МЕТОДИКА РАСЧЁТА СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ.

Зохирова Шахноза Муродиллаевна
Старший преподователь, Каршинский гос. Университет
E-mail: Zokhirova.sh@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена методика расчёта солнечных систем теплоснабжения круглогодичного режима работы. Определены основные параметры гелиосистемы, включая располагаемое количество солнечной энергии, тепловую нагрузку на отопление и горячее водоснабжение, площадь гелиополя и объём аккумулятора теплоты. Выполнена оценка энергетических, теплотехнических и технико-экономических показателей солнечной системы теплоснабжения. Определена годовая экономия органического топлива и приведён срок окупаемости системы.

Ключевые слова: солнечные системы теплоснабжения, гелиосистема, солнечная радиация, солнечные коллекторы, тепловая нагрузка, аккумулятор теплоты, экономия топлива, технико-экономическая эффективность, срок окупаемости.

Annotatsiya: Ushbu maqolada yil davomida ishlaydigan quyosh isitish tizimlari uchun hisoblash metodologiyasi ko‘rib chiqiladi. Quyosh tizimining asosiy parametrlari, jumladan, mavjud quyosh energiyasi, isitish va issiq suv ta’minoti uchun issiqlik yoki, quyosh maydoni yuzasi va issiqlik akkumulyatorining hajmi aniqlanadi. Quyosh isitish tizimining energiya, issiqlik muhandisligi va texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari baholanadi. Yillik qazilma yoqilg‘i tejash aniqlanadi va tizimning o‘zini oqlash muddati ko‘rsatiladi.

Kalit so‘zlar: quyosh isitish tizimlari, quyosh tizimi, quyosh radiatsiyasi, quyosh kollektorlari, issiqlik yuki, issiqlik akkumulyatori, yoqilo‘i tejash, texnik va iqtisodiy samaradorlik, o‘zini oqlash muddati.

Abstract: This article examines a calculation methodology for year-round solar heating systems. Key solar system parameters are determined, including the available solar energy, the heat load for heating and hot water supply, the solar field area, and the volume of the heat accumulator. The energy, thermal engineering, and technical and economic performance of the solar heating system are assessed. Annual fossil fuel savings are determined, and the system's payback period is presented.

Keywords: solar heating systems, solar system, solar radiation, solar collectors, heat load, heat accumulator, fuel savings, technical and economic efficiency, payback period.

Введение.

ISSN 3030-3907

В современных условиях роста потребления энергоресурсов и повышения их стоимости особую актуальность приобретает использование возобновляемых источников энергии в системах теплоснабжения. Одним из наиболее перспективных направлений является применение солнечных систем теплоснабжения, позволяющих снизить расход органического топлива, уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу и повысить энергетическую независимость объектов различного назначения.

Солнечные системы теплоснабжения широко используются для отопления и горячего водоснабжения зданий жилого, общественного и производственного назначения. Эффективность их работы в значительной степени определяется климатическими условиями, уровнем солнечной радиации, правильным выбором конструктивных и энергетических параметров гелиосистемы, а также режимом её эксплуатации. В связи с этим возникает необходимость выполнения, обоснованного теплотехнического и технико-экономического расчёта солнечных систем теплоснабжения.

Тепловой расчёт солнечных установок осложняется изменчивостью метеорологических факторов, таких как интенсивность солнечной радиации, температура наружного воздуха и продолжительность солнечного сияния. Поэтому на практике применяются укрупнённые методы расчёта, позволяющие с достаточной точностью определить основные параметры системы, включая площадь гелиополя, объём аккумулятора теплоты и ожидаемую годовую экономию топлива.

Целью настоящей работы является разработка и применение методики расчёта солнечной системы теплоснабжения круглогодичного действия, а также оценка её энергетической и технико-экономической эффективности. В ходе исследования определяются оптимальные параметры солнечных коллекторов, объём аккумулирующих устройств, капитальные и эксплуатационные затраты, а также срок окупаемости гелиосистемы по сравнению с традиционными системами теплоснабжения.

Литературный анализ. Проблемы использования солнечной энергии в системах теплоснабжения подробно рассмотрены в ряде научных и нормативных источников. В методическом руководстве В. В. Кириллова [1] приведены основы проектирования систем солнечного горячего водоснабжения сезонного режима, рассмотрены принципы выбора солнечных коллекторов, схемы включения и особенности эксплуатации гелиосистем. Автор подчёркивает значимость правильного определения тепловой нагрузки и параметров аккумулирующих устройств для обеспечения устойчивой работы системы.

ISSN 3030-3907

Справочник проектировщика под редакцией И. Г. Староверова [2] содержит обобщённые сведения по расчёту систем теплоснабжения и горячего водоснабжения зданий. В данном источнике приведены методики определения тепловых нагрузок, которые используются в том числе при проектировании солнечных систем теплоснабжения как дополнительных или автономных источников тепловой энергии.

Нормативный документ СНиП II-34-76 «Горячее водоснабжение» [3] устанавливает основные требования к проектированию систем ГВС, включая расчётные температуры, расходы воды и санитарно-технические нормы. Данный документ применяется при обосновании параметров солнечных систем горячего водоснабжения и их интеграции с традиционными источниками тепла.

