

УДК 621.427

А.Н. Одинцов, доцент, канд. техн. наук*Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 99053, Украина**E-mail: peot@sevgtu.sebastopol.ua***ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ**

Анализируется возможность использования вертикально расположенных настенных солнечных коллекторов для обогрева и предотвращения избыточной инсоляции помещений.

Ограниченность объемов ископаемых видов топлива, прежде всего нефти и газа, на формирование которых природе потребовались миллионы лет, а также постоянное возрастание их стоимости побуждают потребителей искать источники альтернативной и экологически чистой энергии. Сегодня проблема энергетической безопасности актуальна для многих стран, в том числе и для Украины, не обладающей значительными запасами нефти и газа, но имеющей с точки зрения возможности использования солнечной энергии достаточно выгодное географическое расположение.

В XX веке, особенно в периоды энергетических кризисов, разрабатывалось множество проектов по созданию экологически чистых домов, потребляющих минимальное количество электричества, газа и других видов энергии. Минимальная стоимость подобных проектов обычно колеблется от нескольких сотен до миллионов долларов, поскольку требует проведения специальных проектных работ, применения специфических дорогостоящих материалов и технологий, позволяющих свести к минимуму различные тепловые потери, утилизировать тепло от внутренних источников, а также обеспечивающих возможность использования природных источников энергии – солнца, ветра и т.д. Комплексная модернизация существующих жилых и производственных помещений по их оснащению энергосберегающими системами и устройствами связана с целым рядом проблем и зачастую, на практике, технически невозможна или экономически не целесообразна.

Целью работы является оценка величины плотности потока солнечной радиации, приходящейся на вертикально ориентированные поверхности, обоснование возможности применения воздушных одноконтурных коллекторов для обогрева помещений в зимний и предотвращения избыточной инсоляции в летний периоды года.

На рисунке 1 изображен обобщенный круговорот энергии (в тераваттах, $1 \text{ ТВт} = 10^{12} \text{ Вт}$) на поверхности земного шара, из которого видно, что он состоит из трех основных составляющих: солнечного излучения, теплового потока изнутри Земли и энергии морских приливов.

Как видно из рисунка 1, почти половина (47%) потока солнечного излучения достигает поверхности земли, вызывая ее нагревание, и уже затем, вместе с внутренними тепловыми потоками земли и энергией приливов в длинноволновом диапазоне излучается обратно в космос. Поэтому именно

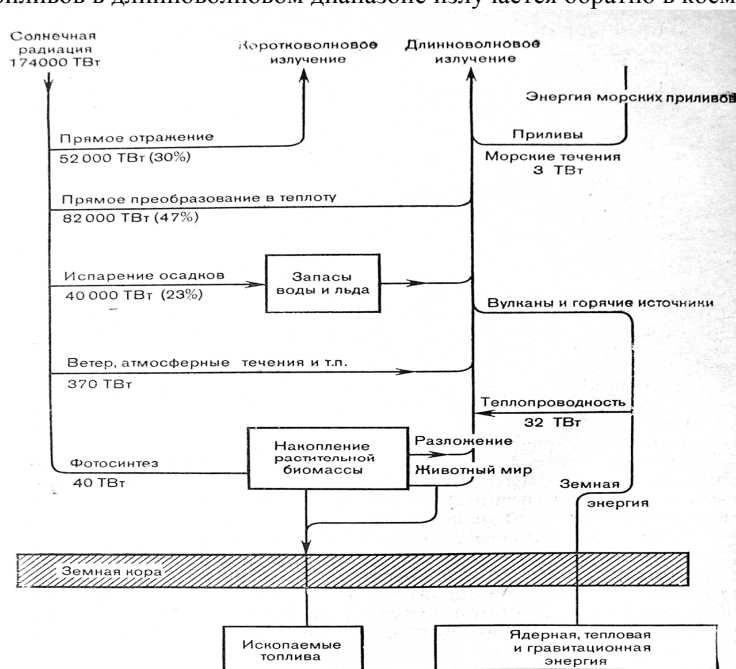


Рисунок 1 – Круговорот энергии на земном шаре [1]

доля солнечного излучения, достигающая поверхности земли, представляет наибольший интерес для практического использования.

