

УДК 662.472:536.24

## ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСОЛЯЦИОННЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Дусяров Акмал Саъдуллоевич

к.т.н., доцент кафедры «Альтернативные источники энергии» Кар.ИЭИ.

*Статье рассмотрена, исследование теплотехнических параметров инсоляционных пассивных систем солнечного отопления. Приведено расчетная выражения тепловой эффективности их светопрозрачной стены в здание с системой прямого солнечного обогрева через остекление и сглаживания суточного хода температуры воздушной среды отапливаемого с помощью инсоляционной пассивной системы солнечного отопления с краткосрочным аккумуляторов дневного излишка солнечного тепла, совмещенным с приемниками солнечного излучения и внутрикомнатным отопительным прибором, расположенных внутри помещения около светопроема.*

**Ключевые слова:** *солнечное излучение, светопроем, рефлектор излучения, краткосрочный аккумулятор тепла, солнечное отопление, инсоляционные пассивные системы, тепловая эффективность, отапливаемое помещение.*

## ИНСОЛЯЦИОН ПАССИВ ҚУЁШ ИСИТИШ ТИЗИМЛАРИНИНГ ИССИҚЛИК ТЕХНИК КЎРСАТКИЧЛАРИНИ АСОСЛАШ

*Мақолада инсоляцион пассив қуёшли иситиш тизимларининг иссиқлик техник кўрсаткичлари ва илмий тадқиқотларнинг ҳолати таҳлил этилган. Ишлаб чиқилган тизимлар ва уларнинг иссиқлик техникавий ҳисоби*

услугларининг афзаллик ва камчиликлари кўрсатиб берилган. Мазкур тундаги қуёшли иситиш тизимлари бўйича бажарилган ҳисобий – назарий тадқиқотларнинг мақсадлари асосан уларнинг иссиқлик самарадорлигини тизимнинг алоҳида унсурлари иссиқлик техникавий параметрларининг оптималлаштирилиши даражасини ҳисобга олмаган ҳолда тақрибий баҳолашга йўналтирилган.

**Таянч сўзлар:** қуёш нурланиши, шаффоф тўсиқ, нур қайтаргич, қисқа муддатли иссиқлик жамлагич, қуёшли иситиш, инсоляцион пассив тизимлар, иссиқлик самарадорлиги, иситиладиган уй.

## FUNDAMENTAL OF THERMAL PARAMETERS OF INSOLATION PASSIVE SOLAR HEATING SYSTEMS

*The article is considered, the calculated study of heat and power parameters of insolation passive solar heating systems. Calculated expressions are given for the thermal efficiency of their translucent wall in a building with a direct solar heating system through glazing and smoothing the daily temperature variation of the air environment heated using an insolation passive solar heating system with short-term accumulators of daily surplus solar heat, combined with solar radiation receivers and an indoor heating device, located inside the room near the light opening.*

**Key words:** solar radiation, window, reflector of radiation, short-term accumulator of heat, solar heating, insulation passive system, thermal efficiency, heating building.

Разработка и натурные исследование теплотехнического режима объектов с инсоляционными пассивными системами солнечного отопления выполнены значительное число работ по их расчетному исследованию. Такие исследование по математического моделирования компонентов солнечного отопления с пассивными системами приведены в литературных источников. Исследователи

ограничивались лишь выполнением ориентировочных расчетов по определению теплотехнического режима помещений с инсоляционными пассивными системами солнечного отопления [1,2].

Основные показатели выше изложенных систем солнечного отопления является тепловая эффективность светопрозрачной стены.

Преимуществом 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. 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. Тепловая эффективность таких систем 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.

Для определения тепловой эффективности светопрозрачной стены используется выражение [3]

$$\eta_{cc} = \tau_{ccp} - \frac{K_{mn}^{co}}{\sum q_{над,в}^{c.c}} (t_{on} - t_{oc}). \quad (1)$$

Коэффициент пропускания суммарной солнечной радиации светопрозрачной стены вертикального расположения  $\tau_{ccp}$  в соответствии с [3] определяется из выражения

$$\tau_{ccp} = \frac{\tau_{ncp} q_{в}^{над.пр} + \tau_{pcp} (q_{в}^{над.р} + q_{в}^{над.отп})}{q_{в}^{над.пр} + q_{в}^{над.р} + q_{в}^{над.отп}}, \quad (2)$$

$\tau_{ncp}$  - коэффициент пропускания прямой солнечной радиации,  $\tau_{pcp}$  - коэффициент пропускания рассеянной солнечной радиации;  $q_{в}^{над.пр}$  - плотности потока прямой

солнечной радиации,  $q_e^{nad.p}$  - плотности потока рассеянной солнечной радиации и  $q_e^{nad.omr}$  - плотности потоков отраженной солнечной радиации.

$\tau_{ncp}$  зависит от  $i$  (угл падения луча) прямой солнечной радиации, значение  $\tau_{pcp}$  мало зависит от значения  $i$ .

Методы расчета  $\tau_{ncp}$  и  $\tau_{pcp}$  рассмотрена в [4, 5].

