



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНСОЛЯЦИОННЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ БЕЗ РЕФЛЕКТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Дусяров А.С.

Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан

Аннотация: В статье приводится расчет и анализ рассмотрена тепловой эффективности светопрозрачной стены (инсоляционных пассивных систем солнечного отопления) в здании с системой прямого солнечного обогрева(инсоляцией) через остекление (светопрозрачной стены) и сглаживания суточного хода температуры воздушной среды, отапливаемого с помощью инсоляционной пассивной системы солнечного отопления.

Ключевые слова: Солнечный обогрев, потери теплоты, солнечная радиация, гелиоприемник, отопительная система, пассивная система солнечного отопления, инсоляция, эффективность, аккумулятор тепла.

NURLANISH REFLEKTORLARISIZ IZOLASYON PASSIV QUYOSH ISITISH TIZIMLARINING SAMARALILIGINI ANIQLASH

Dusyarov A.S.

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada shisha (shaffof devor) orqali to'g'ri quyosh isitish (insolyatsiya) tizimiga ega binoning shaffof oynalari (insolyatsion passiv quyosh isitish tizimlari)ning issiqlik samaradorligini hisoblash va tahliliy ifodalash ko'rib chiqilgan bo'lib, havo insolyatsiyon passiv quyosh tizimi isitish yordamida isitiladi.

Kalit so'zlar: Quyoshli isitish, issiqlik yo'qotish, quyosh radiatsiyasi, quyosh qabul qiluvchi, isitish tizimi, passiv quyosh isitish tizimi, insolyatsiya, samaradorlik, issiqlik akkumulyatori.

DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF INSOLATION PASSIVE SOLAR HEATING SYSTEMS WITHOUT RADIATION REFLECTORS

Dusyarov A.S.

Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan

Abstract: The article discusses the calculation and analytical expressions of the thermal efficiency of their translucent wall (insolation passive solar heating systems) in a building with a system of direct solar heating (insolation) through glazing (translucent wall) and smoothing the daily variation of air temperature heated using an insolation passive solar system heating.

Keywords: Solar heating, heat loss, solar radiation, solar receiver, heating system, passive solar heating, insolation, efficiency, heat accumulator.

Введение. В последнее время в европейских странах, особенно в ФРГ, “подсветка” помещений плоскими рефлекторами (зеркалами) солнечного излучения, установленными снаружи здания под его оконными проемами, рассматривается как один из путей экономии электрической энергии (для освещения). Наряду с этим считается, что она может найти практическое применение в инсоляционных пассивных системах солнечного отопления с краткосрочными аккумуляторами тепла. Такие тепловые системы будут включать два





основных элемента – внутрикомнатный отопительный прибор, представляющий собой совмещенный емкий коллектор солнечного излучения и аккумулятора тепла, устанавливаемый внутри комнаты, возле оконного проема, и шарнирно соединенный с его нижней частью рефлектор, устанавливаемый снаружи под оконным проемом, с возможностью дискретного изменения угла наклона относительно проема.

Преимуществом пассивных систем солнечного отопления рассматриваемого типа является то, что преобразование энергии солнечного излучения в тепловую происходит внутри отапливаемых помещений, т.е. после поступления солнечного излучения в помещение через светопроемы [1]. Следовательно, тепловые потери с поверхности совмещенного коллектора-аккумулятора системы, установленного около вертикального светопроема с внутренней стороны, конвекцией и излучением (составляющие до 50% падающего излучения) передаются в отапливаемое помещение как полезная энергия. По этим соображениям тепловая эффективность таких систем в принципе может оказаться более высокой, чем у традиционных пассивных систем солнечного отопления, в которых коллектор солнечной энергии и совмещенный с ним аккумулятор тепла расположены снаружи здания [2].

Материалы и методы. Источниками тепловой энергии в инсоляционных пассивных системах рассматриваемого типа являются непосредственно входящие в отапливаемое помещение через его вертикальный ориентированный на юг светопроем суммарное (прямое и рассеянное) солнечное излучение $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{\Sigma}$ и входящее в него через этот же проем прямое солнечное излучение, отраженное от зеркальной поверхности шарнирно соединенного с его нижней частью плоского солнечного рефлектора $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e \text{omp}}}^{\Sigma}$.

В связи с этим закономерность формирования тепловой эффективности рассматриваемых систем солнечного отопления целесообразно изучить отдельно для каждого из указанных источников.

