

Практическое занятие №2. Расчет солнечных коллекторов

Цель работы: изучить методику расчета прихода солнечной радиации, солнечных коллекторов, теплообменников..

Принадлежности: персональный компьютер с доступом к сети Интернет, ПО Microsoft Word, раздаточный материал.

Краткие теоретические сведения

Расчет прихода солнечной радиации

Метод расчета средних для каждого месяца дневных приходов радиации на наклонную поверхность разработан Лю и Джорданом и принят в Российской Федерации как нормативный. Среднемесячный дневной приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность равен:

$$\bar{H}_n \equiv \bar{R}, \quad (15)$$

где $\bar{H}_n$ – среднемесячный дневной приход радиации на горизонтальную поверхность; $\bar{R}_n$ – отношение среднемесячных дневных приходов суммарной радиации на наклонную и горизонтальную поверхности:

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \bar{R}_b + \frac{H_d}{H} \cdot \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos s}{2}, \quad (16)$$

где H_d – среднемесячный дневной приход диффузной радиации на горизонтальную поверхность; $\bar{R}_b$ – отношение среднемесячных приходов прямой радиации на наклонную и горизонтальную поверхности; s – угол наклона коллектора к горизонту; ρ – отражательная способность земли.

В «Справочнике по основным вопросам ASHRAE» (1972) предложена следующая формула для расчета поступающей солнечной радиации:

$$I_t = I_D + I_d \quad (17)$$

где I_t – общая солнечная радиация, Вт/м², на облучаемой поверхности; I_D – прямая солнечная радиация, Вт/м², на облучаемой поверхности, $I_D = K I_{Dn}$; I_{Dn} – прямая солнечная радиация для поверхности, нормально расположенной

к солнечным лучам, Вт/м², облучаемой поверхности; I_d – рассеянная солнечная радиация, Вт/м², облучаемой поверхности; K – косинус угла падения солнечных лучей.

«Справочник по климату» рекомендует для расчетов интенсивности потока падающей солнечной радиации использовать следующую формулу:

$$q_t = P_s I_s + P_D I_D, \quad (18)$$

где q_t – интенсивность потока; I_s – плотность потока прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, Вт/м²; I_D – плотность потока диффузной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, Вт/м²; P_s , P_D – коэффициенты положения солнечного коллектора для прямой и рассеянной радиации соответственно. Коэффициенты положения коллектора определяют по формулам:

$$P_D = \cos^2 \beta / 2, \quad (19)$$

$$P_s = \frac{\cos i}{\sin h}, \quad (20)$$

где β – угол наклона солнечного коллектора к горизонту; i – угол падения солнечных лучей на поверхность коллектора; h – угол высоты солнца над горизонтом.

Кроме приведенных здесь трех способов расчета прихода солнечной радиации существует довольно большое количество их модификаций. Они базируются, в основном, на различном подходе к исходным данным. Так, в одних из них за базисные принимают среднемесячные суммы прихода прямой и рассеянной радиации, в других – значения поступившей радиации вычисляют путем сложения средних часовых значений в каждый день месяца.

Все способы расчета дают примерно равнозначные результаты. Более точные результаты дают методы с почасовым расчетом сумм радиации, однако вследствие нестабильности поступления солнечной энергии точности методов расчета прихода солнечной радиации с использованием среднемесячных значений вполне достаточно для практических расчетов.

Расчет солнечных коллекторов

Для испытаний солнечных коллекторов часто используют методику Национального бюро стандартов США. Полезная энергия, отводимая из коллектора, Вт, определяется выражением:

$$Q_{\text{и}} = F_R A [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)], \quad (21)$$

где F_R – коэффициент отвода тепла из коллектора; A – площадь коллектора, м²; I_T – плотность потока суммарной солнечной радиации в плоскости коллектора, Вт/м²; τ – пропускательная способность прозрачных покрытий по отношению к солнечному излучению; α – поглощательная способность пластины коллектора по отношению к солнечному излучению; U_L – полный коэффициент тепловых потерь коллектора, Вт/(м²К); T_i – температура жидкости на входе в коллектор, °С; T_a – температура окружающей среды, °С.

