

Солнечное отопление зданий при условии сокращения периода потребления традиционных ресурсов

Широкое освоение возобновляемых источников энергии становится всё более актуальным по причинам интенсивного потребления природных ресурсов, ухудшения экологической обстановки и постоянно растущих тарифов. При достаточном выборе в возможных способах альтернативного энергообеспечения солнечная радиация, как повсеместно доступный и неисчерпаемый источник, остаётся на лидирующих позициях как в области теплоснабжения, так и в электроснабжении зданий и сооружений.

В южных регионах Российской Федерации всё большую популярность приобретают установки солнечного горячего водоснабжения. Их часто используют для объектов сезонной эксплуатации, так как обеспечивается полная автономность в получении тепловой энергии. В то же время наблюдается постепенное увеличение количества гелиоустановок севернее, особенно в тех районах, где здания лишены централизованного теплоснабжения в летние месяцы. Это происходит не только в связи с постоянным повышением тарифов на энергоносители и активной пропагандой возобновляемых источников СМИ, но и в результате уже имеющегося достаточно обширного опыта успешной эксплуатации систем солнеч-

ного горячего водоснабжения в южных регионах и средней полосе России [1].

Но, несмотря на неуклонный рост количества функционирующих гелиоустановок, показатели замещения в общем энергобалансе, безусловно, остаются на крайне низком уровне. Поэтому для расширения области применения рассмотрим перспективы утилизации солнечной энергии для систем отопления зданий, расположенных в трёх климатических зонах, которые охватывают большую часть территории РФ.

Для возможности сравнения результатов расчётов и вывода удельных показателей примем базовый вариант планировки одноэтажного жилого дома, изображённого на рис. 1. Размеры здания позволяют получить для конкретных регионов удельное количество солнечных коллекторов, требуемых для отопления 100 м² площади пола помещений.

Установки солнечного горячего водоснабжения всё чаще используют для объектов сезонной эксплуатации, так как обеспечивается полная автономность в получении тепловой энергии

УДК 697.7

Солнечное отопление зданий. Основы проектирования при условии сокращения периода потребления традиционных ресурсов

Т. В. Шукина, к.т.н., доцент, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства ФГБОУ ВО «Воронежского государственного технического университета» (г. Воронеж); **Р. С. Шевченко**, магистр, инженер 1-й категории филиала ПАО «Квадра» — «Воронежская генерация»

Рассматривается возможность использования солнечной энергии для отопления зданий в трёх климатических зонах, охватывающих большую часть территории РФ. Приводятся основные принципы инженерного расчёта активных систем солнечного теплоснабжения, сокращающих как период потребления традиционных ресурсов, так и их количество за отопительный сезон. Получена для шести регионов удельная величина солнечных коллекторов, необходимая для отопления помещений общей площадью пола 100 м². При проектировании зданий данный показатель позволяет выполнить предварительную оценку дополнительных расходов на гелиосистему.

Ключевые слова: активные солнечные системы отопления, расчёт требуемого количества коллекторов.