Принцип действия традиционных инсоляционных пассивных систем солнечного отопления, в которых отсутствуют рефлекторы излучения, как следует из названия, основан на непосредственных поступлениях суммарного (прямого и рассеянного) солнечного излучения в отапливаемые помещения через их вертикальные ориентированные на юг светопроемы [3]. Если тепловые потери через светопроем отнести к общим теплопотерям отапливаемого помещения, тепловая эффективность инсоляционных пассивных систем солнечного отопления рассматриваемого типа (η) [4] может быть представлена как отношение потока суммарного солнечного излучения, прошедшего через светопроем в отапливаемое помещение $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{\Sigma}$, к потоку суммарного солнечного излучения, падающего к площади фронтальной поверхности рассматриваемого светопроема $Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{\Sigma}$, т.е.

$$\eta_1 = \frac{Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{\Sigma}}{Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{\Sigma}}. \quad (1)$$

Значения $Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{\Sigma}$ и $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{\Sigma}$ в отношении (3.1), как правило, складываются из прямой ($Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{np}$, $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{np}$), рассеянной ($Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^p$, $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^p$) и отраженной от окружающих предметов ($Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{omp}$, $Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{omp}$) составляющих, т.е.

$$Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{\Sigma} = Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{np} + Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^p + Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{omp}; \quad (2)$$

$$Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{\Sigma} = Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{np} + Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^p + Q_{\Sigma_{\text{вх}_e}}^{omp}. \quad (3)$$

С учетом вертикальности расположения светопроема, имеющего площадь фронтальной поверхности F_n , выражения для определения $Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{np}$, $Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^p$ и $Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{omp}$ могут быть записаны в виде [5]

$$Q_{\Sigma_{\text{над}_e}}^{np} = F_n q_{\perp} \cos i_e, \quad (4)$$

$$Q_{nao_s}^p = 0,5F_n q_{nao_s}^p, \quad (5)$$

$$Q_{nao_s}^{omp} = 0,5F_n \rho (q_{\perp} \cos i_z + q_{nao_s}^p), \quad (6)$$

где ρ - интегральный коэффициент отражения суммарного солнечного излучения от окружающих предметов; q_{\perp} - поверхностная плотность потока прямого солнечного излучения на нормальную к солнечным лучам плоскость; i_z - угол падения прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность; i_s - угол падения прямого солнечного излучения на вертикальную поверхность; $q_{nao_s}^p$ - поверхностная плотность потока рассеянного солнечного излучения на горизонтальную поверхность.

Значения $Q_{ex_s}^{np}$, $Q_{ex_s}^p$ и $Q_{ex_s}^{omp}$ в (3) с учетом коэффициента вхождения прямого ($\tau_{ex_s}^{np}$), рассеянного и отраженного ($\tau_{ex_s}^p$) солнечного излучения через светопроем, могут быть определены из выражений

$$Q_{ex_s}^{np} = \tau_{ex_s}^{np} \cdot Q_{nao_s}^{np} = \tau_{ex_s}^{np} \cdot F_n q_{\perp} \cos i_s; \quad (7)$$

$$Q_{ex_s}^p = \tau_{ex_s}^p \cdot Q_{nao_s}^p = \tau_{ex_s}^p \cdot 0,5 \cdot F_n q_{nao_s}^p; \quad (8)$$

$$Q_{ex_s}^{omp} = \tau_{ex_s}^p \cdot Q_{nao_s}^{omp} = \tau_{ex_s}^{pac} 0,5F_n \rho (q_{\perp} \cos i_z + q_{nao_s}^{pac}). \quad (9)$$

Подставляя выражения (4) – (6) в (2) и (7) – (9) в (3), а затем полученное в отношение (1) с соответствующим учетом (2) и (3), т.е.

$$\eta_1 = \frac{Q_{ex_s}^{\Sigma}}{Q_{nao_s}^{\Sigma}} = \frac{Q_{ex_s}^{np} + Q_{ex_s}^p + Q_{ex_s}^{omp}}{Q_{nao_s}^{np} + Q_{nao_s}^p + Q_{nao_s}^{omp}}, \quad (10)$$

имеем

$$\eta_1 = \frac{\tau_{ex_s}^{np} \cdot F_n q_{\perp} \cos i_s + \tau_{ex_s}^p \cdot 0,5 \cdot F_n q_{nao_s}^p + \tau_{ex_s}^{pac} 0,5F_n \rho (q_{\perp} \cos i_z + q_{nao_s}^{pac})}{F_n q_{\perp} \cos i_s + 0,5F_n q_{nao_s}^{pac} + 0,5F_n \rho (q_{\perp} \cos i_z + q_{nao_s}^{pac})}, \quad (11)$$

или

$$\eta_1 = \frac{(\tau_{ex_s}^{np} \cdot \cos i_s + 0,5 \cdot \tau_{ex_s}^p \rho \cos i_z) q_{\perp} + 0,5 \cdot \tau_{ex_s}^{pac} (1 + \rho) q_{nao_s}^{pac}}{(\cos i_s + 0,5 \rho \cos i_z) q_{\perp} + 0,5(1 + \rho) q_{nao_s}^p}. \quad (12)$$