По результатам испытаний определяется эффективность коллектора:

$$\eta = \frac{Q_{\text{и}}}{AI_T} \quad (22)$$

Б. Андерсон определяет мощность солнечного излучения H_a , достигающего теплоприемника в солнечном коллекторе, как:

$$H_a = (0,96)I_{\text{тв}}, \quad (23)$$

где I – общее количество солнечной энергии, попадающей на солнечный коллектор, Вт/м²; τ – величина пропускательной способности прозрачных покрытий; α – величина поглощательной способности теплоприемника.

Удельная мощность солнечного водонагревателя может быть определена по формуле, полученной на основе данных работы:

$$Q = qc_p B [P_s \theta_s I_s + P_D \theta_D I_D / U + T_0 - T_{\text{вх}}], \quad (24)$$

где q – удельный расход теплоносителя, кг/м²с; c_p – изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кгК); I_s – плотность потока прямой солнечной радиации, Вт/м²; I_D – плотность потока диффузной солнечной радиации, Вт/м²; $T_{\text{вх}}$ – температура теплоносителя на входе в солнечный

коллектор, °C; T_0 – температура окружающей среды, °C; U – приведенный коэффициент теплопередачи солнечного коллектора,

Вт/м²К; P_s, P_D – коэффициенты положения солнечного коллектора для прямой и рассеянной радиации соответственно; θ_s, θ_D – приведенные оптические характеристики солнечного водонагревателя соответственно для прямой и диффузной радиации. Величина B в формуле (24) определяется зависимостью

$$B = e^{\frac{-U}{q_{c_p}}}, \quad (25)$$

В нормативном методе расчета плоских коллекторов солнечной энергии их мгновенный КПД определяется по формуле

$$\eta_k = \eta_0 - \frac{K_k}{I_k}(T_{\text{тн}} - T_{\text{в}}), \quad (25)$$

где K_k – эффективный коэффициент теплопотерь коллектора, Вт/(м²К); $T_{\text{в}}$ – температура наружного воздуха, °C; η_0 – эффективный оптический КПД солнечного коллектора; $T_{\text{тн}}$ – температура теплоносителя при входе в солнечный коллектор, °C; I_k – плотность суммарного потока солнечной радиации, поступающей на поверхность коллектора солнечной энергии, Вт/м².

Мгновенное количество полезной энергии, даваемой коллектором, Вт, равно:

$$Q_k = F_k[I_k\eta_0 - K_k(T_{\text{тн}} - T_{\text{в}})] = m_k c_p F_k(T_{\text{тк}} - T_{\text{тн}}), \quad (26)$$

где F_k – площадь поверхности солнечного коллектора, м²; I_k – плотность суммарного потока солнечной радиации, поступающей на поверхность коллектора солнечной энергии, Вт/м²; η_0 – эффективный оптический КПД солнечного коллектора; K_k – эффективный коэффициент теплопотерь коллектора, Вт/(м²К); $T_{\text{тн}}$ – температура теплоносителя при входе в солнечный коллектор, °C; $T_{\text{в}}$ – температура наружного воздуха, °C; m_k – удельный массовый расход теплоносителя в солнечном коллекторе, кг/(м²/с); c_p – удельная изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кгК).

Среднемесячная удельная суточная производительность плоского солнечного коллектора, МДж/(м²день),

$$q_k = E_k \Phi \eta_0, \quad (27)$$

где E_k – среднемесячное поступление солнечной энергии на поверхность гелиоприемника за день, МДж/(м²день); Φ – среднемесячная величина степени использования солнечной энергии в плоском солнечном коллекторе.