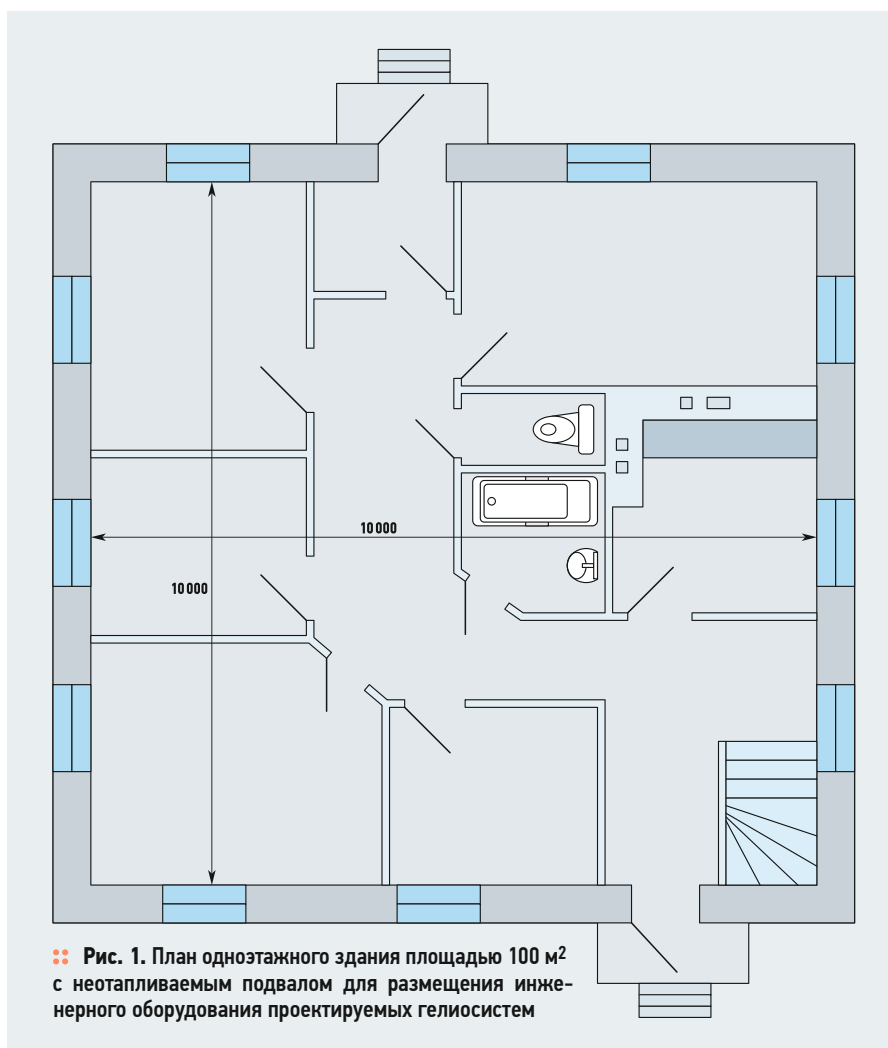
UDC 697.7

Solar heating of buildings. Basics of design, provided that the period of consumption of traditional resources is reduced

T. V. Shchukina, PhD, Associate Professor, Professor at the Department Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University; **R. S. Shevchenko**, master, engineer of the 1st category of the Branch of the public company "Quadra" — "Voronezh Generation"

The possibility of using solar energy for heating buildings in three climatic zones occupying most of the territory of the Russian Federation is considered. The main principles of engineering calculation of active systems of solar heat supply, reducing both the period of consumption of resources, and their number for the heating season are given. The specific gravity of the solar collectors is obtained for six regions, which is necessary for heating the premises with a total floor area of 100 m². When designing buildings, this level allows you to perform a preliminary assessment of additional costs for the solar system.

Keywords: active solar heating systems, calculation of the required number of collectors.



Выполненные в соответствии со строительными нормами и правилами [2, 3] расчёты наружных ограждений и теплопотерь помещениями позволили определить нагрузку на системы отопления, в том числе и при среднемесячных температурах холодного периода года. Учитывая, что в большинстве регионов отопительный сезон, как правило, начинается в октябре, а заканчивается в апреле, следует для проектирования гелиосистемок предварительно сравнить актинометрические* данные этих двух месяцев и выбрать из них в качестве расчётного периода с преобладающим поступлением солнечной энергии. Так как интенсивность излучения в большинстве климатических зон РФ в апреле превышает актинометрические показатели октября, то расчёт требуемого оборудования необходимо выполнить при соблюдении условия полной компенсации теплопотерь здания посредством утилизирован-

ного излучения в последний месяц отопительного периода. Это позволит сократить срок потребления традиционных ресурсов на обогрев помещений на один-два месяца и снизить расход тепловой энергии за холодный период года, так как при ясной погоде потребуются лишь только догреть до необходимых параметров теплоноситель, поступающий от солнечных коллекторов.

Так как интенсивность излучения в большинстве климатических зон РФ в апреле превышает актинометрические показатели октября, то расчёт требуемого оборудования необходимо выполнить при соблюдении условия полной компенсации теплопотерь здания посредством утилизированного излучения в последний месяц отопительного периода. Это позволит сократить срок потребления традиционных ресурсов на обогрев помещений на один-два месяца

* Актинометрические наблюдения — наблюдения над интенсивностью солнечной радиации (прямой, рассеянной, суммарной), а также над эффективным излучением, радиационным балансом и альбедо, проводимые с помощью соответствующих приборов.

