VIII	3,52	7,37	10,77	13,34	16,97	17,19	17,53	16,36	14,18	11,11	7,48	3,63	0,4987	15,4611
IX	1,62	4,97	8,49	11,50	16,06	14,96	15,13	14,07	11,67	8,54	4,97	1,51	0,4136	12,4070
X	0,34	2,25	5,14	7,82	9,77	10,77	10,77	9,66	7,65	4,47	2,18	0,34	0,2581	8,0017
XI	-	0,67	2,68	5,81	6,42	7,48	7,31	6,31	4,58	2,46	0,61	-	0,1596	4,7867
XII	-	0,22	1,40	3,18	4,69	5,47	5,36	4,63	3,24	1,45	0,28	-	0,1077	3,3387
												$Q_{\text{пад},\alpha}^{\text{отр}} = 121,0635$		

Таблица 2.14

Дневной ход среднечасовых значений поверхностной плотности потока суммарного (прямого, диффузного и отраженного от окружающих предметов) СИ, падающего на ЛПП ориентированного на юг и выклоненного под углом 30° к плоскости горизонта ПСК ($q_{\text{пад}, \Sigma}^{\Sigma}, \text{Вт/м}^2$) по характерным дням года при средних условиях облачности для г. Гашкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
I	-	27,22	157,56	290,33	393,42	456,36	453,88	393,53	292,93	153,86	30,14	-	9,5437	293,8347
II	5,52	84,26	227,62	377,77	484,48	547,01	531,07	477,63	364,41	225,46	86,97	5,95	12,3769	343,1532
III	32,54	167,29	319,75	460,22	572,35	628,65	617,86	532,16	437,30	306,18	159,71	37,72	13,4881	478,8911
IV	98,26	256,58	436,80	592,36	700,57	754,71	744,98	680,10	567,35	418,60	267,06	101,68	20,2430	607,2900
V	159,72	342,39	520,34	691,93	810,55	870,08	864,44	795,80	675,94	516,76	330,52	171,92	24,3014	753,3434
VI	195,66	396,35	587,62	746,63	865,49	932,52	935,27	873,73	745,73	567,50	381,53	197,40	26,7152	803,9360
VII	187,52	389,48	593,49	764,97	899,54	957,20	975,44	907,84	771,61	605,50	399,82	195,63	26,5557	853,2967
VIII	154,24	367,39	579,19	772,45	905,64	979,18	984,24	918,79	774,44	590,86	370,09	133,93	27,1960	843,0760
IX	86,24	295,31	519,85	719,02	860,47	925,52	933,02	867,18	722,73	518,83	292,71	82,04	24,5638	736,8540
X	19,56	160,03	352,75	532,18	663,00	721,83	719,24	650,94	420,82	348,99	153,58	19,78	17,5160	542,6860
XI	-	54,61	212,10	376,65	480,70	543,73	534,07	460,81	351,47	200,61	48,91	-	11,7420	352,2600
XII	-	17,27	123,94	256,84	354,05	395,63	392,92	351,59	252,37	129,47	19,18	-	8,2550	253,9030

$$Q_{\text{пад}, \Sigma}^{\Sigma} = 6866,5461$$

Вывод:

1. На теплый период года (с 15 апреля по 15 октября) на фронтальную поверхность ориентированного на юг установленного под углом 30° к горизонту ПСК значение $q_{\text{пад}, \Sigma}^{\Sigma}$ составляет 45638 МДж/(м²·сезон), что составляет от 66,5% $q_{\text{пад}, \Sigma}^{\Sigma} = 6866,5 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$.

Таблица 2.15

Дневной ход среднечасовых значений температуры окружающей среды ($t_{\text{ср}}$, °С) по характерным дням
года для г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы																
	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19		
I				-2,80	-2,15	-0,85	0,50	1,50	2,15	2,45	2,45	2,10	1,2				
II			-0,65	-0,35	0,75	2,25	3,60	4,65	5,40	5,75	5,80	5,55	5,35	3,75			
III			4,40	5,30	6,75	8,20	9,40	10,30	11,05	1,50	11,65	11,55	10,65	10,30			
IV		10,10	11,00	12,80	14,55	15,90	17,00	17,85	18,50	18,45	19,15	19,10	18,70	17,80	16,35		
V	14,35	14,90	16,80	19,15	20,95	22,35	23,50	24,35	24,95	25,35	25,60	25,55	25,15	24,35	22,00		
VI	18,15	19,00	21,40	24,00	25,95	27,40	28,50	29,40	30,40	30,75	31,00	31,00	30,65	29,85	28,10		
VII	20,00	21,00	22,65	25,45	27,65	29,35	30,70	31,80	32,75	33,45	33,90	34,05	33,70	32,70	30,55		
VIII		18,10	19,80	22,85	25,50	27,45	28,95	30,10	31,05	31,80	32,35	32,60	32,30	30,90	28,05		
IX		12,80	13,75	16,70	20,05	22,45	24,05	25,20	26,35	26,80	27,10	27,25	26,85	24,65	21,50		
X			7,80	7,95	9,55	12,40	14,90	16,65	17,85	18,65	19,10	19,25	19,05	17,85			
XI				3,60	5,30	7,40	9,00	10,15	11,00	11,45	11,40	10,85	9,55				
XII				-0,35	0,50	1,95	3,30	3,80	4,90	5,15	5,05	4,50	3,50				

Как следует из анализа и сопоставления данных, приведенных в табл. 2.6, при $\alpha_{p_{i=0}}^{np} = 0,97$ [3] значение α_p^{np} , как и ожидалось, растет со снижением величины i_c^{np} . Так, при $i_c^{np} = 65,28^\circ$ (15 апреля от 7 до 8 час. утра и от 16 до 17 час. вечера) значение α_p^{np} составляет 0,8053. При $i_c^{np} = 7,64^\circ$ (15 апреля от 11 до 12 час. 12 до 13 час. дня) составляет 0,9662, что на 20% больше, чем α_p^{np} при $i_c^{np} = 65,28^\circ$. Из анализа данных табл. 2.6 также следует, что в течение светового дня, (от 9 час. утра до 16 час. вечера за исключением декабря и января месяцев) изменение значения α_p^{np} составляет от 0,9019 до 0,9662, т.е. 7,1%.

В табл. 2.7-2.10 приведены дневные ходы среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков прямого СИ, падающего на нормальную к прямым солнечным лучам поверхность (q_{\perp}), на горизонтальную поверхность ($q_{nad_c}^{np}$), а также диффузного СИ на горизонтальную поверхность ($q_{nad_c}^{diff}$) и суммарного СИ на горизонтальную поверхность ($q_{nad_c}^{\Sigma}$), подготовленных на основе соответствующих обработок многолетних актинометрических данных [11]. Время 12 час по среднему солнечному времени принято за значение момента истинного полудня в табл. 2.7-2.10.

В табл. 2.11-2.14 приведены дневные ходы среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков прямого ($q_{nad_c}^{np}$), диффузного ($q_{nad_c}^{diff}$), отраженного (при значении коэффициента альбедо окружающих предметов $\rho_0 = 0,3$) ($q_{nad_c}^{omp}$) и суммарного ($q_{nad_c}^{\Sigma}$) СИ, падающих ЛВП ориентированного на юг и наклоненного к плоскости горизонта под углом $\alpha = 30^\circ$ ПСВК для условий г. Ташкента, полученных на основе соответствующих обработок многолетних актинометрических данных, приведенных в табл. 2.7-2.10.

Анализ и сопоставления данных, приведенных в табл. 2.11-2.14, показывают, что доля $Q_{nad_{год}}^{np}$ в формировании $Q_{nad_{год}}^{\Sigma}$ составляет 70%, а доли $Q_{nad_{год}}^{diff}$ и $Q_{nad_{год}}^{omp}$ - 28, 25 и 1,75%, соответственно. Из $Q_{nad_{год}}^{\Sigma} = 6866,5461 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ 75% т.е. 5138,4821 МДж/м² приходится на теплый период года (апрель-октябрь месяцы) и 47,5 % т.е. 3262,6632 МДж/м² - на летний период (с 15 мая по 15 октябрь) года, когда ПСВК могут быть использованы в СГВС без применения дублирующего теплоисточника.

В табл. 2.15 приведены дневные ходы среднечасовых значений температуры окружающей среды (t_o) по характерным дням месяцев года, которые, в свою очередь, равны дневным ходам среднечасовых значений среднемесячных температур [12].

ЧАСТЬ 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ ИХ ВЕСОГАБАРИТНЫХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ ЕГО КОРПУСА

В данной части книги представлены исходные данные для расчета ресурсных показателей ПСВК в двухконтурных солнечных СГВС, зависящие от их весогабаритных и теплотехнических характеристик, а также оптических свойств светопрозрачного покрытия их корпуса.

Площадь фронтальной поверхности базового коллектора, принимаемого за основу в расчетах, в соответствии с результатами анализа технического уровня солнечных водонагревательных коллекторов, производимых и поставляемых в мировой рынок [15] принята $1,94 \text{ м}^2$ (ширина $1,25 \text{ м}$, длина $1,55 \text{ м}$), так как более 50 % ПСВК, производимых в мире, имеют габаритную площадь фронтальной поверхности от $1,5$ до $2,5 \text{ м}^2$. Высота корпуса ПСВК (h), включая толщину теплоизоляции дна – $\delta_{\text{дн}}$ (с донной обшивкой) $0,032 \text{ м}$, толщину замкнутой воздушной прослойки ($\delta_{\text{вн}}$) $0,017 \text{ м}$, толщину СП из оконного стекла ($\delta_{\text{с}}$) $0,004 \text{ м}$ и высоту планки и мастики, герметизирующей грани СП с рамой боковых стенок корпуса коллектора $\delta_{\text{зм}}$ ($0,004 \text{ м}$), составляет $0,057 \text{ м}$. Ширина брусков рамы боковых стенок корпуса (S), которые одновременно являются теплоизоляцией, $0,025 \text{ м}$. составляет периметр среднего сечения теплоизоляции боковых стенок корпуса ($L_{\text{ср}}$) $5,5 \text{ м}$, длины меридионально ($l_{\text{м}}$) и экваториально ($l_{\text{э}}$) расположенных брусков рамы боковых стенок корпуса, соответственно $1,5$ и $1,2 \text{ м}$. Значения отношения $a = \frac{F_{\text{с}}}{F_{\text{фр}}}$, $b = \frac{F_{\text{дн}}}{F_{\text{фр}}}$ и $c = \frac{(\delta_{\text{эм}} + \delta_{\text{с}})}{F_{\text{фр}}}$ составляют, соответственно, $0,93$; $0,93$ и $0,048$.

ЛПТП коллектора листотрубной конструкции площадью фронтальной поверхности (F_{mn}) $1,8 \text{ м}^2$ изготовлена из меди (толщина лучепоглощающей пластины ($\delta_{\text{мн}}$) $0,00025 \text{ м}$., внутренний ($d_{\text{вн}}^{\text{дк}}$) и наружный ($d_{\text{нар}}^{\text{дк}}$) диаметры теплоотводящих каналов (ТОК), соответственно, $0,01$ и $0,011 \text{ м}$., межтрубное расстояние ЛПТП ($2\alpha_{\text{мн}}$) $0,11 \text{ м}$., число ТОК 11. Внутренний диаметр гидравлических каналов (ГК) ЛПТП ($d_{\text{вн}}^{\text{дк}}$), соединяющих ее ТОК $0,033 \text{ м}$. Удельная, т.е. отнесенная к единице площади фронтальной поверхности (F_{mn}), масса ЛПТП коллектора ($M_{\text{mn}}^{\text{вд}}$) равна $6,0 \text{ кг/м}^2$. Значение коэффициента заполнения коллектора $K_{\text{зан}} = \frac{F_{\text{mn}}}{F_{\text{фр}}} = 0,93$.

Удельный (отнесенный к единице площади фронтальной поверхности ЛПТП) внутренний объем теплоотводящих и ГК ЛПТП для теплоносителя ($V_{y\delta}$), включая объем теплоносителя в трубных соединениях и греющих трубках промежуточного теплообменника равен $3,25 \text{ л/м}^2$. Удельная (отнесенная к единице площади фронтальной поверхности корпуса $-F_{фр}$) масса коллектора ($M_{фр}^{y\delta}$) без теплоносителя $19,18 \text{ кг/м}^2$, из которой 48,5 % составляет масса СП, 29,1 % - масса ЛПТП, 11,6 % – масса теплоизоляции дна корпуса и 10,8 % - масса боковых стенок корпуса.