Фундаментальные основы расчёта солнечных систем теплоснабжения представлены в работе У. Бекмана, С. Клейна и Дж. Даффи [4]. В книге изложены методы определения поступающей солнечной радиации, тепловой эффективности солнечных коллекторов и годовой выработки тепловой энергии. Данный источник широко используется при теплотехническом расчёте гелиосистем и оценке их энергетической эффективности.

В коллективной монографии «Системы солнечного тепло- и хладоснабжения» под редакцией Э. В. Сарнацкого и С. А. Чистовича [5] рассмотрены различные схемы солнечных установок, вопросы аккумулирования теплоты и особенности их применения в различных климатических условиях. Авторами отмечается, что эффективность солнечных систем существенно зависит от правильного выбора конструктивных и энергетических параметров.

В работе Н. В. Харченко [6] особое внимание уделено индивидуальным солнечным установкам для теплоснабжения и горячего водоснабжения. Рассматриваются практические аспекты проектирования и эксплуатации гелиосистем, а также их технико-экономические показатели. Подчёркивается, что использование солнечных установок позволяет снизить расход традиционных энергоресурсов и повысить энергоэффективность зданий.

Таким образом, анализ рассмотренных литературных источников показывает, что солнечные системы теплоснабжения являются технически и экономически обоснованным решением, однако их проектирование требует тщательного теплотехнического расчёта с учётом климатических условий, нормативных требований и режимов эксплуатации, что и определяет актуальность настоящего исследования.

ISSN 3030-3907

Материалы и методы. Расчет солнечных систем теплоснабжения (ССТ) [4] включает определение:

– располагаемого количества солнечной энергии;

– тепловой нагрузки отопления и горячего водоснабжения;

– энергетических и геометрических характеристик гелиосистемы;

– объема аккумулятора теплоты;

– годовой экономии топлива;

– технико-экономических показателей гелиосистемы.

Определение располагаемого количества солнечной энергии [4] производится по поступлению суммарного и рассеянного солнечного излучения на поверхность гелиоприемника.

Тепловой расчет солнечной установки с большой точностью затрудняется влиянием климатических фактов. Поэтому обычно используют укрупненные методы, которые позволяют определить основные параметры ССТ – площадь поверхности гелиополя, объем аккумулирующих устройств и расчетную годовую экономию топлива.

Систему теплоснабжения круглогодичного режима работы и, следовательно, величина тепловой нагрузки в зимний период будет превышать летний, то теплотехнический расчет гелиосистемы необходимо проводить для зимы.

Для обеспечения максимальной теплоотдачи солнечные коллекторы обычно устанавливают в наклонном положении с оптимальным углом наклона к горизонту. Расчет угла наклона солнечного коллектора проводится по формуле [1-4]:

$$\beta = \varphi \pm \delta_{\text{ср}} \qquad (1)$$

где φ– широта местности;

$\delta_{\text{ср}}$– средняя величина склонения солнца за рассматриваемый период.

$$\delta = 23{,}45 \cdot sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \qquad (2)$$

где n – порядковый номер дня года.

Интенсивность $Q_{пад.}$ падающей солнечной радиации на наклонную поверхность, ориентированную в южном направлении, можно определить по формуле [1-6]:

$$Q_{\text{пад}} = K_1 \cdot S + K_2 \cdot D + K_3 \cdot (S + D) \cdot \rho \qquad (3)$$

где S – интенсивность прямой падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность, МДж/м^2;

D – интенсивность диффузной падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность, МДж/м^2;

ρ– альбедо подстилающей поверхности;

ISSN 3030-3907

K_1, K_2, K_3 – коэффициенты корреляции.

$$K_2 = cos^2 \frac{m}{2} \quad (4)$$

$$K_3 = sin^2 \frac{m}{2} \quad (5)$$

Коэффициент K_1 зависит от широты местности, угла наклона СК и времени года.

Результаты и обсуждение.

Зная расчетную тепловую нагрузку потребителя $Q^{год}$ и количество приходящей солнечной радиации $Q_{пад}$. (МДж/м^2), можно определить площадь гелиополя $F_{г.п.}$, необходимое количество NСК, объем бака аккумулятора $V_{БА}$:

$$F_{\text{г.п}} = \frac{Q^{\text{год}}}{Q_{\text{пад}} \cdot \eta_{СК}} \quad (6)$$

$$N = \frac{F_{\text{г.п}}}{F_{СК}} \quad (7)$$

$$V_{\text{БА}} = 0{,}07 F_{\text{г.п}}$$

где $\eta_{СК}$–среднесезонный КПД СК, η=0,5;

N–количество солнечных коллекторов, шт;

$F_{СК}$– площадь одного СК, м^2.

Капитальные затраты на гелиосистему теплоснабжения определяют по формуле:

$$K_{\text{г.с}} = C_{СК} \cdot F_{\text{г.с}} + C_{ВО} + C_{\text{БА}} \cdot V_{\text{БА}} \quad (8)$$

где $C_{СК}$ – удельная стоимость СК, сум;

$C_{ВО}$ – удельная стоимость вспомогательного оборудования, трубопроводов, регулирующей арматуры; системы КИП и А и т.п., сум;

$C_{БА}$ – удельная стоимость БА, сум.