Выполнять подбор оборудования на актинометрические данные других месяцев нецелесообразно по причине возникновения избыточной теплоты в начале и в конце отопительного периода, для сохранения которой с целью последующего использования потребуются дорогостоящие сезонные аккумуляторы.

Определив нагрузку на систему отопления при среднемесячной температуре наружного воздуха в апреле, следует рассчитать суточное количество потребляемого тепла [МДж/сут.]. Используя актинометрические сведения несложно найти для климатических условий района строительства количество поступающей суммарной солнечной радиации на 1 м² горизонтальной поверхности в апреле $\bar{E}$ [МДж/(м²·день)] за один световой день и определить отношение диффузионной солнечной энергии к прямой $\bar{E}_d/\bar{E}$.

Массив коллекторов можно установить на крыше или на предварительно смонтированном основании, позволяющем расположить поглощающие поверхности с южной ориентацией и с азимутом $\alpha_n = 0$.

Тогда коэффициент пересчёта поступления прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на наклонную R_n при $\alpha_n = 0$ можно определить по данным [4] либо по формуле [4]:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega'_3)}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_3) + \sin(\varphi) \sin(\delta) \frac{\pi}{180} \omega_3} + \frac{\sin(\varphi - \beta) \sin(\delta) \frac{\pi}{180} \omega'_3}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_3) + \sin(\varphi) \sin(\delta) \frac{\pi}{180} \omega_3}, \quad (1)$$

где φ — широта местности, град; δ — склонение солнца, град; ω_3 и ω'_3 — часовые углы захода солнца на горизонтальной и наклонной поверхностях, град.

Отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающих на наклонную и горизонтальную поверхности, можно рассчитать по формуле [4]:

$$R = \left(1 - \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}}\right) R_n + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}} + \rho \frac{1 - \cos(\beta)}{2}, \quad (2)$$

где $\bar{E}_d/\bar{E}$ — отношение рассеянной солнечной энергии к прямой, поступающей на горизонтальную поверхность, МДж/(м²·день); β — угол наклона плоского солнечного коллектора к горизонту, принимаемый равным широте местности, град; ρ — коэффициент отражения для подстилающей поверхности Земли, который принимается для тёплого периода $\rho = 0,2$, в том числе и для расчётного в рассматриваемой задаче, а для холодного при наличии снежного покрова $\rho = 0,7$.

Полученное значение R позволит найти искомое среднемесячное дневное количество суммарной солнечной энергии [МДж/(м²·день)], поступающей на наклонную поверхность, по выражению:

$$\bar{E}_k = R \bar{E}. \quad (3)$$

Учитывая продолжительность светового дня расчётного периода, то есть в апреле, необходимо найти среднюю плотность потока солнечной радиации [Вт/м²], поступающей на остекление солнечного коллектора:

$$I_k = \frac{\bar{E}_k}{60(60n + m)}, \quad (4)$$

где n и m — продолжительность светового дня, соответственно, в часах и минутах.

Для определения потока полезной теплоты, уловленной и преобразованной в коллекторах, следует рассчитать их КПД для нескольких возможных температурных режимов по зависимости [5, 6]:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta t}{I_k} - k_2 \frac{\Delta t^2}{I_k}, \quad (5)$$

где Δt — перепад между средней температурой теплоносителя в коллекторе и температурой t_b окружающей среды $\Delta t = 0,5(t_{т.н} + t_{т.к}) - t_b$, °С, здесь $t_{т.н}$ и $t_{т.к}$ — температуры на входе и выходе из коллектора, °С; k_1 и k_2 — коэффициенты, характеризующие возможные потери теплоты в окружающую среду.

Для расчётов значения параметров в формуле (5) принимают равными [6]:

□ для плоских коллекторов $\eta_0 = 0,779$, $k_1 = 3,56$, $k_2 = 0,0146$;

□ для вакуумных коллекторов $\eta_0 = 0,7$, $k_1 = 1,33$, $k_2 = 0,0071$.