Расчетное значение приведенной (к единице площади фронтальной поверхности корпуса) коэффициента тепловых потерь ПСВК в окружающую среду - K_{np-p-o} составляет $7,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, из которого $5,842 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 78%) составляет коэффициент тепловых потерь ЛПТП через СП - aK_{c-p-o} , $1,508 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 20 %) коэффициент тепловых потерь через теплоизоляции дна корпуса - $bK_{\delta np-o}$, и $0,150$ (т.е. 2 %) - коэффициент тепловых потерь через теплоизоляции боковых стенок корпуса - $cK_{\delta c-p-o}$.

Расчетное значение приведенного (к единице площади фронтальной поверхности корпуса) эффективной теплоемкости рассматриваемой ПСВК - $C_{np}^{\text{эфф}}$ составляет $20 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, из которого $13,628 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 68,14 %) составляет теплоемкость теплоносителя (воды), $2,286 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 11,43 %) – теплоемкость ЛПТП, $2,077 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 10,39 %) – теплоемкость СП; $1,022 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 5,11 %) - теплоемкость теплоизоляции дна и $0,967 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (т.е. 4,83 %) - теплоемкость теплоизоляции боковых стенок корпуса.

В качестве СП корпуса коллектора используется обычное оконное стекло толщиной (δ_c) $0,004 \text{ м}$, с коэффициентами теплопроводности (λ_c) $0,75 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, экстинкции (β_c) $35 \frac{1}{\text{м}}$ и преломления СИ (n_c) $1,526$.

В качестве лучепоглощающего покрытия на поверхности ТП коллектора используется кремнеорганический лак КО 820 черного цвета с незначительной добавкой сажи (для снятия блеска), имеющего направленную поглощательную способность (α_p^{np}), равной излучательной способности (ε_p) $0,97$.

В табл. 3.1 приведены результаты расчетов дневных ходов среднечасовых значений суммы площадей затенения элементами боковых стенок корпуса ($\sum F_{\text{зат}}^{np}$) и коэффициента пропускания (τ_{nn}^{np}) прямого СИ переплета (рамы) корпуса, ориентированного на юг и установленного под углом $\alpha = 30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК в условиях г. Ташкента, имеющего $F_{фр} = 1,94 \text{ м}^2$, $S = 0,025 \text{ м}$, $h = \delta_{\text{вн}} + \delta_c + \delta_{\text{зм}} = 0,021 \text{ м}$, $l_2 = 1,2 \text{ м}$ и $l_6 = 1,5 \text{ м}$.

Как следует из анализа результатов расчетов, приведенных в табл. 3.1, значения $\sum F_{зат}^{np}$ и τ_{nn}^{np} являются функцией времени светового дня. Как и ожидалось, значения $\sum F_{зат}^{np}$ снижаются с утра до полудня и повышаются с полудня к вечеру, а τ_{nn}^{np} - наоборот. Максимальное значение τ_{nn}^{np} при этом составляет 0,9266.

В отличие от $\sum F_{зат}^{np}$ и τ_{nn}^{np} , значения суммы площадей затенения элементами боковых стенок корпуса ($\sum F_{зат}^{диф}$) и коэффициента пропускания ($\tau_{nn}^{диф}$) диффузного СИ переплета (рамы) корпуса в течение дня постоянны и составляют 0,1375 м² и 0,9290, соответственно.

В табл. 3.2 приведены результаты расчетов дневных ходов среднечасовых значений эффективной пропускательной способности прямого СИ СП ($\tau_{сэфф}^{np}$) и эффективной поглощательной способности лучепоглощающей поверхности (ЛПП) ТП ($\alpha_{рэфф}^{np}$) для ориентированного на юг и установленного под углом $\alpha = 30^\circ$ к плоскости горизонта в условиях г. Ташкента ПСВК среднего качества. Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 3.2, значения $\tau_{сэфф}^{np}$ и $\alpha_{рэфф}^{np}$ также являются функцией времени светового дня. Максимальные значения $\tau_{сэфф}^{np}$ и $\alpha_{рэфф}^{np}$ в полуденные часы доходят до 0,7977 и 0,97, соответственно.

Значения эффективной пропускательной способности диффузного СИ СП ($\tau_{сэфф}^{диф}$) и эффективной поглощательной способности ЛПП ТП ($\alpha_{рэфф}^{диф}$) при эквивалентном значении угла падения диффузного СИ на лучевоспринимающую поверхность (ЛВП) коллектора, равного углу падения его на ЛПП ТП $i_{сэфф}^{диф} = 58,2^\circ$ [4], в течение светового дня постоянны и составляют, соответственно, 0,7748 и 0,9133.

Таблица 3.1

Дневные ходы среднечасовых значений суммарной площади затенения элементами боковых стенок корпуса $\sum F_{зат}^{пр}$ и коэффициента прямого СИ переплета (фрамь) ориентированного на юг, установленного под углом $\alpha=30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК, имеющего площадь фронтальной поверхности ($F_{фр}$) 1,94 м²

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7: 7-8	8:9- 9-10	10-11: 11-12	12-13: 13-14	14-15: 15-16	16-17: 17-18						
	$\sum F_{зат}^{пр}, м^2$	$\frac{t_{пр}}{t_{нп}}$	$\sum F_{зат}^{пр}, м^2$	$\frac{t_{пр}}{t_{нп}}$	$\sum F_{зат}^{пр}, м^2$	$\frac{t_{пр}}{t_{нп}}$	$\sum F_{зат}^{пр}, м^2$	$\frac{t_{пр}}{t_{нп}}$	$\sum F_{зат}^{пр}, м^2$	$\frac{t_{пр}}{t_{нп}}$	$\sum F_{зат}^{пр}, м^2$	$\frac{t_{пр}}{t_{нп}}$
I	0,8762	0,5478	0,2713	0,8600	0,2091	0,8921	0,1835	0,9032	0,1692	0,9127	0,1582	0,9183
II	0,5907	0,6951	0,2491	0,8714	0,1992	0,8972	0,1771	0,9086	0,1629	0,9159	0,1538	0,9206
III		0,4152	0,7857	0,2253	0,8837	0,1871	0,9034	0,1691	0,9127	0,1573	0,9188	0,1481
IV		0,3514	0,8186	0,2141	0,8895	0,1788	0,9077	0,1615	0,9135	0,1508	0,9222	0,1423
V		0,3340	0,8276	0,2177	0,8876	0,1832	0,9054	0,1654	0,9146	0,1538	0,9206	0,1448
VI		0,3205	0,8346	0,2190	0,8870	0,1851	0,9045	0,1674	0,9136	0,1556	0,9197	0,1467
VII		0,3300	0,8297	0,2186	0,8872	0,1843	0,9049	0,1665	0,9140	0,1549	0,9201	0,1459
VIII		0,3421	0,8254	0,2154	0,8888	0,1808	0,9067	0,1610	0,9169	0,1541	0,9205	0,1427
IX		0,3758	0,8071	0,2159	0,8886	0,1822	0,9080	0,1656	0,9143	0,1547	0,9202	0,1457
X		0,5087	0,7374	0,2395	0,8764	0,1846	0,9047	0,1744	0,9100	0,1692	0,9168	0,1514
XI		0,7595	0,6060	0,2636	0,8639	0,2058	0,8938	0,1817	0,9062	0,1673	0,9137	0,1569
XII		1,0183	0,4744	0,2786	0,8362	0,2122	0,8915	0,1859	0,9041	0,1705	0,9170	0,1597

Таблица 3.2

Дневные ходы среднечасовых значений эффективной пропускательной способности прямого СИ СП ($\tau_{\text{эфф}}^{пр}$), именного коэффициентов пропускания $\mu_c=1,526$ и экстинкции $\beta_c=35^{-1}$ и эффективной площади поглощения ЛШ ПП ($\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$) при ее направленной поглощательной способности ($\alpha_P^{пр}=0,97$) для ориентированного на юг и наклоненного под углом $\alpha=30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК среднего качества

Месяц	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7; 17-18		7-8; 16-17		8-9; 15-16		9-10; 14-15		10-11; 13-14		11-12; 12-13	
	$\tau_{\text{эфф}}^{пр}$	$\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$	$\tau_{\text{эфф}}^{пр}$	$\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$	$\tau_{\text{эфф}}^{пр}$	$\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$	$\tau_{\text{эфф}}^{пр}$	$\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$	$\tau_{\text{эфф}}^{пр}$	$\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$	$\tau_{\text{эфф}}^{пр}$	$\alpha_{\text{эфф}}^{пр}$
I	0,0789	0,0141	0,5082	0,6955	0,6897	0,8342	0,7342	0,9202	0,7769	0,9568	0,7346	0,9594
II	0,2487	0,0230	0,5064	0,6979	0,7136	0,9141	0,7655	0,9237	0,7845	0,9594	0,7903	0,9627
III	0,2341	0,4410	0,6035	0,8243	0,7343	0,9168	0,7825	0,9566	0,7901	0,9625	0,7946	0,9670
IV	0,3157	0,4480	0,6452	0,8273	0,7451	0,9187	0,805	0,9578	0,7922	0,9643	0,7964	0,9700
V	0,3645	0,6837	0,6470	0,8295	0,7473	0,9190	0,7805	0,9579	0,7925	0,9640	0,7977	0,9695
VI	0,3829	0,6850	0,6504	0,8289	0,7466	0,9189	0,7795	0,9576	0,7898	0,9633	0,7952	0,9678
VII	0,3760	0,6894	0,6499	0,8288	0,7470	0,9190	0,7800	0,9577	0,7913	0,9637	0,7954	0,9683
VIII	0,3401	0,4473	0,6422	0,8280	0,7468	0,9189	0,7810	0,9580	0,7925	0,9644	0,7996	0,9700
IX	0,3704	0,4438	0,6193	0,8257	0,7400	0,9177	0,7788	0,9573	0,7815	0,9634	0,7959	0,9688
X	0,3804	0,4368	0,5765	0,6999	0,7228	0,9157	0,7710	0,9252	0,7800	0,9607	0,7972	0,9643
XI	0,0662	0,0169	0,5230	0,6950	0,6973	0,9125	0,7382	0,9214	0,7800	0,9576	0,7371	0,9604
XII	0,0613	0,0117	0,4936	0,6924	0,6817	0,8320	0,7516	0,9195	0,7743	0,9296	0,7324	0,9588

Таблица 3.3

Дневные ходы среднечасовых значений эффективной пропускательной способности прямого СИ СО ($\tau_{\text{эк}}^{\text{пр}}$)_{эфф} и произведения ($\tau_{\text{эк}}^{\text{пр}}$ $\alpha_{\text{р}}$)_{эфф} для ориентированного на юг наклоненного под углом $\alpha=30^\circ$ к плоскости горизонта

ПСВК среднего качества с однослойным СП корпуса, имеющим $\delta_c=0,004$ м, $n_c=1,526$ и $\beta_c=35 \frac{1}{\text{м}}$

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7; 17-18	7-8; 16-17	8-9; 15-16	9-10; 14-15	10-11; 13-14	11-12; 12-13						
	$\tau_{\text{эк}}^{\text{пр}}$ ($\tau_{\text{эк}}^{\text{пр}} \alpha_{\text{р}}$) _{эфф}											
I	-	0,3377	0,2342	0,5404	0,4508	0,6121	0,5633	0,6132	0,6538	0,6538	0,6292	
II	-	0,4078	0,2818	0,5680	0,5192	0,6291	0,5811	0,6333	0,6268	0,6635	0,6388	
III	0,0058	0,0026	0,4510	0,3718	0,5936	0,5453	0,6483	0,6202	0,6615	0,6367	0,6484	
IV	0,1154	0,0517	0,4960	0,4103	0,6081	0,5588	0,6472	0,6199	0,6669	0,6431	0,6538	
V	0,1702	0,1164	0,4938	0,4113	0,6079	0,5586	0,6480	0,6207	0,6656	0,6416	0,6545	
VI	0,1945	0,1332	0,4984	0,4131	0,6063	0,5572	0,6463	0,6189	0,6621	0,6378	0,6502	
VII	0,1831	0,1262	0,4981	0,4128	0,6071	0,5579	0,6472	0,6198	0,6639	0,6398	0,6512	
VIII	0,1431	0,0640	0,4925	0,4078	0,6087	0,5593	0,6510	0,6237	0,6655	0,6418	0,6580	
IX	0,0613	0,0272	0,4707	0,3887	0,6016	0,5321	0,6466	0,6190	0,6642	0,6399	0,6519	
X	-	-	0,4183	0,3928	0,5841	0,5346	0,6347	0,3872	0,6568	0,6310	0,6666	0,6428
XI	-	-	0,3258	0,2264	0,5491	0,5011	0,6189	0,3703	0,6469	0,6195	0,6589	0,6328
XII	-	-	0,3202	0,2217	0,5313	0,4425	0,6106	0,3614	0,6368	0,5948	0,6531	0,6260