Эксплуатационные затраты на гелиосистему $Э_{г.с.}$ состоят из ежегодных расходов на ремонт и обслуживание оборудования [1-4]:

$$Э_{\text{г.с}} = Э_{т.р} \quad (9)$$

где $Э_{т.р.}$ – годовые затраты на ремонт и обслуживание оборудования.

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$П_{\text{г.с}} = Е_{\text{н}} \cdot К_{\text{г.с}} + Э_{\text{г.с}} \quad (10)$$

Годовая экономия органического топлива $B_Э^m$ [5] и материальных затрат $З_{эн}^m$ на него при эксплуатации гелиосистемы производится по формулам:

$$B_Э^m = \frac{f \cdot Q^{л}}{Q_П^{-p} \cdot \eta_П^{-p}} \quad (11)$$

$$З_{эн}^m = \left(З_{зам.эн}^m + З_{уд.э}^{mp}\right) \cdot B_Э^m \quad (12)$$

где f – коэффициент замещения.

ISSN 3030-3907

Для решения вопроса об экономичности рассматриваемых вариантов необходимо сравнить капитальные и эксплуатационные расходы при помощи срока окупаемости, определяемого формулой:

$$T_{OK} = \frac{K_{г.с} - K_{т.с}}{И_{т.с} - И_{г.с}} \quad (13)$$

где $K_{г.с.}$ – капиталовложения при варианте с использованием гелиосистемы, сум;

$K_{т.с.}$ – капиталовложения при варианте с использованием традиционной системы теплоснабжения, сум;

$И_{т.с.}$ – суммарные годовые расходы при варианте с использованием традиционной системы теплоснабжения, сум;

$И_{г.с.}$ –суммарные годовые расходы при варианте с использованием гелиосистемы, сум [1-5].

Расчёт солнечной системы теплоснабжения выполнен на основе ориентировочных климатических и теплотехнических данных, характерных для районов со средней и высокой солнечной активностью. Рассматриваемая система предназначена для теплоснабжения здания в круглогодичном режиме эксплуатации.

Среднегодовое значение суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, принято равным

$$S + D \approx 1500 \text{ МДж/м}^2.$$

С учётом оптимального угла наклона солнечных коллекторов и их ориентации в южном направлении расчётное значение солнечной радиации, падающей на наклонную поверхность, составило

$$Q_{пад} \approx 1700–1800 \text{ МДж/м}^2 \text{ в год.}$$

Годовая тепловая нагрузка системы отопления и горячего водоснабжения принята равной

$$Q_{год} \approx 80–90 \text{ ГДж.}$$

При среднесезонном коэффициенте полезного действия солнечных коллекторов $\eta_{СК} = 0,5$ расчётная площадь гелиополя составила порядка

$$F_{г.п} \approx 90–105 \text{ м}^2.$$

При использовании солнечных коллекторов с площадью одного модуля $F_{СК} \approx 2,0$ м² ориентировочное количество коллекторов составило $N \approx 45–52$ шт. Объём бака-аккумулятора теплоты, определённый по укрупнённой зависимости, составил $V_{БА} \approx 6,0–7,5$ м³.

Капитальные затраты на солнечную систему теплоснабжения были определены ориентировочно с учётом стоимости солнечных коллекторов, аккумулирующего бака и вспомогательного оборудования. Эксплуатационные затраты в течение года приняты минимальными и

ISSN 3030-3907

включают расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования.

Годовая экономия органического топлива при коэффициенте замещения f ≈ 0,5–0,6 составила порядка 2,0–3,0 т условного топлива в год. Это свидетельствует о существенном снижении потребления традиционных энергоресурсов и уменьшении эксплуатационных затрат.

Выводы. В работе рассмотрена укрупнённая методика расчёта солнечной системы теплоснабжения круглогодичного действия на основе ориентировочных климатических данных. Определены основные параметры гелиосистемы, включая площадь гелиополя и объём бака-аккумулятора теплоты. Показано, что при среднесезонном КПД солнечных коллекторов около 0,5 применение солнечной системы теплоснабжения обеспечивает экономию органического топлива на уровне 2,0–3,0 т условного топлива в год. Ориентировочный срок окупаемости гелиосистемы составляет 7–10 лет.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования солнечных систем теплоснабжения в регионах с достаточным уровнем солнечной радиации и могут быть использованы на стадии предпроектных расчётов.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов В.В. Система солнечного горячего водоснабжения сезонного режима: Методическое руководство к курсовому проекту. Бишкек: КРСУ, 2011. 28 с.
2. Староверов И.Г. Справочник проектировщика. М., 1990.
3. СНиП 11-34-76 Горячее водоснабжение.
4. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения// Пер.с англ.М.: Энергоиздат, 1982.
5. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения// Под ред. Э.В.Сарнацкого, С.А. Чистовича. М.: Стройиздат, 1990.
6. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991.

ISSN 3030-3907