Значения $\cos i_s$ и $\cos i_z$ в (12) для светопроема, строго ориентированного на юг определяются из выражений

$$\cos i_s = \cos \delta \sin \varphi \cos \omega(\tau_o - \tau) - \sin \delta \cos \varphi; \quad (13)$$

$$\cos i_z = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega(\tau_o - \tau) + \sin \delta \sin \varphi. \quad (14)$$

Приведем пример расчета по определению дневного хода тепловой эффективности инсоляционной пассивной системы солнечного отопления для экспериментального объекта [6,7]. Светопроем рассматриваемого объекта, общей площадью фронтальной поверхности 2,17 м², состоит из двухслойного оконного стекла общей толщиной 8 мм с воздушной прослойкой между собой 15 мм в одном переплете.

Значения $\tau_{ex_s}^{np}$ и $\tau_{ex_s}^p$ в (12) в общем определим из выражений [3]

$$\tau_{ex_s}^{np} = \tau_{nn}^{np} + \tau_n^{np} \tau_c^{np} - 1; \quad (15)$$

$$\tau_{ex_s}^p = \tau_{nn}^{pac} + \tau_n^{pac} \tau_c^p - 1, \quad (16)$$

где τ_{nn}^{np} и τ_n^{np} - соответственно, коэффициенты светопропускания переплета светопроема для прямого и рассеянного солнечного излучения (согласно результатам непосредственных измерений $\tau_{nn}^{np} \approx \tau_n^{np} = 0,96$); τ_n^{np} и τ_n^p - соответственно, коэффициенты светопропускания слоя пыли и грязи на поверхностях остекления светопроема для прямого и рассеянного солнечного излучения (как правило, $\tau_n^{np} = \tau_n^p$ и в расчетах принято 0,95); τ_c^{np} и τ_c^p -



соответственно, коэффициенты светопропускания вертикального, ориентированного на юг проема, состоящего из двух слоев оконного стекла, для прямого и рассеянного солнечного излучения.

Значение τ_c^{np} в (15) для двухслойного остекления определяли из выражения

$$\tau_c^{np} = \frac{(1 - \rho_c)^4 e^{-\frac{2k\delta}{\cos r}}}{\left(1 - \rho_c^2 e^{-\frac{2k\delta}{\cos r}}\right)^2}, \quad (17)$$

где

$$\rho_c = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(r_g - i_g)}{\sin^2(r_g + i_g)} + \frac{\operatorname{tg}^2(r_g - i_g)}{\operatorname{tg}^2(r_g + i_g)} \right] \quad (18)$$

- коэффициент отражения прямого солнечного излучения от поверхности стекла вертикально расположенного светопроема; r_g - угол преломления прямого солнечного излучения в стекле вертикально расположенного светопроема при прохождении через него; k - коэффициент ослабления прямого солнечного излучения в стекле при прохождении через него; δ - толщина одного слоя стекольного покрытия светопроема.

Значение r_g в (18) определяется из формулы Снеллиуса

$$\frac{\sin i_g}{\sin r_g} = n, \quad (19)$$

откуда

$$r_g = \arcsin\left(\frac{\sin i_g}{n}\right), \quad (20)$$

где n - коэффициент преломления излучения оконного стекла относительно воздуха.

Значение τ_c^{pac} в (16) в соответствии с [8] определяется из формулы

$$\tau_c^p = \frac{\tau_{c_{i=20^\circ}}^{np} + \tau_{c_{i=45^\circ}}^{np} + \tau_{c_{i=70^\circ}}^{np}}{3}, \quad (21)$$

где $\tau_{c_{i=20^\circ}}^{np}$, $\tau_{c_{i=45^\circ}}^{np}$ и $\tau_{c_{i=70^\circ}}^{np}$ - коэффициенты пропускания двухслойного оконного стекла общей толщиной 2δ для прямого солнечного излучения при углах падения $20,45$ и 70° , соответственно.

Результаты и обсуждения. При выполнении расчетов значение коэффициента отражения суммарного солнечного излучения от окружающих предметов, например от поверхности грунта, (ρ) в (12) принято $0,30$, а значения q_\perp и $q_{nad,z}^{pac}$ приняты согласно многолетним актинометрическим данным [9].

Как следует из результатов расчетов, значения η для рассматриваемого типа пассивной системы солнечного отопления довольно высоки (до $0,680$) и в течение дня относительно стабильны.