Таблица 3.4

Дневные ходы среднечасовых значений $Q_{гр,с}^{пр}$, Вт/м², $Вт/м^2$ (в числителе) и $Q_{гр,с}^{пр,с}$, Вт/м² (в знаменателе) в средних условиях облачности при $\alpha=30^\circ$ и $\tau_n=0,94$ Вт/м² в условиях г. Ташкента

Месяц	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Средн. за месяц, МДж/м ²	
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18			
I	—	12,64	88,39	176,14	246,38	289,91	288,73	184,61	154,28	113,35	49,50	3,92	—	38007	117,8206
II	—	16,79	75,30	147,59	199,31	233,50	225,42	193,75	137,66	71,59	16,79	—	—	58659	181,9415
III	3,16	42,28	132,03	233,08	306,48	349,99	43,232	391,86	224,59	130,95	43,9	31,6	—	47466	132,9048
IV	14,38	86,82	190,27	389,20	364,37	104,57	397,34	350,78	274,09	182,84	81,55	17,47	0,05	58787	180,8882
V	3,91	70,06	161,54	245,70	306,99	332,77	325,53	284,70	221,35	142,66	65,72	3,71	7,7952	75665	296,5665
VI	42,35	138,76	263,73	372,72	450,44	489,13	484,84	415,86	355,90	252,33	146,07	43,24	—	12514	375,5811
VII	11,51	103,17	212,72	313,81	384,45	424,74	416,86	371,18	295,09	199,49	91,05	12,76	10,2072	102072	316,8228
VIII	66,48	183,36	314,46	437,80	523,37	568,54	564,32	513,37	326,79	312,10	178,75	71,89	14,9811	149811	464,4128
IX	18,89	129,82	256,15	364,04	441,70	487,48	441,69	358,35	241,96	119,88	17,70	42,113	12,4113	164364	493,0919
X	77,73	210,95	354,76	473,52	560,15	601,98	612,42	545,06	472,55	342,05	204,07	81,21	16,4364	164364	493,0919
XI	17,80	131,71	267,79	384,80	475,74	521,57	528,88	482,49	390,52	275,05	134,03	17,80	13,0856	130856	404,8491
XII	71,74	206,37	359,15	486,55	584,38	629,95	644,77	590,62	490,76	346,08	212,09	76,58	16,9771	169771	526,2912
Средн.	10,74	124,90	267,12	396,32	403,35	541,45	549,32	497,00	402,13	275,60	124,90	10,75	13,2610	132610	411,0920
Средн.	56,23	192,83	350,93	494,04	590,43	649,21	655,53	599,70	504,75	358,06	194,44	57,80	16,9032	169032	523,9703
Средн.	7,17	91,52	178,11	255,76	344,30	407,25	499,16	433,07	360,91	255,15	91,52	20,8	11,7085	117085	351,2851
Средн.	32,54	151,75	312,10	456,52	558,70	607,96	613,33	553,56	459,17	311,53	150,20	30,84	15,2935	152935	458,8046
Средн.	—	30,96	142,40	243,35	321,34	358,24	358,74	314,34	236,88	138,88	38,40	—	7,8915	78915	244,6406
Средн.	9,49	76,47	207,46	331,56	424,67	468,35	466,80	417,60	325,01	205,30	75,29	9,49	10,8702	108702	336,9779
Средн.	—	9,97	76,37	162,91	224,56	259,41	253,16	211,87	152,14	74,65	81,4	—	5,1591	1547726	1547726
Средн.	—	24,30	115,96	229,43	340,32	342,64	291,46	215,22	133,26	22,43	—	—	7,2343	212997	212997
Средн.	—	2,14	41,70	102,66	148,30	170,38	148,90	96,29	41,70	1,90	—	—	3,3355	1034036	1034036
Средн.	—	8,46	68,34	155,63	221,94	250,82	249,21	219,75	152,84	71,97	9,81	—	5,0705	1571886	1571886

3015,1043
4245,3651
За год:

Таблица 3.5

Дневные ходы средне-часовых значений суммарного СЧ ($q_{\Sigma}^{ср}$, Вт/м²) в средних условиях облачности при $\phi=30^{\circ}$ и $\tau_n=0,94$ в условиях г. Ташкент

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за световой день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
I	-	10,51	76,52	161,65	232,39	273,76	272,40	232,45	163,07	76,34	12,86	-	5,4430	168,7356
II	2,89	34,96	120,63	214,40	289,11	331,19	324,60	284,62	206,50	119,65	36,47	2,89	7,0846	198,3684
III	6,86	75,71	174,36	272,03	345,06	383,82	376,83	332,00	257,46	166,96	74,24	15,93	8,8977	275,8283
IV	13,11	120,63	241,78	351,34	427,04	466,00	461,66	412,61	334,89	231,43	127,74	39,59	11,7057	351,1696
V	58,08	158,82	288,38	413,83	497,61	543,07	538,81	487,65	402,92	286,15	155,63	62,84	14,0176	434,5470
VI	66,68	181,69	325,46	448,60	533,66	584,57	586,07	538,15	447,45	314,21	176,25	70,13	15,3825	461,4754
VII	61,33	177,35	329,16	461,43	558,23	604,11	614,11	53,56	485,71	335,87	181,37	65,94	15,9061	493,0900
VIII	46,36	165,44	321,98	468,94	563,93	623,96	630,18	573,09	470,73	328,54	166,91	47,77	15,8682	491,9138
IX	28,69	130,58	286,06	432,58	532,54	582,55	587,83	536,90	435,24	285,54	129,17	27,18	14,3815	431,4449
X	8,66	63,14	189,74	305,72	403,08	446,01	444,60	395,92	299,64	187,76	60,57	8,66	10,1286	313,9866
XI	-	20,02	109,49	210,86	287,40	330,94	324,85	275,58	197,80	103,38	18,70	-	6,7663	202,9882
XII	-	7,25	59,52	142,76	204,59	236,77	235,29	203,14	140,18	62,37	8,54	-	4,6815	143,1258

Таблица 3.6

Дневные ходы среднечасовых (средневзвешенных для составления суммарного СИ) значений $(\alpha_r \tau)_{\text{эф}}$

при $\alpha = 30^\circ$ и $\tau_n = 0,94$ в условиях г. Ташкента

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Средний за день (за месяц)
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
I	-	0,3861	0,4863	0,5568	0,5907	0,5994	0,6002	0,5907	0,5567	0,4899	0,4267	-	0,5707
II	0,5236	0,4153	0,5360	0,5675	0,5967	0,6055	0,6044	0,5959	0,5667	0,5307	0,4307	0,4857	0,5750
III	0,4029	0,4526	0,5453	0,5911	0,6029	0,6098	0,6099	0,6013	0,5887	0,5452	0,4648	0,4223	0,5793
IV	0,3751	0,4701	0,5535	0,5931	0,6096	0,6175	0,6164	0,6067	0,5903	0,5529	0,4791	0,3894	0,5781
V	0,3636	0,4639	0,5542	0,5981	0,6139	0,6242	0,6231	0,6128	0,5961	0,5537	0,4709	0,3655	0,5767
VI	0,3403	0,4581	0,5539	0,6009	0,6166	0,6269	0,6266	0,6159	0,6000	0,5537	0,4620	0,3553	0,5753
VII	0,3281	0,4554	0,5546	0,6032	0,6206	0,6311	0,6309	0,6208	0,6036	0,5547	0,4536	0,3371	0,5780
VIII	0,3006	0,4503	0,5539	0,6071	0,6227	0,6372	0,6377	0,6237	0,6078	0,5560	0,4510	0,3103	0,5837
IX	0,3327	0,4422	0,5502	0,6016	0,6135	0,6296	0,6300	0,6191	0,6022	0,5504	0,4413	0,3313	0,5857
X	0,4427	0,3946	0,5379	0,5745	0,6030	0,6186	0,6182	0,6083	0,5753	0,5380	0,3944	0,4378	0,5897
XI	-	0,3666	0,5162	0,5628	0,5939	0,6086	0,6083	0,5980	0,5628	0,5152	0,3823	-	0,5664
XII	-	0,4198	0,4802	0,5558	0,5779	0,5985	0,5988	0,5781	0,5555	0,4817	0,4453	-	0,5673

Таблица 3.7

Месячные ходы значений температуры окружающей среды в моментах времени восхода Солнца ($t_{0_{\text{вс}}}$), завершения освещения ЛВП коллектора прямым СИ ($t_{0_{\text{вс}}}^{\text{пр}}$), температуры утреннего роста поверхностной плотности потока поглощенного ЛПП ТП суммарного СИ ($m_{\text{утр}}$), продолжительностей утреннего прогрева ($\Delta Z_{\text{утр}}^{\text{пр}}$) и вечернего остывания ($\Delta Z_{\text{веч}}^{\text{ост}}$), а также продолжительности активной работы в течение дня ($\Delta Z_{\text{дн}}^{\text{ар}}$) ПСВК по характерным дням года в зависимости от температуры, получаемой из них горячей воды (t_f)_{вх})

Месяцы	$t_{0_{\text{вс}}}$, °С	$t_{0_{\text{вс}}}^{\text{пр}}$, °С	$m_{\text{утр}}$	$\Delta Z_{\text{утр}}^{\text{пр}}$, час		при $t_{\text{вх}}$, °С	$\Delta Z_{\text{веч}}^{\text{ост}}$, час	$\Delta Z_{\text{дн}}^{\text{ар}}$, час		при $t_{\text{вх}}$, °С	при $t_{\text{вх}}$, °С	
				37	45			37	45			37
I	-2,3	1,2	86,96	2,344	2,832	3,182	1,677	2,022	2,453	5,119	4,486	3,705
II	-0,7	4,2	93,22	2,277	2,555	2,890	1,286	1,640	2,042	6,797	6,165	5,482
III	4,2	10,3	100,75	1,627	2,103	2,430	0,765	1,063	1,435	9,078	8,504	7,805
IV	10,1	17,1	113,92	1,629	1,833	2,184	0,554	0,817	1,146	10,077	9,500	8,930
V	14,3	22,6	129,32	1,241	1,491	1,779	0,165	0,397	0,687	11,114	10,632	10,054
VI	18,1	28,5	133,46	0,960	1,230	1,531	-0,173	0,052	0,333	11,873	11,378	10,796
VII	15,0	31,1	141,98	0,788	1,066	1,367	-0,299	0,088	0,176	12,111	11,446	11,057
VIII	17,9	28,8	156,31	0,888	1,037	1,38	-0,164	0,028	0,267	11,656	11,265	10,733
IX	12,7	23,1	154,62	1,204	1,417	1,665	0,112	0,294	0,549	10,744	10,349	9,846
X	7,8	18,2	113,23	1,782	2,030	2,325	0,482	0,747	1,078	8,593	8,083	7,456
XI	3,1	9,2	89,96	2,046	2,345	2,700	0,946	1,279	1,696	6,628	5,996	5,224
XII	-0,3	3,5	75,14	2,603	2,935	3,334	1,642	2,107	2,606	4,775	3,978	3,080

* - минусовые значения $\Delta Z_{\text{веч}}^{\text{ост}}$ означают, что коллектор завершает период активной дневной работы через 0,173; 0,299; 0,164 и 0,088 часов после завершения освещения ЛВП коллектора прямым СИ.

В табл. 3.3 приведены результаты расчетов дневных ходов среднечасовых значений эффективной пропускательной способности прямого СИ светопрозрачного ограждения (СО) $(\tau_{\text{exэфф}}^{np})$ и произведения $(\tau_{\text{ex}}^{np} \alpha_p^{np})_{\text{эфф}}$ для ориентированного на юг и установленного под углом $\alpha = 30^\circ$ к плоскости горизонта в условиях г. Ташкента ПСВК среднего качества с однослойным СП корпуса. Как следует из данных табл. 3.3, в холодные месяцы года (октябрь - февраль) ЛПП ТП до 7 ч. утра и после 17 ч. вечера не освещается прямым СИ. В полдень значения $(\tau_{\text{ex}}^{np} \alpha_p^{np})_{\text{эфф}}$ растут от 0,6260 (в холодные месяцы года) до 0,6545 (в теплые месяцы). Соответствующие значения $\tau_{\text{exэфф}}^{\text{диф}}$ и $(\tau_{\text{ex}}^{\text{диф}} \alpha_p^{\text{диф}})_{\text{эфф}}$ при этом в течение дня постоянны и составляют 0,5971 и 0,5453.

В табл. 3.4 приведены результаты расчетов дневных ходов среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков прошедших через СО коллектора прямого ($q_{\text{прои}_c}^{np}$ - в числителе) и суммарного ($q_{\text{прои}_c}^\Sigma$ - в знаменателе) СИ, а также их дневной, месячной и годовой сумм при значениях коэффициентов пропускания СИ слоя пыли и грязи на поверхности СП (τ_n) 0,94 и альbedo окружающей среды (ρ_o) 0,3.