Как известно, величина плотности потока солнечной радиации за пределами атмосферы Земли почти постоянна и составляет $I_{sc} = 1353 \text{ Вт/м}^2$. При прохождении через атмосферу изменяется качественный и количественный состав солнечной радиации, так как атмосфера не является абсолютно прозрачной: часть радиации рассеивается, а часть – поглощается. На рисунке 2 приведены кривые распределения интенсивности солнечной энергии оптической части спектра до, и после прохождения атмосферы [2].

Из рисунка 2 видно, что до и после прохождения атмосферы основная доля излучения приходится на диапазон видимых и ИК-лучей (46+52 %), поэтому нагрев всех тел на поверхности земли происходит в основном в результате их совместного действия. После прохождения атмосферы интегральная плотность потока солнечного излучения уменьшается на 53 % (рисунки 1 и 2). Поэтому можно предположить, что максимальная плотность потока прямой солнечной радиации на поверхности земли ($I_{пов.з}$) не будет превышать 640 Вт/м^2 , что подтверждается с результатами натурных измерений [3].

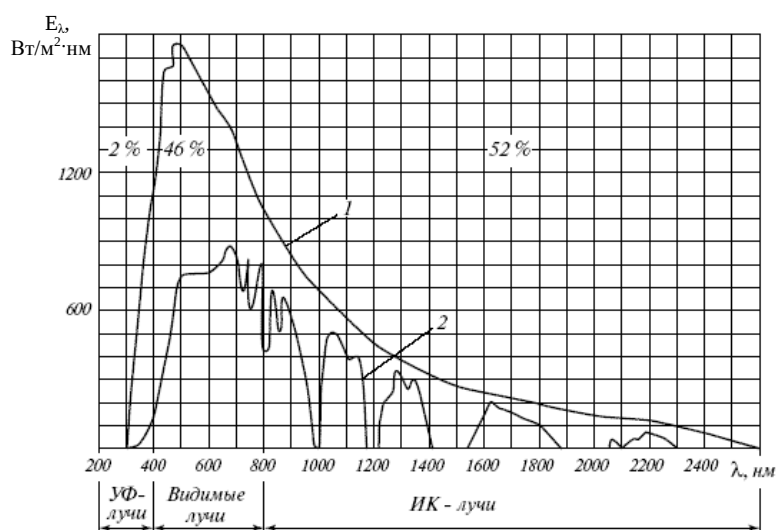


Рисунок 2 – Спектральное распределение энергии солнечного излучения в оптической части спектра [2]: 1 – в космосе, 2 – после прохождения атмосферы Земли.

На сегодняшний день разработаны и внедрены различные системы, позволяющие прямо или косвенно использовать энергию солнца. Из них можно выделить три основных направления: получение электрической энергии, нагревание воды для бытовых и технических целей, нагрев воздуха.

Давая численную оценку коэффициента использования солнечного излучения в той или иной системе необходимо, прежде всего, учитывать поставленную перед ней цель. Например, если система предназначена для преобразования солнечного излучения непосредственно в электрическую энергию, то средний КПД равный 10...15 % считается вполне приемлемым. Достижение коэффициента использования 40-60 % в двухконтурных гелиоколлекторах с принудительной циркуляцией теплоносителя, оснащенных системой оптимальной ориентации по отношению к солнцу также считается высоким технологическим показателем [3]. Однако, при существующей на сегодняшний день минимальной удельной стоимости одного квадратного метра стационарных гелио систем ($\approx 150 \text{ долл./м}^2$) [2] они, как и фотоэлектрические преобразователи, имеют достаточно низкую экономическую эффективность, поскольку срок их окупаемости составляет около 15...25 лет.