Среднедневные значения тепловой эффективности пассивных систем солнечного отопления рассматриваемого типа определим из отношения

$$\bar{\eta}_1^{\partial n} = \frac{\sum_{i=0}^n [q_\perp (\tau_{\alpha x_g}^{np} \cdot \cos i_g + 0,5 \cdot \tau_{\alpha x_g}^p \rho \cos i_z) + 0,5 \cdot q_{nad,z}^{pac} \cdot \tau_{\alpha x_g}^p (1 + \rho)]}{\sum_{i=1}^n [q_\perp (\cos i_g + 0,5 \rho \cos i_z) + 0,5 q_{nad,z}^p (1 + \rho)]}. \quad (22)$$

Результаты расчетов по определению дневного хода η при $k=0,18 \frac{1}{\text{м}}$; $\delta=0,004$ м и $n=1,52$ для экспериментального объекта с инсоляционной пассивной системой солнечного отопления, расположенного на гелиоплощадке Каршинского государственного университета, для отдельных дней отопительного периода приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов по определению дневного хода η для экспериментального объекта с ИПССО

Дата	Часы светового дня, τ					
	12	11,13	10,14	9,15	8,16	7,17
20.XI	0,680	0,680	0,680	0,661	0,611	0,518
30.XI	0,680	0,680	0,680	0,663	0,621	0,531
9.XII	0,680	0,680	0,680	0,666	0,630	0,540
21.XII	0,680	0,680	0,680	0,666	0,630	0,540
31.XII	0,680	0,680	0,680	0,666	0,630	0,540
10.I	0,680	0,680	0,680	0,663	0,621	0,54
20.I	0,680	0,680	0,680	0,6615	0,617	0,5175
30.I	0,680	0,680	0,673	0,657	0,594	0,504
9.II	0,680	0,680	0,666	0,648	0,585	0,470
19.II	0,680	0,670	0,666	0,630	0,55	0,440
1.III	0,666	0,677	0,650	0,620	0,500	0,370
11.III	0,666	0,657	0,630	0,576	0,470	0,315
21.III	0,640	0,640	0,610	0,540	0,440	0,220

Результаты расчетов по определению $\bar{\eta}_1^{\text{дн}}$ для рассматриваемого экспериментального объекта приведены в табл. 2 .

Таблица 2

Результаты расчетов по определению $\bar{\eta}_1^{\text{дн}}$ для рассматриваемого экспериментального объекта

Дата	$\bar{\eta}_1^{\text{дн}}$
20.XI	0,6665
30.XI	0,6657
9.XII	0,6664
21.XII	0,6667
31.XII	0,6664
10.I	0,6658
20.I	0,6635
30.I	0,6597
9.II	0,6551
19.II	0,6466
1.III	0,6438
11.III	0,6234
21.III	0,6088

Заключение.

Из анализа полученных результатов (табл. 2) следует, что максимальное значение $\bar{\eta}_1^{\text{дн}}$ наблюдается 21.XII, т.е. в день минимального солнцестояния, когда в полдень высота Солнца над горизонтом составляет $27,7^\circ$. К концу отопительного сезона (21.III), когда высота Солнца в полдень составляет $51,2^\circ$, значение $\bar{\eta}_1^{\text{дн}}$ снижается до 0,6088. Из приведенных в табл.1 и 2 результатов видно, что тепловая эффективность инсоляционных пассивных систем



существенно (более, чем в 2 раза) выше, чем у рефлекторных пассивных систем [1], и поэтому она может стать доминирующей при формировании коэффициента замещения топлива инсоляционных пассивных систем солнечного отопления, снабженных плоскими рефлекторами излучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дусяров А.С., Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. Дневной ход тепловой эффективности пассивных систем солнечного отопления, снабженных плоскими рефлекторами. // Гелиотехника, 2001. –№3. –С.60-65.
2. Дусяров А.С., Авезов Р.Р., Захидов Р.А., Клычев Ш.И. Тепловая эффективность солнечной “подсветки” помещений плоскими рефлекторами // Гелиотехника, 2000. –№2. –С.68-74.
3. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. Ташкент: Фан, 1988 г.-288с.
4. Дусяров А.С. Тепловая эффективность инсоляционных пассивных систем солнечного отопления // Гелиотехника, 2001. –№4. –С.32-36.
5. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. –М.: Мир, 1977. –420с.
6. Дусяров А.С., Авезов Р.Р. Оптимальный угол наклона к горизонту трансформируемого рефлектора пассивных систем солнечного отопления // Гелиотехника, 2000. –№1. –Ст. 60-63.
7. Дусяров А.С., Авезов Р.Р. Температурный режим помещения с рефлекторной пассивной системой солнечного отопления и аккумулятором тепла // Гелиотехника, 2000. –№4. –С.50-54.
8. Вейнберг В.Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии. -М.: Оборонгиз, 1964. 224 с.
9. Справочник по климату. Вып.19. Часть 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Л.: Гидрометиздат, 1966. –76 с.