Из зависимости (5) следует, что чем больше разница температур, тем меньше действительный КПД устройств, поэтому гелиосистемы необходимо эксплуатировать в режимах, обеспечивающих $\Delta t < 40$ °С. Определив η для нескольких возможных температурных перепадов, целесообразно использовать среднее значение КПД, так как погодные условия часто меняются и могут не соответствовать прогнозируемым показателям.

Зная средний ориентировочный КПД, можно определить требуемую площадь коллекторов:

$$A_k^{тр} = \frac{Q_{н.и}}{\eta \bar{E}_k}, \quad (6)$$

где $Q_{н.и}$ — суточная нагрузка на систему отопления в расчётный период, МДж/(м²·сут.).

Для поставленной задачи поддержания температуры внутреннего воздуха в жилом доме посредством солнечной энергией выберем из широкого диапазо-

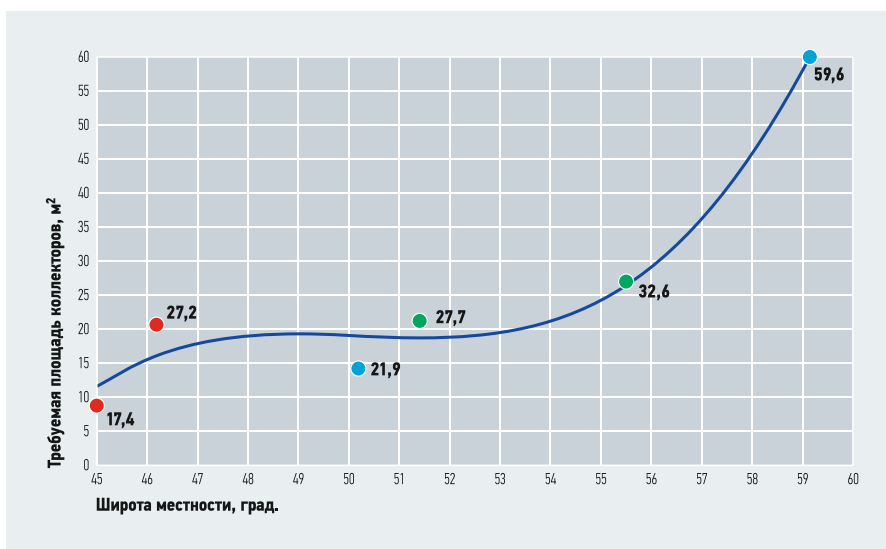


Рис. 2. Требуемая площадь коллекторов [для здания, расположенного в регионах: 1 — I-я климатическая зона — Астрахань (46,2° с.ш.), Краснодар (45° с.ш.); 2 — II-я климатическая зона — Воронеж (51,4° с.ш.), Москва (55,5° с.ш.); 3 — III-я климатическая зона — Благовещенск (50,2° с.ш.), Вологда (59,1° с.ш.)]

на, представленного на рынке оборудования, плоский коллектор российского производства «Сокол», который пользуется большой популярностью и имеет различные модификации в зависимости от мощности и эффективности. Качественное исполнение устройств и селективное покрытие абсорберов повышают конкурентоспособность выпускаемых серий, а низкая цена по сравнению с западноевропейскими аналогами делает привлекательным для российского потребителя.

Выбор именно плоских коллекторов в какой-то мере предопределён по следующим причинам. Они просты в эксплуатации и ремонте, что особенно важно для районов с обильными осадками, часто сопровождающимися выпадением града. Кроме того, вакуумные коллекторы со временем теряют свои высокие показатели КПД в результате постепенного заполнения воздухом.

Для компенсации неравномерности поступлений и хранения утилизированной солнечной энергии необходимо в проектируемых гелиосистемах предусматривать баки-аккумуляторы объёмом, рекомендуемым в [4, 5] в соотношении 0,05–0,1 м³ на 1 м² площади коллекторов.

Результаты расчётов, выполненные по зависимостям (1)–(6), показали (рис. 2), что в трёх климатических зонах потребуется для городов: Астрахань — 14 шт. коллекторов, Благовещенск — 11 шт., Вологда — 30 шт., Воронеж — 14 шт., Краснодар — 9 шт., Москва — 17 шт.