Как следует из анализа результатов расчетов, приведенных в табл. 3.4, доля $q_{\text{прои}_c}^{np}$ в $q_{\text{прои}_c}^\Sigma$ зависит от времени года и составляет 0,69 (минимальная) в марте и 0,785 (максимальная) в августе месяцах.

В табл. 3.5 приведены результаты расчетов дневных ходов среднечасовых значений поверхностных плотностей потоков поглощенного ЛПП ТП коллектора прямого ($q_{\text{нозл}_p}^{np}$ - в числителе) и суммарного ($q_{\text{нозл}_p}^\Sigma$ - в знаменателе) СИ, а также их дневной, месячной и годовой сумм. Как следует из сопоставления годовых сумм $q_{\text{нозл}_p}^{np} = 2840,2410 \text{ МДж}/\text{м}^2$ и $q_{\text{нозл}_p}^\Sigma = 3968,6716 \text{ МДж}/\text{м}^2$, среднегодовое значение отношения $q_{\text{прои}_c}^{np}$ к $q_{\text{прои}_c}^\Sigma$, составляет 0,7157, что очень близко к значению отношения годовых сумм $q_{\text{прои}_c}^{np}$ и $q_{\text{прои}_c}^\Sigma$, которое составляет 0,7102.

В табл. 3.6 приведены результаты расчетов дневного хода среднечасовых (средневзвешенных для составляющих суммарного СИ) значений $(\alpha_p \tau)_{\text{эфф}}^\Sigma$, полученных на основе отношений дневных ходов среднечасовых значений $q_{\text{нозл}_p}^\Sigma$ и $q_{\text{пад}_c}^\Sigma$. Как следует из данных, приведенных в табл. 3.6, максимальное значение $(\alpha_p \tau)_{\text{эфф}}^\Sigma$ при этом приходится на август месяц и составляет 0,5837.

В табл. 3.7 приведены месячные ходы значений температуры окружающей среды в моментах времени восхода Солнца ($t_{о\text{вс}}$), завершения освещения ЛВП коллектора прямым СИ ($t_{о\text{зав}}^{о\text{св}}$), результаты расчетов по определению темпа утреннего роста поверхностной плотности потока поглощенного ЛПП ТП коллектора суммарного СИ (m_{ymp}), продолжительностей утреннего прогрева ($\Delta z_{\text{ymp}}^{np\text{z}}$) и вечернего остывания ($\Delta z_{\text{веч}}^{ocm}$), а также продолжительностей активной работы ПСВК в СГВС в течение светового дня ($\Delta z_{\text{дн}}^{ap}$) по характерным дням месяцев года в зависимости от температуры получаемой из них горячей воды ($t_{f_{\text{вых}}}$).

Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 3.7, значение m_{ymp} в течение года изменится от $75,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ в декабре и до $156 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ в августе месяцах. Значения $\Delta z_{\text{ymp}}^{np\text{z}}$ при прочих равных условиях ($K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$, $C_{np}^{\text{эфф}}$ и $t_{о\text{вс}}$), главным образом, зависят от m_{ymp} и $t_{о\text{вс}}$, а вечернего остывания ($\Delta z_{\text{веч}}^{ocm}$) - от темпа вечернего снижения поверхностной плотности потока поглощенного ЛПП ТП коллектора суммарного СИ ($m_{\text{веч}}$). Отметим, что из-за очень близкой симметричности прихода $q_{\text{ползп}}^{\Sigma}$ в течение светового дня относительно момента истинного полудня можно считать, что $m_{\text{ymp}} \approx m_{\text{веч}}$.

Отрицательные значения $\Delta z_{\text{веч}}^{ocm}$ при $t_{f_{\text{вых}}} = 37^{\circ}\text{C}$ в июне, июле и августе месяцах и при $t_{f_{\text{вых}}} = 45^{\circ}$ в августе месяце в табл. 3.7 объясняются тем, что в момент завершения освещения ЛВП коллектора прямым СИ значение температуры окружающей среды (t_o) выше, чем средней температуры теплоносителя (воды) в коллекторе (\bar{t}_f).

Таблица 3.8

Дневные ходы среднечасовых значений $K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$, ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

при $K_{np_{p-o}} = 7,5 \text{ (Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ и $t_{f_{\text{вых}}} = 37^{\circ}\text{C}$

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
I	-	-	-	7,148	7,060	6,984	6,971	7,021	7,125	-	-	-
II	-	-	-	7,039	6,906	6,820	6,805	6,850	6,967	7,148	-	-
III	-	-	6,992	6,782	6,610	6,517	6,483	6,515	6,632	6,823	7,127	-
IV	-	7,011	6,737	6,507	6,347	6,253	6,213	6,218	6,296	6,454	6,731	-
V	6,875	6,531	6,141	5,866	5,696	5,619	5,544	5,454	5,390	5,302	5,298	5,854
VI	6,731	5,584	5,213	5,098	4,964	4,923	4,776	4,617	4,362	3,819	-	-
VII	6,141	5,090	4,832	4,734	4,666	4,568	4,453	4,195	3,820	3,169	-	-
VIII	6,667	5,919	5,333	5,107	4,974	4,880	4,737	4,501	4,214	3,463	-	-
IX	-	6,801	6,223	5,839	5,620	5,494	5,357	5,266	5,125	4,843	4,707	6,268
X	-	-	7,008	6,728	6,503	6,368	6,284	6,271	6,327	6,553	6,977	-
XI	-	-	-	6,904	6,724	6,605	6,572	6,625	6,761	7,236	-	-
XII	-	-	-	-	7,043	6,990	6,963	7,002	7,123	-	-	-

Таблица 3.9

Дневные ходы среднечасовых значений $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$, ($Bт/м^2 \cdot \text{°C}$) при

$$K_{np-p-o} = 7,5 \text{ (} Bт/м^2 \cdot \text{°C)} \text{ и } t_{f_{\text{вых}}} = 45 \text{ °C}$$

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
I	-	-	-	-	7,122	7,056	7,048	7,094	7,184	-	-	-
II	-	-	-	7,109	6,996	6,924	6,917	6,958	7,061	7,182	-	-
III	-	-	7,088	6,914	6,775	6,695	6,641	6,715	6,825	6,960	-	-
IV	-	7,087	6,890	6,696	6,562	6,492	6,495	6,480	6,573	6,722	6,955	-
V	-	6,811	6,500	6,253	6,095	6,004	5,960	5,945	5,964	6,052	6,325	6,852
VI	6,830	6,303	5,926	5,709	5,567	5,468	5,354	5,302	5,181	4,935	4,645	4,590
VII	6,193	6,129	5,684	5,455	5,286	5,190	5,059	4,868	4,639	4,138	3,368	-
VIII	6,921	6,502	6,140	5,716	5,516	5,405	5,315	5,160	5,003	4,581	3,750	-
IX	-	6,901	6,550	6,225	6,023	5,910	5,804	5,775	5,775	5,799	6,357	-
X	-	-	7,092	6,862	6,681	6,569	6,517	6,528	6,614	6,821	7,021	-
XI	-	-	-	6,999	6,868	6,777	6,753	6,804	6,934	7,094	-	-
XII	-	-	-	-	7,116	7,071	7,052	7,088	7,151	-	-	-

Таблица 3.10

Дневные ходы среднечасовых значений $K_{np-p-o}^{\text{эфф}}$, ($Bт/м^2 \cdot \text{°C}$)

$$\text{при } K_{np-p-o} = 7,5 \text{ (} Bт/м^2 \cdot \text{°C)} \text{ и } t_{f_{\text{вых}}} = 55 \text{ °C}$$

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы											
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
I	-	-	-	-	7,179	7,124	7,118	7,159	-	-	-	-
II	-	-	-	7,162	7,077	7,017	7,012	7,051	7,141	-	-	-
III	-	-	7,152	7,023	6,910	6,845	6,835	6,875	6,972	7,107	-	-
IV	-	-	7,015	6,856	6,746	6,682	6,664	6,696	6,863	6,922	7,091	-
V	-	6,995	6,752	6,549	6,417	6,339	6,305	6,319	6,384	6,526	6,780	-
VI	-	6,734	6,423	6,203	6,061	5,969	5,884	5,865	5,891	5,954	6,137	6,696
VII	-	6,940	6,279	6,035	5,870	5,756	5,649	5,568	5,501	5,423	5,377	6,013
VIII	-	6,835	6,459	6,189	6,011	5,912	5,831	5,754	5,776	5,681	5,808	6,653
IX	-	7,051	6,784	6,524	6,351	6,265	6,192	6,186	6,247	6,398	6,893	-
X	-	-	7,117	6,976	6,854	6,742	6,708	6,731	6,821	6,994	7,166	-
XI	-	-	-	7,066	6,992	6,917	6,904	6,957	7,062	7,151	-	-
XII	-	-	-	-	7,184	7,143	7,129	7,182	-	-	-	-

Из данных табл. 3.7 также следует, что продолжительность периода активной дневной работы ПСВК в СГВС ($\Delta z_{\text{дн}}^{\text{ап}}$), в основном, зависит от времени года. Так, если при $t_{f_{\text{вых}}} = 45 \text{ °C}$ значение $\Delta z_{\text{дн}}^{\text{ап}}$ составляет в декабре и январе месяцах 3,978 и 4,486 ч. в день, соответственно, то в июне и июле месяцах 11,378 и 11,446 ч. в день, что, соответственно, в 2,864 и 2,55 раза больше, чем в зимние месяцы.

В таблицах 3.8, 3.9 и 3.10 приведены результаты расчетов дневных ходов среднечасовых значений эффективного приведенного коэффициента тепловых потерь ПСВК ($K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$), выполненных итерационным методом [5], при значении $K_{np_{p-o}} = 7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ для температур горячей воды, подаваемой в СГВС, 37, 45 и 55 °С, соответственно. Как следует из анализа данных, приведенных в табл. 3.8-3.10, вследствие частичного поглощения проходящего через СП ПСВК СИ и преобразования последнего в тепло, значение $K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$ всегда меньше, чем у коллектора с идеальным светопрозрачным покрытием корпуса (т.е. $K_{np_{p-o}}$). Из сопоставления расчетных данных, приведенных в табл. 3.8-3.10, следует что значения $K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$ растет с ростом $t_{f_{\text{вых}}}$. Так, в теплое время года (например, в августе месяце) в полдень при росте $t_{f_{\text{вых}}}$ от 37°С до 55°С, значение $K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$ растет от 4,5 до 5,7 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, что от 24 до 40 %, соответственно, меньше, чем расчетные значения $K_{np_{p-o}}$. Разность между $K_{np_{p-o}}$ и $K_{np_{p-o}}^{\text{эфф}}$, как и ожидалось, при прочих равных условиях ($K_{np_{p-o}}$) прямо пропорционально поверхностной плотности потока падающего на ЛВП коллектора суммарного СИ ($q_{\text{над.с}}^{\Sigma}$) и обратно пропорционально разности рабочей температуры ЛПП ТП (t_p) и окружающей среды (t_o).

ЧАСТЬ 4. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ НИХ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

В данной части книги представлены результаты расчетов по определению дневных ходов среднечасовых значений удельной теплопроизводительности и тепловой эффективности ПСВК среднего качества в СГВС для характерных дней года и на их основе среднемесячных ходов и среднегодового значения этих показателей рассматриваемых коллекторов в зависимости от температуры подаваемой к потребителям СГВС горячей воды.

Расчеты выполнены для ПСВК среднего качества, ориентированного на юг и установленного под углом (α) 30° к плоскости горизонта в условиях г. Ташкента. Для значений температур горячей воды на выходе из двухконтурной СГВС ($t_{f_{\text{вых}}}$) выбраны 37 , 45 и 55°C , которые имеют потребительскую значимость для абонентов данной системы.

Значения коэффициентов тепловых эффективностей ЛПП ПСВК (η_{mn}) и солнечной двухконтурной СГВС ($\eta_{гвс}$) в расчетах приняты $0,95$ и $0,90$, соответственно. Соответствующие значения коэффициентов теплопередачи промежуточного теплообменника (K_{mo}) и отношения площади поверхности нагрева промежуточного теплообменника (F_{mo}) к площади лучепоглощающей поверхности (ЛПП) теплообменной панели (ТП) коллектора (F_{mn}) т.е. F_{mo}/F_{mn} при этом составляют 800 ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) и $0,311$. Значения температур исходной (т.е. холодной) воды ($t_{f_{\text{ex}}}$) в расчетах приняты 5°C в холодный (ноябрь-март месяцы года) и 15°C в теплый (апрель - октябрь месяцы) периоды года.