Методика расчета значений  $q_e^{nad.nr}$ ,  $q_e^{nad.p}$  и  $q_e^{nad.omr}$  изложены в [6].

$K_{mn}^{co}$  -коэффициент тепловых потерь светопрозрачного ограждения, которая зависит от количества слоев светопрозрачного ограждения и коэффициентов теплообмена между наружной и внутренней поверхностях светопрозрачного ограждения а также коэффициента теплопередачи через воздушную прослойку, между слоями светопрозрачного ограждения. Сколько минимальна значения  $K_{mn}^{co}$ , столько максимальна значения  $\eta_{cc}$ . Наша задача установления критического значения толщины воздушной прослойки, между двумя слоями светопрозрачного ограждения ( $\delta_{вн,co}$ ).

Для определения значения  $\delta_{вн,co}$  двухслойного светопрозрачного ограждения используется выражение

$$\delta_{вн,co} = 1,99 \gamma H^{0,25} \left( \frac{T_{cp,в} a_{cp,в} \nu_{cp,в}}{t_{on} - t_{oc}} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

$H$  - высота ограждения;  $t_{on}$  и  $t_{oc}$  - температуры отапливаемого помещения и окружающей среды;  $T_{cp,в}$  - среднее значение абсолютной температуры воздуха в воздушной прослойке светопрозрачного ограждения;  $a_{cp,в}$ ,  $\nu_{cp,в}$  - коэффициенты температуропроводности и кинематической вязкости воздуха в воздушной прослойке светопрозрачного ограждения;  $\gamma$  - коэффициент пропорциональности, который зависит от коэффициентов теплообмена между наружной и внутренней поверхностях светопрозрачного ограждения[7].

В инсоляционных пассивных системах солнечного отопления применение плоских рефлекторов позволяет увеличить плотность потока прямой солнечной

радиации, падающей на поверхность светопрозрачного ограждения [8,9,10]. Экспериментальных объектах плоский рефлектор в дневное время приводится в горизонтальное положение но отсутствует информация о выборе такого расположения рефлектора. Результаты расчетов показывают что экспериментальные измерения, проведенных нами с 5 декабря по 10 января при низком стоянии Солнца, эффект применения плоского рефлектора снижается за счет уменьшения прямой солнечной радиации, а также за счет не полного освещения фронтальной поверхности светопроема отраженной от зеркальной поверхности рефлектора прямой солнечной радиации.

Эффективность применения плоского рефлектора, в инсоляционных пассивных системах солнечного отопления зависит от угла падения прямого солнечного излучения, отраженного от поверхности рефлектора, на поверхность светопроема ( $i_{cn}$ ). В работах предложено выражение для определения значения  $i_{cn}$

$$i_{cn} = \arccos v_x, \quad (4)$$

здесь  $v_x$  - по оси  $x$  составляющий единичного вектора  $v$ , которая определяется с помощью уравнения зеркального отражения, т.е.

$$v = c - 2n(c \cdot n), \quad (5)$$

где  $c$  и  $n$  – единичные векторы солнечного луча и нормали рефлектора[11, 12].

Уравнение (4) можно написать следующем виде

$$v_x = -\cos \delta \sin \varphi \cos \omega(\tau_o - \tau) - 2 \sin \alpha \cos i_{\text{зпр}}^{\text{ncu}} - \sin \delta \cos \varphi, \quad (6)$$

$\delta$  - склонение Солнца;  $\varphi$  - широта местности;  $\tau_o$  - истинный полдень;  $\tau$  - текущее время на сутки;  $\omega = 1,5 \frac{\text{град}}{\text{час}}$  - угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси;

$$\cos i_{\text{зпр}}^{\text{ncu}} = \cos \delta \cos(\varphi - \alpha) \cos \omega(\tau_o - \tau) + \sin \delta \sin(\varphi - \alpha) \quad (7)$$

где  $\cos i_{\text{зпр}}^{\text{ncu}}$  - угол падения прямого солнечного излучения на поверхность рефлектора;  $\alpha$  - угол наклона поверхности плоского рефлектора к горизонту.

При горизонтальном расположении плоского рефлектора ( $\alpha = 0$ ), выражение (6) и (7) принимают вид для расчета угла падения прямого солнечного излучения соответственно на вертикальную и горизонтальную поверхности.

Основная сущность применения краткосрочных аккумуляторов тепла в инсоляционных пассивных системах солнечного отопления заключается в сглаживании суточного хода температуры воздушной среды отапливаемого помещения и, тем самым в устранении теплового дискомфорта в нем в дневное время.

Температурный режим аккумуляторов дневного излишка солнечного тепла, совмещенных с приемниками солнечного излучения и внутрикомнатным отопительным прибором, расположенных внутри помещения около светопроема в инсоляционной пассивной системы солнечного отопления является, как правило, зависит от объема аккумулирующей среды, приведенного к единице площади лучепоглощающей поверхности рассматриваемого аккумулятора.