Анализ рабочих параметров гелиосистем различных типов [3] показывает, что наибольшей эффективностью обладают простые одноконтурные системы, в которых энергия солнечного излучения «напрямую» используется для нагревания воды или воздуха. Теоретически, коэффициент использования солнечного излучения в таких устройствах может достигать 90 %. Однако, из-за непостоянства поступления солнечной радиации в течение дня, а также зависимости ее величины от времени года (рисунок 3) подобные устройства, как правило, требуют введения в систему теплового аккумулятора.

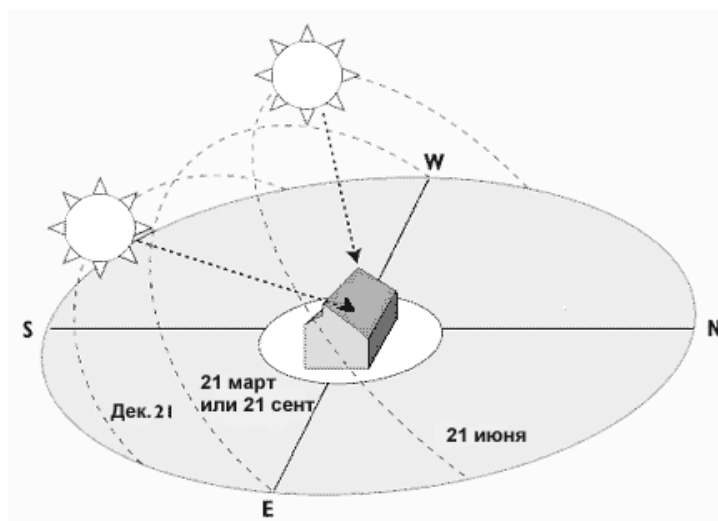


Рисунок 3 – Схема изменения углового положения солнца в зимний и летний периоды года

Количество солнечной радиации поглощаемой любым телом существенно зависит от двух основных факторов: пространственной ориентации поверхности по отношению к падающему на нее излучению и степени ее «черноты». В большинстве литературных источников, как правило, приводятся результаты измерений суммарных (часовых, суточных или годовых) величин прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность или наклоненную под определенным углом, «оптимальным» для заданной широты местности.

В нашем случае целесообразно построить математическую модель и выполнить сравнительную оценку изменения величины теплового потока прямой солнечной радиации, приходящейся на фиксированную горизонтальную и вертикальную поверхности в различные периоды года. Наибольший практический интерес представляет оценка удельных тепловых потоков в наиболее длинный и короткий световой день года, а так же в дни равноденствия (рисунок 3).

Для определения угла падения прямого солнечного излучения θ на произвольно ориентированную поверхность в любое светлое время суток, с учетом широты местности, можно воспользоваться известным выражением из источника [3]:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos s - \sin \delta \cos \varphi \sin s \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos s \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin s \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin s \sin \gamma \sin \omega \quad (1)$$

Здесь δ – склонение, т.е. угловое положение солнца в полдень относительно плоскости экватора; φ – широта местности; s – угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной поверхностью; γ – азимутальный угол плоскости, т.е. отклонение нормали к плоскости от местного меридиана; ω – часовой угол, равный нулю в солнечный полдень (каждый час соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными, а после полудня – отрицательными).

Склонение δ можно определить по приближенной формуле Купера [3]

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

где, n – порядковый номер дня года.

Для упрощения математической модели введем ряд ограничений: в качестве теплопоглощающих поверхностей будем рассматривать участки единичной площади; степень «черноты» их поверхности близка к 1 и «не зависит» от угла падения излучения; нормаль вертикально ориентированной поверхности направлена на юг; рассматриваемый временной интервал 8 часов (9 точек фиксации в начале каждого часа (4 часа до и 4 после полудня), что соответствует азимутальному углу $\gamma = 120^\circ$); широта местности 45° с.ш. – Крым, (Севастополь расположен на 44° с.ш.); оценка проводится для погодных условий – ясно.