Следует отметить, что подбор оборудования на полное покрытие месячной нагрузки системы отопления в начале или конце отопительного периода позволяет

не только полностью отказаться в этот временной интервал от традиционных ресурсов, но и замещать их с достаточно высокими показателями при низких температурах наружного воздуха и ясных погодных условиях.

Отличительной особенностью от рекомендаций по проектированию [4, 5], где предварительно определяется коэффициент замещения традиционного источника, является подбор оборудования на среднемесячную нагрузку системы отопления в начале или конце отопительного периода, а затем при необходимости выполняется прогнозирование компенсации нагрузок посредством утилизированной солнечной энергией за весь сезон потребления. Это позволяет избежать генерации не востребованной избыточной теплоты, которая потребует значительных дополнительных средств для устройств длительной аккумуляции. ●

1. Руднева Н.А., Шукина Т.В., Калинина А.В., Соловьёв С.А. Особенности проектирования систем солнечного горячего водоснабжения для климатических условий РФ // Научн. вестник ВГАСУ: Серия «Высокие технологии. Экология», 2014. С. 107–110.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуал. ред. СНиП 23-02-2003. Минрегион России. — М.: ООО «Аналитик», 2012. 95 с.
3. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуал. ред. СНиП 23-01-99*. Минрегион России. — М.: ООО «Аналитик», 2012. 108 с.
4. Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканави А.Н. и др. Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Шиллера. В 3 ч. Ч. I. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
5. Даффни Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. — Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2013. 888 с.
6. Земсков В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК. — СПб.: Изд-во «Лань», 2014. 368 с.

References — see p. 95.

Solar heating of buildings. Basics of design, provided that the period of consumption of traditional resources is reduced. Pp. 58–60.

T. V. Shchukina, PhD, Associate Professor, Professor at the Department Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University (Voronezh city); **R. S. Shevchenko**, master, engineer of the 1st category of the Branch of the public company "Quadra" — "Voronezh Generation"

1. Rudneva N.A., Shchukina T.V., Kalinina A.V., Solov'jov S.A. *Osobennosti proektirovaniya sistem solnechnogo gorjachego vodosnabzheniya dlja klimaticheskikh uslovij RF* [Features of designing solar hot water supply systems for climatic conditions of the Russian Federation]. Voronezh. *Nauchn. vestnik VGASU. Serija "Vysokie tehnologii. Jekologija"* [Scientific Bulletin of the Voronezh State Technical University. Series "High technology. Ecology"]. 2014. Pp. 107–110.
2. *Svod Pravil* [Set of Rules] 50.13330.2012. *Teplovaja zashhita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. Aktual. red. SNiP [Updated version of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia)] 23-02–2003. *Minregion Rossii* [Ministry of Regional Development of Russia]. Moscow. "Analitik", Ltd. 2012. 95 p.
3. *Svod Pravil* [Set of Rules] 131.13330.2012. *Stroitel'naja klimatologija* [Building Climatology]. Aktual. red. SNiP [Updated version of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia)] 23-01–99*. *Minregion Rossii* [Ministry of Regional Development of Russia]. Moscow. "Analitik", Ltd. 2012. 108 p.
4. Bogoslovskij V.N., Krupnov B.A., Skanavi A.N. et. al. *Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie ustrojstva* [Internal Sanitary Equipment]. Edited by I.G. Staroverov and Ju.I. Shiller. V 3 ch. Ch. I. Izd. 4-e., pererab. i dop. [In three parts. Part I. 4th edition, rev. and exp.]. Moscow. "Strojizdat" Publishers. 1990. 344 p.
5. Daffini Dzh., Bekman U. *Osnovy solnechnoj teplojenergetiki* [Fundamentals of solar thermal power]. Dolgoprudnyj. ID "Intellect" ["Intellect" Publish House]. 2013. 888 p.
6. Zemskov V.I. *Vozobnovljaemye istochniki jenergii v APK* [Renewable energy sources in the agroindustrial complex]. Saint Petersburg. Izd-vo "Lan" ["Doe" Publishers]. 2014. 368 p.