В табл. 4.1-4.3 приведены результаты расчетов по определению среднемесячных дневных ходов среднечасовых значений удельной теплопроизводительности ПСВК в двухконтурной СГВС ($q_{\text{пол}}$) а также их дневной ($Q_{\text{пол,дн}}$), месячной ($Q_{\text{пол,мес}}$) и годовой ($Q_{\text{пол,год}}$) сумм при температурах горячей воды на выходе из системы ($t_{f_{\text{вых}}}$) 37 , 45 и 55°C , соответственно, в реальных погодных условиях (т.е. с учетом облачности небосвода и среднемесячных значений дневного хода температуры окружающей среды по долгосрочным метеоданным), для Ташкента.

Таблица 4.1

Среднемесячные дневные ходы среднецасовых значений удельной теплопроизводительности ПСВК ($q_{\text{пост}}, \text{Вт/м}^2$) в двухконтурной СГВС ($\eta_{\text{сгс}}=0,9$) при температуре получаемой горячей воды $t_{\text{гвс}}=37^\circ\text{C}$

Мес-ца	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²	
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18			
I	-	-	-	4,92	78,89	121,81	126,83	92,40	27,92	-	-	-	-	1,6366	50,7346
II	-	-	-	67,50	132,06	197,72	196,61	102,14	90,53	8,19	-	-	-	3,1491	88,1148
III	-	-	67,25	166,6	241,56	282,67	281,08	243,08	175,62	92,23	0,44	-	-	5,3333	173,0223
IV	-	26,94	148,17	257,06	333,93	373,53	371,50	331,89	262,38	168,47	70,72	-	-	8,1463	253,3190
V	4,97	100,67	331,64	353,17	435,03	480,42	476,60	435,60	360,60	255,30	136,03	47,66-1,06*	-	11,6674	370,0904
VI	25,81	153,47	322,67	410,17	491,47	541,17	546,39	504,08	422,33	299,97	170,58	68,81-10,11*	-	14,1728	425,1170
VII	30,83	157,08	303,42	409,56	522,17	567,83	576,75	535,33	446,31	325,53	177,78	65,25-20,11*	-	14,6795	464,3445
VIII	14,00	132,11	387,19	438,71	520,75	579,58	588,60	539,18	447,75	316,25	163,08	47,42-8,23*	-	14,6640	454,3140
IX	-	57,06	224,14	370,67	469,14	520,33	530,72	487,00	396,75	262,44	199,66	15,47	-	12,4328	372,9070
X	-	-	54,31	192,81	297,81	347,83	354,06	314,83	250,39	129,17	10,31	-	-	6,9464	215,3184
XI	-	-	-	84,86	186,50	231,36	233,22	191,08	119,61	56,19	-	-	-	3,9054	117,1220
XII	-	-	-	-	61,53	104,89	110,86	83,44	39,19	-	-	-	-	1,3078	43,3318
												Сумма за год	3029,548		

* - после прекращения освещения лучевосприимчивой поверхности (ЛВЛ) коллектора прядками солнечными лучами

Таблица 4.2

Среднемесячные дневные ходы средненасовых значений удельной теплопроизводительности ПСВК ($q_{\text{пол.т}}$, Вт/м²) в двухкомпурной СГВС ($\eta_{\text{сгс}}=0,9$) при температуре поступающей горячей воды $t_{\text{г.вх}} = 45^\circ\text{C}$

Месяц	Временные интервалы светового дня, часы												Сумма за декаду, МДж/м ²	Сумма за декаду, кВт/м ²	
	17.18.														
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18			
I	-	-	-	-	43,67	97,14	100,22	61,22	9,61	-	-	-	-	1,1371	35,2501
II	-	-	-	38,97	125,44	171,25	170,11	135,61	63,83	1,67	-	-	-	2,5448	71,2544
III	-	-	17,44	140,28	315,44	356,86	255,78	217,22	148,72	66,00	-	-	-	4,8153	148,4043
IV	-	7,08	111,81	231,22	307,56	348,42	348,64	306,92	237,22	142,33	44,22	-	-	7,5425	226,3090
V	-	66,92	206,61	329,39	412,19	458,22	457,39	414,00	338,00	233,31	112,47	1,92	-	10,9131	338,3061
VI	10,64	134,53	284,22	412,08	503,03	532,11	505,22	322,31	437,42	317,50	174,44	67,53=3,33*	-	14,3293	444,2083
VII	5,39	107,06	284,52	408,92	502,33	562,00	575,14	524,14	434,25	306,42	177,97	43,25=3,22*	-	14,0078	434,2418
VIII	-	19,08	198,81	347,03	447,03	498,75	509,87	466,58	376,64	242,64	98,22	2,06	-	11,6165	348,4950
IX	-	-	38,25	166,44	271,97	322,47	338,89	389,64	304,81	103,08	21,11	-	-	6,2570	193,9670
X	-	-	-	34,69	166,22	207,28	207,28	163,00	93,14	24,92	-	-	-	3,2131	96,3930
XI	-	-	-	-	27,31	78,17	83,56	58,19	8,22	-	-	-	-	0,9124	28,2844
XII	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,757,0176

* - после преобразования времени ЛВП коллектора прямыми солнечными лучами

Таблица 4.3

Среднемесячные дневные ходы среднечасовых значений удельной теплопроизводительности ПСВЗ ($q_{\text{полт}}$, Вт/м²) в двухконтурной СГВС ($\eta_{\text{сгс}}=0,9$) при температуре подаваемой горячей воды $t_{\text{гр,вх}} = 55^{\circ}\text{C}$

Месяц	Ежедневные интервалы светового дня, часы												Сумма за день, МДж/м ²	Сумма за месяц, МДж/м ²	
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18			
I	-	-	-	-	13,38	63,67	8675	31,69	-	-	-	-	-	0,6225	19,8075
II	-	-	-	8,87	92,06	139,03	136,89	102,28	30,31	-	-	-	-	1,843	51,804
III	-	-	12,06	107,06	162,44	224,08	225,58	184,53	116,58	22,25	-	-	-	3,853	120,681
IV	-	83,89	198,36	275,06	316,25	316,53	274,64	204,69	106,22	10,94	-	-	-	6,425	193,2730
V	-	34,81	174,17	297,89	381,44	428,00	427,44	344,00	308,61	202,08	79,97	-	-	9,761	303,981
VI	-	92,72	240,01	391,31	444,83	496,03	502,25	461,89	381,50	291,56	134,01	30,38	-	12,2705	388,1060
VII	-	91,67	254,72	384,61	479,69	540,81	541,25	499,44	413,69	297,64	156,94	46,2	-	13,348	413,6888
VIII	-	75,38	234,56	380,00	474,81	535,50	546,44	499,22	410,67	283,42	136,11	16,97	-	12,938	401,0098
IX	-	17,86	166,17	315,64	416,69	469,06	480,83	437,56	347,31	212,36	65,69	-	-	10,5150	316,3500
X	-	-	6,11	133,25	238,78	300,06	306,61	257,28	172,06	69,83	11,36	-	-	5,3112	164,6472
XI	-	-	-	8,39	126,97	174,28	174,31	131,89	58,81	1,03	-	-	-	2,4860	73,8600
XII	-	-	-	-	4,83	44,67	50,72	6,69	-	-	-	-	-	0,349	11,9319
															2487,1118

Как следует из анализа результатов расчетных данных, приведенных в табл. 4.1-4.3, максимальные значения $q_{пол}$, как правило, приходится на теплый период года. Так, при нагреве воды на выходе из системы ($t_{f_{вых}}$) до 37 °С значения $q_{пол}$ в мае - сентябре месяцах в интервалах времени 10÷11 и 13-14 часов дня составляют 435÷480 Вт/м², а их дневных ($Q_{пол,год}^{дн}$) и месячных ($Q_{пол,год}^{мес}$) сумм -11,97÷12,43 МДж/(м² · день) и 371÷373 МДж/(м² · мес), соответственно. Значение годовой суммы $q_{пол}$ ($Q_{пол,год}^{год}$) при этом составляет 3029,32 МДж/(м² · год).

При нагреве воды до 45 и 55 °С максимальные значения $q_{пол}$, как и ожидалось, несколько снижаются и составляют 412÷414 Вт/м² и 381÷384 Вт/м². Значения $Q_{пол,год}^{дн}$ и $Q_{пол,год}^{мес}$ при $t_{f_{вых}} = 45$ °С составляют 10,91÷11,61 МДж/(м² · день) и 338,30÷348,50 МДж/(м² · мес), а $Q_{пол,год}^{год}$ - 2767,02 МДж/(м² · год). При $t_{f_{вых}} = 55$ °С значения $Q_{пол,год}^{дн}$ и $Q_{пол,год}^{мес}$ составляют 9,80-10,55 МДж/(м² · день) и 303,37-316,35 МДж/(м² · мес), а $Q_{пол,год}^{год}$ - 2437,11 МДж/(м² · год). Относительное снижение $Q_{пол,год}^{год}$ при повышении температуры, получаемой из системы горячей воды, от 37 до 45 и 55 °С, при этом составляет: от 37 до 45 °С 9,5%, от 37 до 55 °С 24,5% и от 45 до 55 °С 13,5%. Из данных табл. 4.1-4.3 также следует, что значения продолжительности активной дневной работы ПСВК в СГВС в зависимости от значения $t_{f_{вых}}$ составляют от 4÷5 ч (в холодное время года) до 11÷12 ч (в теплое время года).

Для значений $t_{f_{вых}}$, отличающихся от 37, 45 и 55 °С, соответствующие значения $Q_{пол,год}^{год}$ могут быть определены из интерполяционной зависимости

$$Q_{пол,год}^{год} = 3029,32 - 32,9(t_{f_{вых}} - 37), \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (4.1)$$

полученной на основе обработки расчетных значений $Q_{пол,год}^{год}$ в зависимости от $t_{f_{вых}}$. Относительная погрешность при определении $Q_{пол,год}^{год}$ по аппроксимационной зависимости (1) составляет 0,03%. Годовой ход изменения отношения месячной суммы удельной теплопроизводительности ($Q_{пол,год}^{мес}$) к годовой - ($Q_{пол,год}^{год}$) ПСВК в СГВС в зависимости от $t_{f_{вых}}$ представлен в табл. 4.4.

**Годовой ход изменения отношения месячной $Q_{пол,год}^{мес}$ к годовой $Q_{пол,год}^{год}$
сумм удельной теплопроизводительности ПСВК в СГВС
в зависимости от $t_{f_{вых}}$**

Месяц	$t_{f_{вых}}, ^\circ\text{C}$		
	37	45	55
I	0,0167	0,0127	0,0080
II	0,0291	0,0258	0,0211
III	0,0571	0,0540	0,0495
IV	0,0836	0,0818	0,0793
V	0,1225	0,1223	0,1245
VI	0,1404	0,1449	0,1510
VII	0,1533	0,1605	0,1697
VIII	0,1501	0,1569	0,1645
IX	0,1231	0,1259	0,1298
X	0,0711	0,0701	0,0676
XI	0,0387	0,0348	0,0300
XII	0,0143	0,0102	0,0049

Как видно из данных табл. 4.4, периодом эффективной работы ПСВК, в СГВС, в основном, является теплый период года. Так, если период работы ПСВК в СГВС считать, когда отношение $Q_{пол,год}^{мес}/Q_{пол,год}^{год} \gg 0,05$, то март-октябрь месяцах, как это рекомендовано в [17], доля $\sum Q_{пол,год}^{мес}$ в $\sum Q_{пол,год}^{год}$ составляет: 90,12% при $t_{f_{вых}} = 37^\circ\text{C}$; 91,64% при $t_{f_{вых}} = 45^\circ\text{C}$ и 88,64% в апреле-октябре месяцах при $t_{f_{вых}} = 55^\circ\text{C}$.

В соответствии с результатами расчетов, приведенных в табл. 4.1-4.3 и табл. 4.4, в марте-октябре месяцах года удельная производительность ПСВК в СГВС по горячей воде составляет $38,445 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$ при $t_{f_{вых}} = 37^\circ\text{C}$, что составляет 93% от годовой - $41,343 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ и $20,188 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$ при $t_{f_{вых}} = 45^\circ\text{C}$, что составляет 93,6% от годовой - $21,569 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. При $t_{f_{вых}} = 55^\circ\text{C}$ в марте-октябре месяцах года удельная производительность ПСВК по горячей воде существенно снижается, по сравнению с чем при $t_{f_{вых}} = 37^\circ\text{C}$ и 45°C , и составляет $12,899 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$, т.е. 90,7% от годовой - $14,222 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

В табл. 4.5-4.7 приведены результаты расчетов по определению среднемесячных дневных ходов среднечасовых значений тепловой эффективности ПСВК в двухконтурной СГВС в зависимости от $t_{f_{вых}}$ для

характерных дней года, выполненных на основе табл. 2.14 и табл. 4.1-4.3. Как и ожидалось, значения η прежде всего зависит от времен года и светового дня, температуры окружающей среды (t_o), а также от значения $t_{f_{вых}}$. Так, при $t_{f_{вых}} = 37^\circ\text{C}$ текущие значение η в течение интервала времени 10÷14ч. светового дня изменится от 0,20÷0,23 (в декабре и январе месяцах года) до 0,537÷0,595 (в мае- сентябре месяцах). Среднедневное значения η , т.е. $\bar{\eta}$ при этом изменится от 0,17 (в декабре и январе месяцах года) до 0,50÷0,54 (в мае- сентябре месяцах года). Как следует из данных табл. 4.5-4.7, при $t_{f_{вых}} = 45^\circ\text{C}$ значение $\bar{\eta}$ снизится от 0,45÷0,52 (в мае- сентябре месяцах года) до 0,11÷0,12 (в декабре и январе месяцах года), а при $t_{f_{вых}} = 55^\circ\text{C}$ - от 0,40÷0,48 (в мае- сентябре месяцах года) до 0,047÷0,066 (в декабре и январе месяцах года).