Анализ расчета характеристик коллектора приведенными способами показал, как их аналогичность (различия касаются принятия в качестве исходных данных различных конструктивных элементов солнечного коллектора), так и ограниченность их применения в условиях Восточной Сибири. В частности, натурные испытания коллектора показали его значительно меньшее восприятие рассеянной солнечной радиации, чем в приведенных методах. Для применения метода в местных климатических условиях необходима его адаптация.

Расчет теплообменников и баков-аккумуляторов

В системах солнечного теплоснабжения применяют как проточные, так и емкостные теплообменники.

Расчет теплообменников, включенных в установки солнечного теплоснабжения, выполняют по известным зависимостям, в т. ч. по выражениям, определяющим понятие эффективности теплообменника (ϵ – NTU-метод):

$$\frac{W_T (T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}})}{W_{\min} (T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}})} = \frac{W_B (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}})}{W_{\min} (T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}})} = \epsilon_{\text{ТО}}, \quad (28)$$

$$\epsilon_{\text{ТО}} = \frac{1 - e^{-NTU(1-R)}}{1 - R e^{-NTU(1-R)}}, \quad (29)$$

где $\epsilon_{\text{ТО}}$ – эффективность теплообменника; W_T, W_B – водяные эквиваленты расходов теплоносителя и воды; $R = W_{\min}/W_{\max}$ – отношение минимального и максимального из двух водяных эквивалентов расходов теплоносителя и подогреваемой среды, проходящих через теплообменник; NTU – число

единиц переноса тепла (T – температура, U – приведенный коэффициент теплопередачи).

Трудность расчета теплообменников при проектировании установок солнечного теплоснабжения связана с тем, что они работают при переменных температурах, а часто и непостоянных расходах теплоносителей. Поэтому для практических расчетов можно использовать упрощенные зависимости для определения необходимых площадей теплообмена:

$$F_{\text{то}} = \frac{G_{\text{ср}} (T_{\text{гв}} - T_{\text{хв}})}{3600 \tau \Delta T k}, \quad (30)$$

где $G_{\text{ср}}$ – количество воды, нагреваемой за период работы установки, кг; τ – продолжительность суточного цикла работы установки, ч; ΔT – средний температурный напор в теплообменнике, °C; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²K). $F_{\text{то}}$ – площадь поверхности нагрева, м²; $T_{\text{гв}}, T_{\text{хв}}$ – температуры горячей и холодной воды.

Тепловой расчет баков-аккумуляторов выполняют по балансовым уравнениям.

Алгоритм выполнения задания:

1. Изучить лекционный и раздаточный материал.
2. Определить КПД солнечного коллектора. В качестве теплоносителя используется вода, размеры коллектора 2×2 м, угол поворота к горизонту 70°. Температура окружающей среды 30°, температура воды на входе 60 °C. Расход воды в коллекторе 0,02 кг/с. Коэффициент теплоотдачи к теплоносителю 1550 Вт/м²·K, коэффициент пропускания покрытия солнечного коллектора 0,9, коэффициент поглощения поверхности соединительной пластины 0,9. Доля диффузионного излучения от полного солнечного излучения 0,25.
3. Определить КПД солнечного коллектора. В качестве теплоносителя используется вода, размеры коллектора 1×2 м, угол поворота к горизонту 60°. Температура окружающей среды 35°, температура воды на входе 70 °C. Расход воды в коллекторе 0,01 кг/с. Остальные данные, как в задаче 1.

4. Рассчитать теплообменник для солнечного коллектора из задачи 1. Продолжительность суточной работы установки 12 часов, температурный напор в теплообменнике 40 °С.

5. Рассчитать теплообменник для солнечного коллектора из задачи 2. Продолжительность суточной работы установки 12 часов, температурный напор в теплообменнике 40 °С.

3. Сформировать и предоставить отчет по практическому занятию. Выполненное практическое занятие должно быть оформлено в электронном виде (с расширением *.doc/docx).

Отчет по практическому занятию содержит

Название работы

Цель

Алгоритм работы

Исходные данные

Результаты работы