Расчет выполнен с помощью Excel, результаты которого приведены в таблице 1.

Анализ результатов расчета, приведенных в таблице 1, показывает, что зимой в светлое время суток на вертикально ориентированные поверхности солнечной радиации поступает от 2,5 до 14 раз больше, чем на горизонтальные участки. Графическая интерпретация результатов расчета показана на рисунке 4, из которого видно, что, например, для условий Крыма величины уровней потоков солнечной

радиации, приходящиеся на горизонтальную и вертикальную поверхности в дни зимнего и летнего солнцестояния диаметрально противоположны, а в дни весеннего (и осеннего) равноденствия практически совпадают между собой.

Таблица 1 – Расчетные значения уровней прямой солнечной радиации, приходящиеся на горизонтальную и вертикальную поверхности в различные периоды года, для 45° с.ш.

Дата/ время	Скло- нение солнца	Широта мест- ности	Пространственная ориентация поверхности					
			горизонтальная			вертикальная		
			cos угла падения излучения	Удельная плот- ность потока	Часовая сумма солнечной радиации	cos угла падения излу- чения	Удельная плот- ность потока	Часовая сумма солнечной радиации
	δ	φ	$\cos \theta$	Дж/(с м ²)	кДж/(м ² ч)	$\cos \theta$	Дж/(с м ²)	кДж/(м ² ч)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21 декабря								
8	-23,45	45	0,043	27	98	0,606	385	1387
9	-23,45	45	0,177	113	406	0,740	471	1695
10	-23,45	45	0,280	178	642	0,843	536	1931
11	-23,45	45	0,345	220	791	0,908	577	2079
12	-23,45	45	0,367	234	841	0,930	592	2130
13	-23,45	45	0,345	220	791	0,908	577	2079
14	-23,45	45	0,280	178	642	0,843	536	1931
15	-23,45	45	0,177	113	406	0,740	471	1695
16	-23,45	45	0,043	27	98	0,606	385	1387
21 марта								
8	-0,40	45	0,349	222	798	0,359	228	821
9	-0,40	45	0,495	315	1134	0,505	321	1156
10	-0,40	45	0,607	386	1391	0,617	393	1414
11	-0,40	45	0,678	431	1553	0,688	438	1575
12	-0,40	45	0,702	447	1608	0,712	453	1631
13	-0,40	45	0,678	431	1553	0,688	438	1575
14	-0,40	45	0,607	386	1391	0,617	393	1414
15	-0,40	45	0,495	315	1134	0,505	321	1156
16	-0,40	45	0,349	222	798	0,359	228	821
21 июня								
8	23,45	45	0,606	385	1387	0,043	27	98
9	23,45	45	0,740	471	1695	0,177	113	406
10	23,45	45	0,843	536	1931	0,280	178	642
11	23,45	45	0,908	577	2079	0,345	220	791
12	23,45	45	0,930	592	2130	0,367	234	841
13	23,45	45	0,908	577	2079	0,345	220	791
14	23,45	45	0,843	536	1931	0,280	178	642
15	23,45	45	0,740	471	1695	0,177	113	406
16	23,45	45	0,606	385	1387	0,043	27	98

Таким образом, выполненные теоретические расчеты показывают, что стационарные солнечные коллекторы расположенные горизонтально (или почти горизонтально), например, на плоских крышах (рисунок 3), в зимний период года фактически не функционируют.