Как показывают результаты расчетов, для других значений $t_{f_{вых}}$, отличающихся от 37, 45 и 55°C соответствующие значения $\bar{\eta}_{год}$ ПСВК в СГВС могут быть определены из аппроксимационной зависимости (рис. 4.1):

$$\bar{\eta}_{год} = 0,4412 - 0,0048(t_{f_{вых}} - 37^\circ\text{C}). \quad (4.2)$$

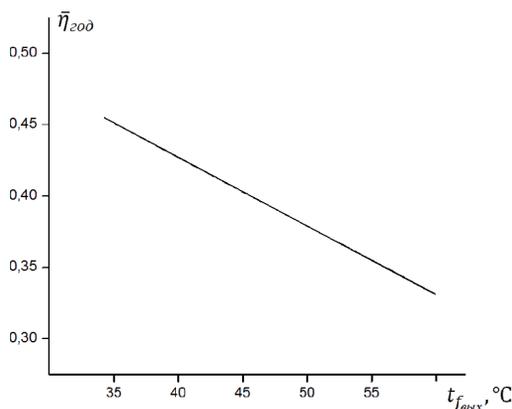


Рис. 4.1. Зависимость среднегодовой тепловой эффективности ПСВК ($\bar{\eta}_{год}$) от температуры, подаваемой к абонентам СГВС горячей воды ($t_{f_{вых}}$).

Относительная погрешность расчетов по определению зависимости $\bar{\eta}_{год} = f(t_{f_{вых}})$ в интервале изменения $t_{f_{вых}}$ в системах СГВС от 35 до 60°C при этом составляет 0,03%.

Согласно результатам расчетов на основе аппроксимационной зависимости (2) и суммарного годового значения поверхностной плотности

потока солнечного излучения (СИ), падающего на ЛВП ориентированного на юг и наклоненного под углом $\alpha=30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК ($Q_{над_{год}}^\Sigma = 6866,5461 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$) [14], его годовая теплопроизводительность в двухконтурной СГВС при $t_{f_{вых}} = 50^\circ\text{C}$ составляет:

$$Q_{пол}^{год} = \bar{\eta} Q_{над_{год}}^\Sigma = [0,4412 - 0,0048(50-37)]6866,5461 = 2601,0477 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

При температуры исходной (холодной) воды $t_{f_{вых}} = 15^\circ\text{C}$ соответствующая производительность ПСВК по горячей воде при этом составляет $17,75 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Определенная таким образом расчетная годовая производительность рассматриваемого ПСВК по горячей воде ($17,75 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$) на 19,5% больше, чем у ПСВК с листотрубной лучепоглощающей теплообменной панелью (ЛТПП), изготовленной из стали, которая согласно [18] составляет $14,980 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Расхождение результатов наших расчетов с результатами расчетов по [18] объясняется, главным образом, влиянием частичного поглощения СИ светопрозрачным покрытием (СП) на приведенный коэффициент суммарных тепловых потерь ЛТПП ПСВК через его корпус (K_{np-p-o}) [16] и теплофизических свойств материалов изготовления ЛТПП рассматриваемых коллекторов.

Таблица 4.5

**Среднемесячные дневные ходы среднечасовых значений тепловой эффективности ПСВК
в двухконтурной СГВС ($\eta_{\text{теп}}=0,9$) при $t_{\text{факт}} = 37^{\circ}\text{C}$**

Месяц	Временные интервалы светового дня, часы												Средний за день (за месяц)	
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18		
I	-	-	-	0,0169	0,2005	0,2713	0,2794	0,2338	0,0962	-	-	-	-	0,1715
II	-	-	-	0,1787	0,3139	0,3645	0,3661	0,3395	0,2484	0,0363	-	-	-	0,2555
III	-	-	0,2103	0,3622	0,4220	0,4496	0,4549	0,4402	0,4023	0,3012	0,0028	-	-	0,3614
IV	-	0,1155	0,3392	0,4340	0,4754	0,4949	0,4988	0,4880	0,4628	0,4025	0,2648	0,0025	0,4172	0,4925
V	0,0311	0,2930	0,4452	0,5104	0,5367	0,5522	0,5549	0,5475	0,5336	0,4942	0,4116	0,2814	0,4025	0,5302
VI	0,1309	0,3872	0,4981	0,5494	0,5679	0,5803	0,5842	0,5769	0,5663	0,5286	0,4471	0,4002	0,5302	0,5647
VII	0,1644	0,4033	0,5112	0,5615	0,5805	0,5932	0,5936	0,5897	0,5784	0,5376	0,4447	0,4364	0,5647	0,5392
VIII	0,0908	0,3598	0,4962	0,5550	0,5749	0,5919	0,5937	0,5869	0,5782	0,5352	0,4406	0,3617	0,5392	0,5062
IX	-	0,1932	0,4312	0,5155	0,5452	0,5623	0,5688	0,5616	0,5490	0,5058	0,4095	0,1886	0,5062	0,3968
X	-	-	0,1540	0,3623	0,4492	0,4819	0,4923	0,4799	0,4386	0,3701	0,0671	-	-	0,3968
XI	-	-	-	0,2265	0,3880	0,4292	0,4367	0,4147	0,3403	0,1804	-	-	-	0,3326
XII	-	-	-	-	0,1739	0,2623	0,2821	0,2360	0,1157	-	-	-	-	0,1693

Средняя за год: 0,4412

Таблица 4.6

Среднемесячные дневные ходы среднечасовых значений тепловой эффективности ПСВК
 в двухконтурной СГВС ($\eta_{гс} = 0,9$) при $t_{f, \text{вх}} = 45^\circ\text{C}$

Месяца	Временные интервалы светового дня, часы												Средний за день (за месяц)
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
I	-	-	-	-	0,1110	0,2129	0,2208	0,1657	0,0328	-	-	-	0,1191
II	-	-	-	0,1032	0,2589	0,3131	0,3167	0,2839	0,1752	0,0074	-	-	0,2064
III	-	-	0,1171	0,3048	0,3764	0,4086	0,4141	0,3934	0,3424	0,2156	-	-	0,3120
IV	-	0,0276	0,2789	0,3905	0,4390	0,4617	0,4655	0,4513	0,4181	0,3400	0,1656	-	0,3726
V	-	0,1954	0,3971	0,4760	0,3085	0,5266	0,5291	0,5202	0,5015	0,4515	0,3403	0,0112	0,4491
VI	0,0287	0,3267	0,4617	0,5050	0,5463	0,5578	0,5660	0,5584	0,5463	0,5061	0,4229	0,3166	0,4999
VII	0,0567	0,3454	0,4789	0,5387	0,5592	0,5768	0,5806	0,5753	0,5643	0,5244	0,4363	0,3520	0,5402
VIII	0,0220	0,2914	0,4574	0,5294	0,5547	0,5740	0,5760	0,5705	0,5607	0,5186	0,4268	0,3019	0,5151
IX	-	0,1323	0,3824	0,4826	0,5195	0,5390	0,5466	0,5380	0,5204	0,4677	0,3356	0,0251	0,4729
X	-	-	0,0801	0,3128	0,4102	0,4467	0,4573	0,4450	0,3932	0,2993	0,1375	-	0,3574
XI	-	-	-	0,0979	0,3333	0,3812	0,3881	0,3537	0,2650	0,1242	-	-	0,2736
XII	-	-	-	-	0,0771	0,1976	0,2127	0,1599	0,0326	-	-	-	0,1105
Средняя за год:												0,4030	

Таблица 4.7

Среднемесячные дневные ходы среднечасовых значений тепловой эффективности ПСВК
в двухконтурной СГВС ($\eta_{зас}=0,9$) при $t_{f,вых} = 55^{\circ}\text{C}$

Месяцы	Временные интервалы светового дня, часы												Средний за день (за месяц)
	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
I	-	-	-	-	0,0345	0,1395	0,1471	0,0804	-	-	-	-	0,0663
II	-	-	-	0,0237	0,1900	0,2542	0,2549	0,2141	0,0832	-	-	-	0,1488
III	-	-	0,0378	0,2362	0,3188	0,3564	0,3651	0,3338	0,3157	0,1053	-	-	0,2520
IV	-	-	0,1921	0,3349	0,3926	0,4190	0,4226	0,4038	0,3608	0,2609	0,0410	-	0,3183
V	-	0,1017	0,3347	0,4305	0,4706	0,4919	0,4945	0,4825	0,4566	0,3910	0,2410	-	0,4027
VI	-	0,2345	0,4095	0,4840	0,5140	0,5319	0,5381	0,5286	0,5116	0,4605	0,3528	0,1534	0,4590
VII	-	0,2354	0,4292	0,5028	0,5333	0,5650	0,5560	0,5501	0,5361	0,4916	0,3925	0,2373	0,5031
VIII	-	0,2057	0,4050	0,4919	0,5243	0,5469	0,5529	0,5433	0,5303	0,4797	0,3678	0,1102	0,4757
IX	-	0,0605	0,3196	0,4390	0,4843	0,5069	0,5153	0,5046	0,4806	0,4093	0,2244	-	0,4293
X	-	-	0,0173	0,2504	0,3602	0,4018	0,4124	0,3952	0,3304	0,2001	0,0740	-	0,3034
XI	-	-	-	0,0224	0,2641	0,3182	0,3264	0,2862	0,1702	0,0051	-	-	0,2075
XII	-	-	-	-	0,0136	0,1129	0,1291	0,0190	-	-	-	-	0,0466
Средняя за год:												0,3549	

ЧАСТЬ 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В данной части книги представлена методика определения технико-экономических показателей ПСВК в СГВС, в которых использованы дневные ходы среднечасовых значений прихода суммарного СИ, падающего на ЛВП ориентированного на юг и наклонного под углом $\alpha = 30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК и температуры окружающей среды для характерных дней месяцев года.

В работах [19-22], посвященных к определению коэффициента замещения тепловой нагрузки и сезонной теплопроизводительности систем солнечного теплоснабжения (ССТС), в качестве исходных данных использованы усредненные (долгосрочные) значения месячных сумм прихода суммарного СИ, падающего на горизонтальную поверхность и среднемесячной температуры окружающей среды (наружного воздуха). Точность расчетов, выполненных по методике, использованной в этих работах, получившей название “*f*-метод”, по своей природе сравнительно низка и по этой причине они используются для предварительного определения укрупненных теплотехнических характеристик, прогнозирования масштабов применения и тепловой оптимизации параметров элементов рассматриваемых систем.

В отличие от этой методики, нами в целях обеспечения высокой точности получаемых результатов, в данной части книги для определения технико-экономических показателей ПСВК в СГВС использованы дневные ходы среднечасовых значений прихода суммарного СИ, падающего на ЛВП ориентированного на юг и наклонного под углом $\alpha = 30^\circ$ к плоскости горизонта ПСВК и температуры окружающей среды для характерных дней месяцев года, которые соответствуют среднемесячным значениям этих метеопараметров с соответствующим детальным учетом влияний размеров боковых элементов корпуса ПСВК и частичного поглощения СИ светопрозрачным покрытием (СП) корпуса на его теплотехнические характеристики.

Расчеты выполнены для ПСВК среднего качества с однослойным СП корпуса из оконного стекла толщиной (δ_c) 0,004 м и коэффициентом экстинкции (β_c) 35 1/м, с обычным (т.е. не селективным) покрытием на поверхности лучепоглощающей теплообменной панели (ЛПП) из кремнеорганического лака КО 822 черного цвета с незначительной добавкой сажи (для снятия блеска), имеющего направленную поглощательную способность (α_p^{np}), равной излучательной способности (ϵ_p) 0,97. Расчетное значение приведенного коэффициента суммарных тепловых потерь ЛПП

через ограждающие элементы ПСВК без учета частичного поглощения СИ СП его корпуса (K_{np-p-o}) $7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Значение коэффициента тепловой эффективности ЛПТП ПСВК (η_{mn}), характеризующей степень ее теплотехнического совершенства, 0,89.