Наряду с этим, как показывают результаты анализа и обобщения опыта и эксплуатации жилых объектов с солнечными системами отопления, даже незначительное аккумулирование дневного излишка тепла солнечного излучения может существенно повысить коэффициент замещения тепловой нагрузки на отопление рассматриваемых систем. Вместе с тем, неоправданное увеличение емкости аккумулятора тепла не дает заметного роста коэффициента замещения тепловой нагрузки системы. Поэтому одной из центральных задач разработки новых и усовершенствования действующих инсоляционных пассивных систем солнечного отопления являются оптимизация удельной теплоемкости и изучение нестационарных температурных режимов их краткосрочных аккумуляторов тепла.

Сущность применения краткосрочного (суточного) аккумулятора теплоты в инсоляционных пассивных системах солнечного отопления с плоскими рефлекторами как уже констатировано выше, заключается в рациональном

использовании дневного излишка, преобразованного в тепло солнечного излучения в ночные часы.

В работах отсутствует соответствующее обоснование по выбору значения удельного объема аккумулирующей среды  $v_B$  воды (которая удельная теплоемкость составляет  $c_B=4,1868\text{кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) к единице площади приемника (аккумулятора) солнечного излучения, равного  $746,9\text{ л/м}^2$ .

В таких значениях удельного объема аккумулирующей среды (воды), дневное значение потока поглощенной суммарной солнечной радиации  $\Sigma q_{\text{пog}}$  лучепоглощающей поверхности рассматриваемого аккумулятора составляет  $13600\text{ кДж/м}^2$ .

Тогда используя вышеизложенных данных можно определить значение ежедневного приращения температуры аккумулирующей среды, воды (когда не учитываются тепловые потери в нем),

$$\Delta t = \frac{\Sigma q_{\text{пog}} \cdot \frac{13600\text{ кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}}{v_B \cdot c_B \cdot \frac{746,9\text{ кг}}{\text{м}^2} \cdot \frac{4,1868\text{ кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}} = 4,35 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{день}}.$$

Значит, результат показывает что для повышения температуры воды в аккумуляторе к началу отопительного сезона, на  $4,35$  выше, чем температура воздушной среды отапливаемого помещения, требуется  $10$  суток. Если учитываем тепловые потери аккумулирующей среды, воды, этот срок может составлять до  $30$  суток. Видно что, параметры аккумулирующей среды, воды, использованного в [8], фактически ближе показателю сезонных аккумуляторов тепла солнечного излучения. В таком случае такая солнечная система отопления (инсоляционная пассивная система солнечного отопления) покрывает от  $75$  до  $90\%$  годовой отопительной нагрузки.

### Выводы

В статье приведено расчетно-теоретические и теплотехнические параметры исследования инсоляционных пассивных систем солнечного

отопления в основном направлены на приближенную оценку их тепловой эффективности без учета степени оптимизированности теплотехнических параметров их отдельных элементов.

Анализ и обобщения мирового опыта эксплуатации объектов с инсоляционными пассивными системами солнечного отопления позволяют сделать предположение о возможности применения систем солнечного отопления рассматриваемого типа в климатических условиях центральноазиатских республик при условиях соответствующих (конструктивных) совершенствований и устранения указанных известных недостатков, сохранив при этом все перечисленные их преимущества.

### Литература

1. Авезов Р.Р., Дусяров А.С. Интегральный коэффициент отражения прямого солнечного излучения плоского рефлектора с тыльным отражающим слоем // Гелиотехника, 2004. –№3. –С .47-49.
2. Алимов А.К., Гунер Е.А. Защита прозрачными лаками наружной стороны зеркальных facets // Гелиотехника, 1986. –№3. –С.47-49.
3. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения.- Ташкент: Фан, 1988.-288с.
4. Anderson B.N., Michael G.J. Passive Solar Design. “Annual Review of Energy”. 1978. v. 3. pp.57-100.
5. Газиев У.Х., Саттарова З.С., Дыскин В.Г. Зеркала для гелиотехники и оптического приборостроения // Гелиотехника, 1997. –№2. –С.57-61.
6. Симон А. Потери энергии за счет поглощения и отражения в гелиостате и параболическом отражателе солнечной печи. / В кн.: Солнечные высокотемпературные печи. Сб. перев. под ред. В.А.Баума. –М.: 1960. –С.264-271.

7. Дусяров А.С., Авезов Р.Р., Авезова Н.Р. Расчет освещаемой части поверхности вертикального светопроема рефлекторных пассивных систем солнечного отопления. // Гелиотехника, 2001. –№2. –С.30-38.
8. Сабади П.Р. Солнечный дом. -М.: Стройиздат, 1985. -113с.
9. Мхитарян М.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. -Киев: Наукова Думка, 2000. -417с.
10. Бабакулов К.Б. Совмещенная пассивная система солнечного отопления и горячего водоснабжения жилого дома: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.- Ашхабад, 1986.-20с.
11. 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.
12. Дусяров А.С., Авезов Р.Р. Температурный режим помещения с рефлекторной пассивной системой солнечного отопления и аккумулятором тепла // Гелиотехника, 2000. –№4. –С.50-54.