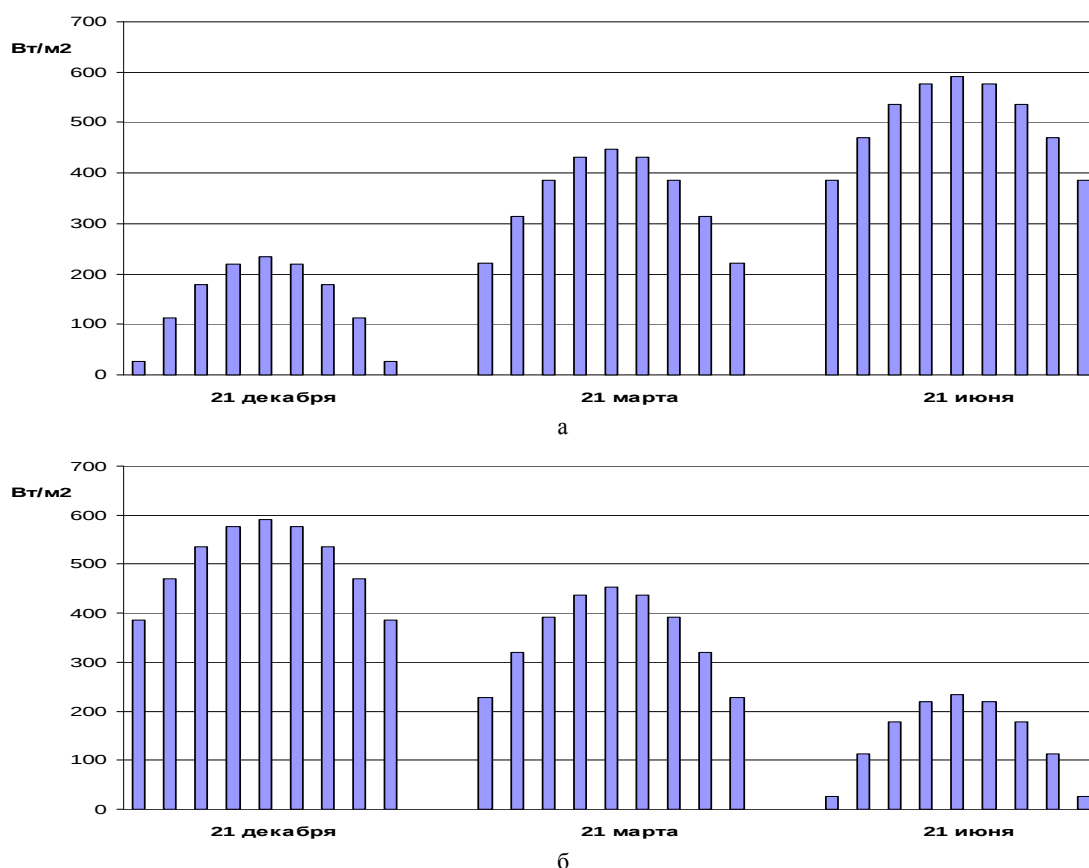


Рисунок 4 – Динамика изменения плотности потока солнечной радиации на 45° с.ш. в течение 8 часов (с 8 часов утра до 16 часов после полудня): а) – на горизонтальной поверхности; б) – на вертикальной поверхности

Для проведения дальнейших теоретических и практических исследований, в качестве прототипа можно рассмотреть солнечный коллектор [4], принцип действия которого представлен на рисунке 5.

Безусловной заслугой автора [4] можно считать предложенное им использование в качестве «теплового аккумулятора» части наружной стены с теплопоглощающим покрытием. Однако существенным недостатком предлагаемой системы является необходимость ее внешней изоляции от солнечного излучения в жаркий период года, поскольку нанесенное непосредственно на стену поглощающее покрытие способствует чрезмерному нагреву и поступлению избыточного теплового потока внутрь помещения.