Значение тепловой эффективности двухконтурной СГВС, учитывающая наличия промежуточного теплообменника в системе ($\eta_{звс}$), при значениях $K_{np-p-o} = 7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, коэффициента теплопередачи между греющей и нагреваемой средами рассматриваемого теплообменника (K_{mo}) $800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК ($F_{фр}$) $1,94 \text{ м}^2$ и площади поверхности нагрева греющих трубок (или змеевика) промежуточного теплообменника (F_{mo}) $0,388 \text{ м}^2$, т.е. при значения отношения $\frac{F_{фр}}{F_{mo}} = 0,2$, определенное по выражению [6]

$$\eta_{звс} = \left(\frac{1}{\eta_{mn}} + \frac{K_{np-p-o} F_{фр}}{K_{mo} F_{mo}} \right)^{-1}, \quad (5.1)$$

составляет 0,85.

Расчеты выполнены для условий г. Ташкента ($\varphi = 41,33^\circ$) для значений температур горячей воды на выходе из двухконтурной СГВС ($t_{f_{вых}}$) 37, 45 и 55°C , которые имеют потребительскую значимость для абонентов данной системы.

В качестве исходных данных по определению стоимости тепловой энергии (C_{mz}), генерированной в СВУ, и замещаемого ими традиционного топлива (C_{mm}), а также удельного (отнесенного к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК) количества последнего (G_{mm}) за счет использования ПСВК в СГВС в течение года (или за определенное его периоды) в зависимости от температуры подаваемой к абонентам СГВС горячей воды ($t_{f_{вых}}$) при заданных значениях тепловой эффективности традиционных теплогенерирующих установок (η_{mz}), удельной теплотворной способности замещаемого традиционного топлива (q_{mm}) и установленной удельной стоимости СВУ, состоящей из ПСВК, промежуточного теплообменника, бака-аккумулятора горячей воды, трубной обвязки, циркуляционных насосов, строительно-монтажных работ и т.п., использованы результаты расчетных исследований по определению среднемесячных ходов значения среднегодовой теплопроизводительности ПСВК среднего качества в двухконтурных СГВС [6].

Стоимость тепловой энергии, генерированной СВУ, в зависимости от температуры подаваемой к абонентам СГВС горячей воды ($t_{f_{вых}}$) в соответствии с методикой [23] может быть определена из

$$C_{тэ} = \frac{K_{св\у\у\д} E_n + \Sigma \mathcal{E}_{i\у\д}^{2\odot\odot}}{Q_{пол\у\д}^{2\odot\odot}}, \quad (5.2)$$

где E_n – нормативный коэффициент амортизации СВУ; $\Sigma \mathcal{E}_{i\у\д}^{2\odot\odot}$ – суммарные годовые эксплуатационные расходы СВУ; $K_{св\у\у\д}$ – установленная удельная (отнесенная к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК) стоимость СВУ в СГВС.

Значение среднегодовой удельной теплопроизводительности ПСВК $Q_{пол\у\д}^{2\odot\odot}$ в (5.1) в зависимости от $t_{f\у\у\х}$ в соответствии с [6] определяется из

$$Q_{пол\у\д}^{2\odot\odot} = 3029,32 - 32,9(t_{f\у\у\х} - 37), \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (5.3)$$

Подставляя (5.3) в (5.2), получим

$$C_{тэ} = \frac{E_n K_{св\у\у\д} + \Sigma \mathcal{E}_{i\у\д}^{2\odot\odot}}{3029,32 - 32,9(t_{f\у\у\х} - 37)}, \quad (5.4)$$

В частности, при $E_n = 0,1$ и $\Sigma \mathcal{E}_{i\у\д}^{2\odot\odot} = 0,1 K_{св\у\у\д}$, выражение (5.4) может быть представлено в виде

$$C_{тэ} = K_{св\у\у\д} [15146,6 - 164,5(t_{f\у\у\х} - 37)]^{-1}. \quad (5.5)$$

На рис. 5.1 приведены результаты расчетных исследований по определению зависимости стоимости тепловой энергии, генерированной СВУ в СГВС, т.е. «солнечной тепловой энергии» $C_{тэ}$, от $t_{f\у\у\х}$ и $K_{св\у\у\д}$ в пределах изменения $t_{f\у\у\х}$ от 37 до 55°C.

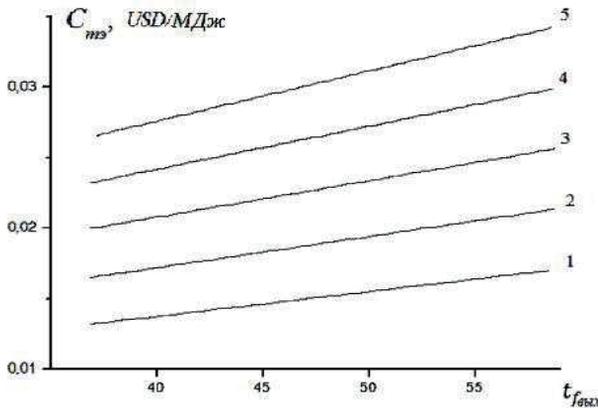


Рис. 5.1. Зависимость стоимости солнечной тепловой энергии ($C_{тэ}$) от $t_{f\у\у\х}$ и $K_{св\у\у\д}$: 1,2,3,4 и 5 –соответственно, при $K_{св\у\у\д}^{2\odot\odot} = 200, 250, 300, 350$ и $400 \text{ USD}/\text{м}^2$.

Количество замещаемого традиционного топлива за счет использования СЭ с помощью ПСВК в СГВС (т.е. «солнечного топлива»), отнесенное к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК ($G_{m_{y,d}}$) в соответствии с методикой [23] может быть определено из

$$G_{y,m,y,d} = \frac{Q_{пол,y,d}^{zod}}{\eta_{mz} q_{mm}}, \frac{кз \cdot y.m.}{(M^2 \cdot zod)}, \quad (5.6)$$

где η_{mz} -тепловая эффективность, т.е. коэффициент полезного действия (КПД) традиционной теплогенерирующей (водонагревательной) установки в СГВС; q_{mm} -теплотворная способность замещаемого традиционного топлива.

Подставляя значения $Q_{пол,y,d}^{zod}$ из (5.3) в (5.6) с учетом значения $q_{mz} = 0,8$ и $q_{mm} = 35 \text{ МДж/нм}^3$ (для природного газа), получим

$$G_{nz,y,d} = 108,19 - 1,175(t_{f_{вых}} - 37), \text{ нм}^3 / (\text{M}^2 \cdot zod) \quad (5.7)$$

Зависимость $G_{nz,y,d}$ от $t_{f_{вых}}$ приведена на рис. 5.2.

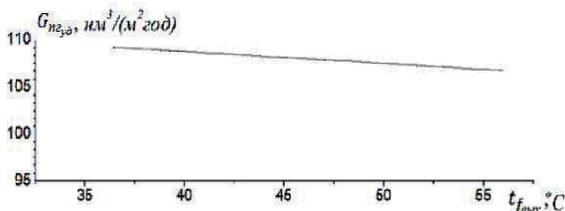


Рис. 5.2. Зависимость $G_{nz,y,d}$ от $t_{f_{вых}}$ при $\eta_{mz} = 0,8$ и $q_{mm} = 35 \text{ МДж/нм}^3$.

Удельная стоимость «солнечного топлива» (на примере природного газа), замещаемого ПСВК в СГВС $C_{cm,y,d}$ в течение года, в соответствии с методикой [9] может быть определена из

$$C_{cm,y,d} = \frac{E_n K_{св,y,d} + \Sigma \mathcal{E}_{y,d}^{zod}}{G_{nz,y,d}}. \quad (5.8)$$

Подставляя значения $G_{nz,y,d}$ из (2.82) в (2.83) и с учетом значений $E_n = 0,1$ и $\Sigma \mathcal{E}_{y,d}^{zod} = 0,1 K_{св,y,d}$, получим расчетное выражение для определения $C_{cm,y,d}$ в зависимости от $t_{f_{вых}}$ и $K_{св,y,d}$, т.е.

$$C_{cm,y,d} = K_{св,y,d} [540,95 - 5,875(t_{f_{вых}} - 37)]^{-1}. \quad (5.9)$$

На рис. 5.3 приведены результаты расчетных исследований по определению удельной стоимости замещаемого ПСВК в СГВС «солнечного топлива»

(в данном случае природного газа с теплотворной способностью 35 МДж/нм^3) от $t_{f_{\text{вых}}}$ и $K_{\text{св}_{\text{уд}}}$ в пределах изменения $t_{f_{\text{вых}}}$ от 37 до 55°C .

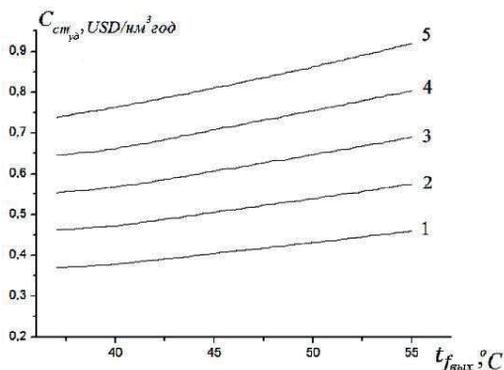


Рис. 5.3. Зависимость удельной стоимости природного газа, замещаемого ПСВК в СГВС в течение года ($C_{\text{ст,год}}$) от $t_{f_{\text{вых}}}$ и $K_{\text{св}_{\text{уд}}}$; 1,2,3,4 и 5 –соответственно, при от $K_{\text{св}_{\text{уд}}} = 200; 250; 300; 350$ и 400 USD/м^2 .

Из анализа графических зависимостей, приведенных на рис. 5.1-5.3 следует, что основными путями повышения технико-экономической эффективности ПСВК в СГВС являются:

- снижение единовременных и эксплуатационных затрат ПСВК и других комплектующих оборудования солнечных СГВС;

- снижение температуры нагрева воды на выходе из СВУ до допустимых значений с точки зрения пригодности для использования ее в коммунально-бытовом секторе.

ЧАСТЬ 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

В данной части книги приведены результаты исследований по определению удельных экологических показателей ПСК для нагрева ЖТН среднего качества при использовании их в качестве тепловой энергии в СГВС (в место сжигания природного газа и бурого угля) в зависимости от температуры получаемой из них горячей воды в условиях г. Ташкента.

Наряду с экономией традиционных топливно-энергетических ресурсов использование солнечной энергии в СГВС позволяет сократить определенное количество парникового газа (CO_2), выбрасываемого в окружающую среду, за счет соответствующего сбережения сжигаемого органического топлива.

Представляет практический интерес определение снижения количества выбрасываемого в окружающую среду CO_2 в зависимости от режима эксплуатации ПСК в СГВС, т.е. от температуры нагреваемой с их помощью горячей воды ($t_{гв}$) в место сжигаемого природного газа Шуртанского месторождения и Ангреновского бурого угля, которые являются основными составляющими ископаемого органического топлива, используемого для покрытия тепловых нужд населения в Республике Узбекистан.

Результаты обобщения многолетнего опыта использования солнечной энергии в Республике Узбекистан показывает, что эффективным периодом эксплуатации солнечных СГВС является теплый период года (с 15 апреля по 15 октября). Удельный приход суммарного (прямого и диффузного) солнечного излучения на поверхность ориентированного на юг и установленного под углом 30° к горизонту ПСК, которое считается наиболее рациональным расположением, за этот период составляет $4563,8 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$ т.е. 66,5% от удельного годового прихода, который составляет $6866,5 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ [14]. На этот период в зависимости от температуры горячей воды ($t_{гв}$), подаваемой к абонентам СГВС приходится от 77 до 81 % удельной годовой полезной теплопроизводительности ПСК ($Q_{пол}^{год}$). Удельная сезонная (за теплый период года) полезная теплопроизводительность ПСК в СГВС ($Q_{пол}^{сезон}$) составляет 2332,6; 2185,9 и 1974,1 $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$ при $t_{гв}=37; 45$ и 55°C [19], соответственно.

Для значений $t_{гв}$, отличающихся от 37, 45 и 55°C , соответствующие значения ($Q_{пол}^{сезон}$) могут быть определены из аппроксимационной зависимости

$$Q_{пол}^{сезон} = 2437,1 + 32,95(55 - t_{26}), \quad (6.1)$$

полученной на основе обработки расчетных значений $Q_{пол}^{сезон}$ в зависимости от t_{26} . Относительная погрешность при определении значений $Q_{пол}^{сезон}$ при этом составляет 0,03%.