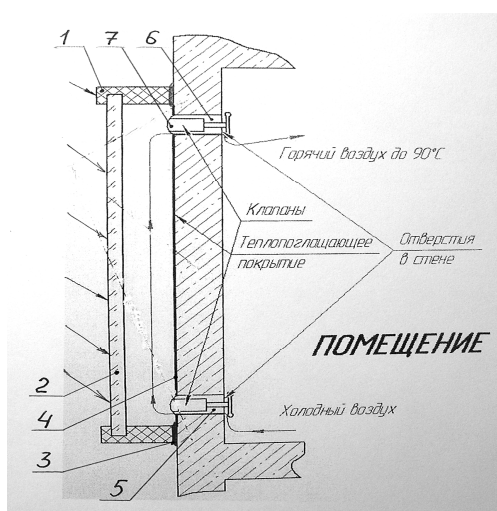


Рисунок 5 – Настенный солнечный коллектор: 1 – рама; 2 – серийный стеклопакет; 3 – уплотнение; 4 – поглощающее покрытие (наносится непосредственно на стену и выполняет роль «аккумулятора» тепла); 5 и 6 – два сквозных отверстия в стене; 7 – термклапаны

По нашему мнению, для обеспечения широкого использования систем [4] необходимо провести дальнейшие научные исследования по оценке возможности применения существующих или разработке новых, дистанционно управляемых теплопоглощающих (теплоотражающих) покрытий с изменяющимся коэффициентом «степени черноты» в максимально возможном на данном уровне технического развития диапазоне.

В этом случае система солнечных коллекторов расположенных на стене здания сможет выполнять функцию двойного назначения: в холодный период года обеспечивать дополнительный приток тепла, а в жаркий период отражать избыточную солнечную инсоляцию, что в совокупности позволит снизить общие среднегодовые затраты на обогрев и охлаждение помещения.

Широкое применение подобных систем, безусловно, повлияет на внешний облик домов будущего. В жаркий период года стены домов будут выглядеть зеркальными или белыми, а в холодный период преимущественными оттенками фасадов станут темные и черные цвета. Переоценка потребителями реальной возможности более эффективного использования практически «бесплатной» и к тому же экологически чистой солнечной энергии, по всей видимости, приведет к переосмыслению известного образного выражения «занять место под солнцем», поскольку в данном случае оно будет иметь прямой, а не переносный смысл.

Потенциальная возможность массового применения настенных солнечных коллекторов потребует пересмотра существующих градостроительных норм и правил (ДБН, СНиПов, ДСТУ, ГОСТов и ряда других, действующих в Украине нормативных документов), связанных с необходимостью исключения возможности затенения вновь проектируемыми зданиями (с учетом их конфигурации, этажности и т.д.) уже существующих зданий, оснащенных настенными гелио системами.

Выводы

В зимний период года применение настенных коллекторов более эффективно, чем использование аналогичных систем расположенных на крыше, поскольку площадь боковой поверхности стен домов превышает площадь поверхности крыши.

Зимой, коэффициент использования прямого солнечного излучения в вертикальных воздушных одноконтурных коллекторах может достигать 80 %.

При вертикальном расположении коллектора его внешнее защитное покрытие будет менее подвержено загрязнению и возможности разрушения, например, градом.

Размещение системы солнечных коллекторов с «управляемой степенью черноты» на наружных стенах зданий позволит значительно повысить их общее термическое сопротивление, за счет чего снизятся тепловые потери зимой и в темное время суток, а в летний период, будет предотвращаться внешнее избыточное поступление тепла.

Задачей дальнейших исследований является поиск существующих или разработка пленочных материалов способных изменять коэффициент поглощения (отражения) в требуемом диапазоне.

Библиографический список

1. Тёльдеши Ю. Мир ищет энергию / Ю. Тёльдеши, Ю. Лесны: пер. со словац. — М.: Мир, 1981. — 439 с.
2. Стекло и солнечная радиация [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные (1386576 bytes). — Режим доступа: <http://www.bau.ua> 02.10.2008 17:32:22.
3. Даффи Д.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Д.А. Даффи, У.А. Бекман. — М.: Мир, 1977. — 420 с.
4. Пат. 26650 Україна, МПК (2006) F 24 J 2/00. Сонячний колектор / Чулков Д.В.; (Україна); заявник та власник Д.В. Чулков (Україна). — № u 2007 09216; заяв. 13.08.07; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.

Поступила в редакцию 13.03.2009 г.