Снижения удельного количества выбросов CO_2 в окружающую среду в место сжигания традиционного органического топлива для нагрева воды для нужд СГВС за теплый период года может быть определена из выражения

$$G_{CO_2}^{сезон} = C_{CO_2} \frac{Q_{пол}^{сезон}}{\eta_{mc} q_{3m}}, \quad (6.2)$$

где C_{CO_2} - отношение количества выбрасываемого в окружающую среду CO_2 на единицу количества сжигаемого органического топлива, зависящее от содержания углерода (C) в нем (r_c); η_{mc} - тепловая эффективность традиционной водонагревательной установки, работающей на органическом топливе; q_{3m} - теплотворная способность органического топлива.

Представляя выражения (6.2) в аппроксимационную зависимость (6.1), получим

$$G_{CO_2}^{сезон} = C_{CO_2} \frac{24\ 371 - 3295(55 - t_{26})}{\eta_{mc} q_{3m}}, \frac{кг\ CO_2}{м^2 \cdot сезон}. \quad (6.3)$$

Согласно [25] значение C_{CO_2} в (6.2) и (6.3) для природного газа 1,88 при $r_c=0,7$, для бурого угля: 3,38 при $r_c=0,26$ и 5,22 при $r_c=0,4$. В связи с этим для природного газа Шуртанского месторождения с объемным весом $0,72\ кг/лм^3$ $q_{3m}=35\ МДж/лм^3$ при $\eta_{mc}=0,8$ выражение (6.3) может быть представлено в виде

$$G_{CO_2}^{сезон} = 117,82 + 1,59(55 - t_{26}), \frac{кг\ CO_2}{м^2 \cdot сезон}. \quad (6.4)$$

Для Ангреновского бурового угля при его калорийном эквиваленте 0,48 [26] и при $\eta_{mc}=0,8$ значение C_{CO_2} может быть определена из выражений

$$G_{CO_2}^{сезон} = 731,95 + 9,90(55 - t_{26}), \frac{кг\ CO_2}{м^2 \cdot сезон}. \quad (6.5)$$

при $r_c=0,26$ и

$$G_{CO_2}^{сезон} = 1130,41 + 15,28(55 - t_{26}), \frac{кг\ CO_2}{м^2 \cdot сезон}. \quad (6.6)$$

при $r_c=0,40$.

На рис. 6.1 приведена зависимость ежегодного потенциального снижения количества выбросов CO_2 в окружающую среду за счет использования ПСК в СГВС от температуры получаемой из них горячей воды вместо сжигания природного газа Шуртанского месторождения, а на рис. 6.2 – в место сжигания Ангреновского бурового угля.

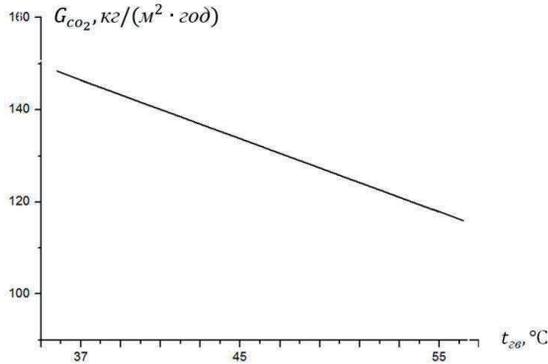


Рис. 6.1. Зависимость ежегодного потенциального снижения выброса CO_2 в окружающую среду при использовании ПСК для нагрева воды в СГВС вместо сжигания природного газа от t_{26} .

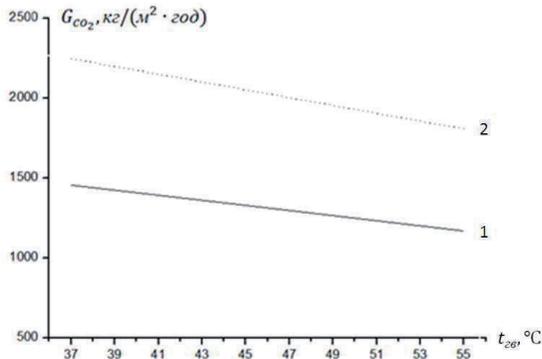


Рис. 6.2. Зависимость ежегодного потенциального снижения выбросов CO_2 в окружающую среду при использовании ПСК для нагрева воды в СГВС вместо сжигания бурого угля от t_{26} : 1 и 2 – соответственно при $r_c=0,26$ и $0,40$.

Как следует из анализа графиков по рис. 6.1 и 6.2, ежегодное снижение выбросов CO_2 в окружающую среду за счет использования ПСК для нагрева воды в СГВС (G_{CO_2}) зависит как от r_c , так и от t_{26} . Например, для природного газа ($r_c=0,7$) возможное снижение CO_2 составляет $146,44 \frac{\text{кг } \text{CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$ при $t_{26}=37^{\circ}\text{C}$, $133,72 \frac{\text{кг } \text{CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$ при $t_{26}=45^{\circ}\text{C}$ и $117,82 \frac{\text{кг } \text{CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$ при $t_{26}=55^{\circ}\text{C}$. Для бурого угля $r_c=0,26$ возможное снижение CO_2 составляет $893,95 \frac{\text{кг } \text{CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$ при $t_{26}=37^{\circ}\text{C}$,

$830,95 \frac{\text{кг } CO_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$ при $t_{гв} = 45^\circ\text{C}$ и $731,95 \frac{\text{кг } CO_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$ при $t_{гв} = 55^\circ\text{C}$, а при $r_c = 0,4$ – $1405,45$; $1283,21$ и $1130,41 \frac{\text{кг } CO_2}{\text{м}^2 \cdot \text{сезон}}$, соответственно при $t_{гв} = 37$; 45 и 55°C .

Снижение выброса CO_2 в окружающую среду с ростом $t_{гв}$ в графиках по рис. 6.1 и 6.2 объясняется уменьшением значения $Q_{пол}^{сезон}$ в аппроксимационной зависимости (6.1).

Экологический эффект использования солнечной энергии в СГВС тем больше, чем ниже температура горячей воды, получаемой из ПСК.

Значение выбросов CO_2 в окружающую среду за счет использования солнечной энергии при $t_{гв} = 55^\circ\text{C}$ от 6,21 до 9,59 раза меньше, чем при сжигании бурого угля, при соответствующем росте в нем содержания углерода от 0,26 до 0,40.

Таким образом, предложенная методика расчета позволит разработать и создать ПСВК с оптимальным теплотехническим, технико-экономическим и экологическим показателям, имеющего максимальную эффективность при минимальной массе. Полученные расчетные данные дают прогнозировать, что широкомасштабное использование ПСВК дает возможность экономии традиционного топлива (природного газа) расходуемого для нужд горячего водоснабжения до 60%, а стоимость солнечной тепловой энергии близкой к стоимости тепловой энергии полученной традиционным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аvezов Р.Р., Лутпуллаев С.Л. Состояние, перспективы и проблемы использования возобновляемых источники энергии в Узбекистане. Материалы конференции, посвященной «Году физики - 2005». Ташкент. 2005. –С. 119-123.
2. Возобновляемые источники энергии / В кн. Первое национальное сообщение Республики Узбекистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2. Ташкент: Главное управление по гидрометеорологии при Кабинете Министров РУз. 2001. – С. 34-36.
3. Даффи Дж. А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. -М.: Мир. 1977. -420с.
4. Avezov R.R., Avezova N.R., Samiev K.A. Transmission coefficient of the transparent insulation of flat diffuse solar radiation heating systems // Applied Solar Energy, 2007, Vol. 43, No. 1, pp. 6–7.
5. Avezov R.R., Avezova N.R., Ruziev O.S., Vakhidov A. Effective Scaled Heat Loss Coefficient for Translucent Coatings of Flat Plate Water-Heating Solar Collectors // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 48, No. 4, pp. 248-253.
6. Аvezов Р.Р., Орлов А.Ю. Системы солнечного отопления и горячего водоснабжения. - Ташкент: ФАН. 1988. – С.288.
7. Научно–прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 19. Кн. 1. Л.: Гидрометеоиздат. 1989. -280с.
8. Вейнберг В.Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии. - М.: Оборонгиз. 1959. -224с.
9. Avezova N.R., Avezov R.R., Ruziev O.S., Vakhidov A., Suleimanov Sh.I. Longevity Characteristics of Flat Solar Water-Heating Collectors in Hot-Water-Supply Systems. Part 1. Procedure for Calculating Collector Heating Efficiency. // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, No. 1, pp. 7–15.
10. Справочник по климату СССР. Вып. 19 часть I Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеоиздат. 1966. – 76 с.
11. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. 4. 1-6. Вып. 19. Узбекская ССР Кн.1. - Л.: Гидрометеоиздат. 1989. - 280с.
12. Справочник по климату СССР. Вып. 19. Узбекская ССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеоиздат. 1965. - 290 с.

13. Марков Г.И. Коэффициент затенения прямой солнечной радиации остекленным переплетом гелиоприемника и количество прямой солнечной радиации, падающей на приемник. Использование солнечной энергии. Сборник 1. – М.: Изд-во АН СССР. 1957. С.210-213.
14. Avezova N.R., Avezov R.R., Ruziev O.S., Vakhidov A., Suleimanov Sh.I. Resource indices of flat solar water-heating collectors in hot-water-supply systems. Part 2. Source data for calculations (external factors) // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, No. 2, pp 73-82.
15. Абуев И.М., Мышко Ю.Л., Смирнов С.И., Тарнижевский Б.В. // Монтажные и специальные работы в строительстве. 1989. №4. С. 8-9.
16. Avezova N.R., Avezov R.R., Vakhidov A., Suleimanov Sh.I. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water-supply systems: Part 3. Source data for calculations that depend on the weight, size, and heat engineering characteristics of the collector and the optic properties of the translucent collector coating // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, No. 2, pp 128-136.
17. Марков Г.И., Рекант Н.Б. Испытания солнечных водонагревателей в Ташкенте 1952-1953гг. //Использование солнечной энергии. Сб.1. - М.: Изд. АН СССР. 1957. - С.202-209.
18. Петухов Б.В. Метод расчета солнечных водонагревателей // Использование солнечной энергии. Сб.1. - М.: Изд. АН СССР. 1957. С.177-201.
19. Avezova N.R., Avezov R.R., Rustamov N.T., Vakhidov A., Suleimanov Sh.I. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot-water supply systems. Part 4. Specific collector thermal yield and efficiency. // Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, No. 4, pp 202-210.
20. Авдеева Л.В., Смирнов С.И., Тарнижевский Б.В. и др. Расчет теплопроизводительности систем солнечного горячего водоснабжения для южных районов СССР//Гелиотехника. 1983.№3. -С.39-42.
21. Тарнижевский Б.В., Смирнов С.И., Даудов М.К. //Гелиотехника. 1985.№5.С.57-61.
22. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат. 1982.-80с.
23. Авезова Н.Р., Авезов Р.Р., Рустамов Н.Т., Вахидов А.У., Исаков А.Ж., Сулейманов Ш. «Технико-экономические показатели плоских солнечных водонагревательных коллекторов в системах горячего водоснабжения» // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Сборник тезисов и докладов республиканской конференции, посвященная 70- летию Физико-технического института НПО «Физика-Солнце». – Ташкент, 2013 – С.293-295.

24. Безруких П.П., Безруких П.П. (мл) Прогноз развития возобновляемой энергетики мира до 2020 года // Международный Конгресс REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность», Россия, г. Москва 27-28 октября 2015г., - С. 70-75.
25. Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф. и др. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справочник под ред. Гамбурга Д.Ю. и Дубовкина Н.Ф. – М.: «Химия». 1989, - 672 с.
26. Авезов Р.Р., Ким К.М., Умаров Г.Я. и др. Эффективность солнечной энергии в топливно-энергетическом балансе // Гелиотехника. 1970. №6. - С.60-63.

Сведения об авторах

Нилуфар Раббанакуловна Аvezова



кандидат технических наук, заведующая лабораторией «Низкопотенциальные солнечные тепловые установки» Физико-технического института Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии Наук Республики Узбекистан. Ответственный секретарь Международного научного журнала «Applied Solar Energy». Ведет научное исследование в областях «Тепловое преобразование и использование солнечной энергии» и «Возобновляемые источники энергии». Автор свыше 100 научных публикаций и 10 патентов.

Раббанакул Рахманович Аvezов



доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Физико-технического института Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии Наук Республики Узбекистан. Автор свыше 300 научных публикаций, 5 монографий и более 10 патентов.

Акмал Улашевич Вохидов



младший научный сотрудник Физико-технического института Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии Наук Республики Узбекистан. Автор более 20 научных публикаций и 2 патентов.

Люблю книги
ljubljuknigi.ru



yes
I want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.ljubljuknigi.ru

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.ljubljuknigi.ru

OmniScriptum Marketing DEU GmbH
Heinrich-Böcking-Str. 6-8
D - 66121 Saarbrücken
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNIScriptum



