

И.С. Кудымов, Я.И. Вайсман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ

Исходя из концепции «зеленого строительства» рассмотрены принципы использования солнечных коллекторов в индивидуальных жилых домах. Даны характеристики современных солнечных устройств, рассмотрена область применения и принцип их работы. Приведены конкретные примеры использования для индивидуального жилищного строительства.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечный коллектор, стандарты «зеленого строительства», жилой дом, гелиосистема.

Правительством Российской Федерации был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергоэффективности». Закон касается энергосбережения и повышения энергетической эффективности всех новостроек и старого фонда зданий, подвергающихся капитальной модернизации. Принятие Закона во многом связано с определением и практикой «зеленого строительства» (ЗС). Это практика строительства и эксплуатации зданий, целью которой является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания: от выбора участка к проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и разрушению (утилизации).

Другой целью ЗС является сохранение или повышение качества зданий и комфорта их внутренней среды. Эта практика расширяет и дополняет классическое строительное проектирование понятиями экономии, полезности, долговечности (срока службы) и комфорта.

Среди существующих источников энергии есть такие, которые обладают уникальными свойствами: они практически неисчерпаемы, экологически чистые, экономически очень выгодные и т.п. К таким источникам следует отнести энергию солнечного излучения, энергию ветра, химическую энергию биомассы, энергию морских волн, океанских приливов, геотермальных источников.

В настоящее время наступает эпоха, когда эффективное освоение таких источников становится насущной необходимостью, чтобы человек не оказался беспомощным в будущем. Поэтому разработка и совершенствование таких энергетических установок, методики их инженерного расчета, всемерное их практическое внедрение являются актуальными, способными принести значительный экономический и социальный эффект.

Наиболее выгодным источником энергии, как с экономической, так и с экологической точки зрения, сегодня считается солнечное излучение. Ежесекундно солнце излучает $88 \cdot 10^{24}$ кал, или $370 \cdot 10^{12}$ ГДж теплоты. Из этого количества теплоты на Землю попадает в энергетическом эквиваленте только $1,2 \cdot 10^{12}$ Вт, т.е. за год 10^{18} кВт·ч, или в 10 000 раз больше той энергии, которая сегодня потребляется в мире. По сравнению с ним все остальные источники энергии дают теплоты пренебрежимо мало. Если, к примеру, потенциал Солнца определять по солнечной энергии, падающей только на свободные необрабатываемые земли, то среднегодовая мощность составит около 10 000 ГВт, что примерно в 5000 раз больше, чем мощность всех современных стационарных энергетических установок мира.

Поэтому есть смысл использовать солнечный энергетический потенциал для нужд человечества, тем более что сфера его применения необозримо широка. Например, в каждом строительном проекте значительную роль отводят системе водоснабжения. Она должна не только исправно работать, но и соответствовать современным требованиям безопасности и принципам рационального природопользования. Их особенно важно учитывать при создании систем доставки горячей воды, поскольку ее нагрев влечет за собой значительные энергетические затраты и загрязнение окружающей среды газами.

Наиболее экономичный и экологичный вид горячего водоснабжения – солнечная система нагрева воды. Так, использование одной солнечной водонагревательной установки позволяет сократить выбросы в атмосферу углекислого газа на 1–2 т в год, предотвращает выбросы других загрязнителей, таких как двуокись серы, угарный газ и закись азота. В то время как фотоэлектрические системы достигают эффективности 10–15 %, тепловые солнечные системы имеют КПД, равный 50–90 %. В сочетании с деревосжигающими печами бытовую потребность в горячей воде можно удовлетворять практически круглый год без применения ископаемых видов топлива.

Стоит также отметить, что значительная часть территории России имеет благоприятные климатические условия для использования солнечной энергии. В южных районах продолжительность солнечного излучения составляет от 2000 до 3000 ч в год, а годовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность – от 1280 до 1870 кВт·ч на 1 м². В наиболее солнечном месяце – июле – количество энергии, приходящейся на 1 м² горизонтальной поверхности составляет в среднем от 6,4 до 7,5 кВт·ч в день. Следовательно, широкое использование солнечной энергии может иметь здесь важное хозяйственное значение.

Для изыскания путей использования возобновляемых и экологически чистых источников энергии необходимо изучать гелиоресурсы страны и районирование территории по потенциалу солнечной радиации. Такие исследования основываются на климатическом обобщении метеостанций с применением вероятностно-статистического подхода. Согласно результатам исследований в России выделено 11 районов по приоритету обеспеченности гелиоресурсами. Например, Барнаул расположен в 4-м по обеспеченности районе, Республика Алтай – в 3-м и 4-м районах.

Таким образом, можно отметить «бесплатность», возобновляемость и огромные масштабы (можно сказать неисчерпаемость) ресурсов солнечной энергии. Однако низкая плотность солнечной радиации у поверхности Земли (в среднем 250 Вт/м², в наиболее благоприятных районах – 1 кВт/м²) и нерегулируемый режим поступления к поверхности Земли (вращение Земли, облачность) создают значительные технические трудности ее использования (необходимость больших отражающих и поглощающих поверхностей, систем ориентирования, аккумуляторов и пр.).

Наиболее популярный и выгодный способ организации горячего водоснабжения в частном доме с применением энергии солнца – это солнечная водонагревательная установка. Она состоит из коллектора, аккумулирующего бака, инвертеров, контроллера, насосной станции, трубопровода и опорных металлоконструкций.

Коллектор – устройство для сбора тепловой энергии солнца переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала-теплоносителя (чаще всего, жидкости). Она протекает по коллектору и отдает полученное солнечное тепло по теплообменнику хозяйственно-питьевой воде.

Используемая в солнечных тепловых установках жидкость должна быть, с одной стороны, морозоустойчивой зимой, чтобы не нанести вред обледенением коллектору или трубопроводу, а, с другой стороны, она не должна испаряться при высокой температуре. Кроме того, следует обратить внимание на то, что эта жидкость биологически расщепляема.

Согласно DIN 4757 T1, жидкость помимо этого не должна быть токсичной, едкой или раздражающей. Между тем, в большинстве случаев применяется смесь из 60 % воды и 40 % пропиленгликоля. Она является морозоустойчивой до температуры $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, ее температура кипения составляет $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В аккумулярующем баке собирается солнечное тепло. Он подсоединен к впускной трубе для холодной воды и выпускной трубе для горячей, а также к циркуляционным трубам. Бак-накопитель обязательно должен быть хорошо теплоизолирован, чтобы ночью вода в нем не остывала. Потери тепла зависят от множества факторов (температура воздуха, ветер, время года и т.д.) и составляют около $0,5\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в час в течение ночи. Изоляция бака должна быть настолько надежной, чтобы вода, нагретая за солнечный день, оставалась горячей в течение двух дней.

Объем бака-накопителя солнечной установки должен составлять 80 л на человека, при уровне потребления горячей воды 50 л в день. Это средние значения и они, безусловно, возрастают, если в доме есть, например, бытовая техника, для которой необходима вода.

Инвертор в солнечной водонагревательной установке необходим для преобразования постоянного тока аккумуляторной батареи в переменный, так как многие электроприборы требуют переменного напряжения 220 В. Контроллер нужен для управления процессом нагрева от солнца и контроля состояния гелиосистемы. Контроллер получает информацию от датчиков температуры (один из которых обязательно находится в солнечном коллекторе) и выбирает необходимый режим работы. Насосная станция предназначена для обеспечения циркуляции теплоносителя в коллекторном круге (бак–коллекторы–бак).

Важно учитывать место расположения системы. Особое внимание стоит уделить предметам, которые могут отбрасывать тень на коллектор или затемнять его, поскольку самый слабый элемент солнечной батареи определяет общую производительность всего модуля, т.е. даже частичное затемнение, пусть незначительное, сокращает производи-

тельность всей водонагревательной системы. Так, тень от антенны может снизить производительность системы на 10–50 %. При оптимальном расположении модуля можно сократить потери производительности, вызванные затемнением. Поэтому прежде чем монтировать установку, имеет смысл провести исследование зон затемнения.

Как правило, при установке коллектор стараются ориентировать в сторону юга, но обязательно ориентируясь на рельеф местности. Рекомендуется отклоняться от ориентации на юг не более чем на 30°, тогда и тепло будет вырабатываться в пределах нормы. В северных районах может представить интерес вариант установки под углом, близким к вертикали, когда приемник будет больше использовать лучи, отраженные от поверхности снежного наста.

На кафедре охраны окружающей среды ПНИПУ располагается солнечная установка, благодаря которой осуществляется горячее водоснабжение, что позволяет постоянно проводить наблюдения над ее работой. Система состоит из двух основных элементов:

- 1) наружного блока – солнечных термических вакуумных коллекторов (световой преобразователь);
- 2) внутреннего блока (резервуар-теплообменник).

Конструкция гелиосистемы не сложна и обладает небольшими размерами, что делает ее удобной для применения в быту. В состав гелиосистемы входят: коллектор, бак-аккумулятор, насосный модуль, контроллер, датчики температуры (рис. 1). Каждая из составных частей имеет свое функциональное применение.

Принцип действия таких коллекторов прост и напоминает работу установки центрального отопления. Это закрытая система, в которой через верхнюю часть коллектора и змеевик протекает незамерзающая жидкость. Эта жидкость забирает тепло из медных наконечников, нагреваемых до температуры 350–380 °С, а затем горячая жидкость перекачивается через змеевик аккумулятора и нагревает воду.

Цикл передачи тепла из коллектора к аккумулятору длится до тех пор, пока длится день. Работу насоса контролирует электронный контроллер, он следит за исправностью системы. Датчики контроллера находятся в коллекторе и в аккумуляторе. Они указывают температуру в системе. Кроме того, расширительный бак предохраняет систему от слишком высокого давления, возникающего при возрастании температуры и неиспользовании воды потребителями.

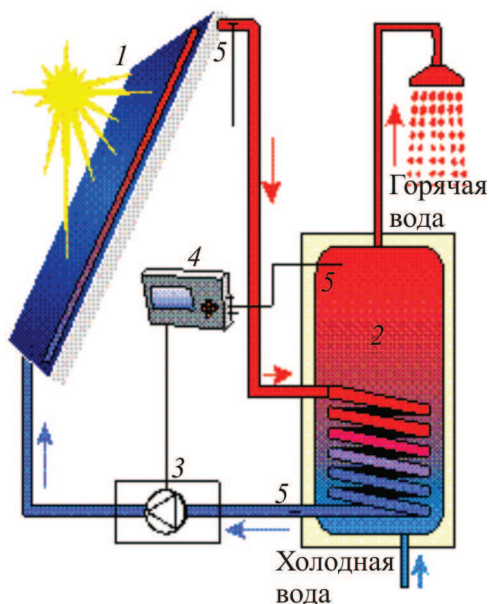


Рис. 1. Конструкция гелиосистемы: 1 – вакуумный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – насосный модуль; 4 – контроллер; 5 – датчики температуры

В данной системе важным моментом является контроль температуры в солнечном коллекторе и баке-аккумуляторе, и выбор, в зависимости от величины этих температур, оптимального режима работы системы в течение суток. Для этого предназначен контроллер (рис. 2, а), который выполняет следующие основные функции:

- индикацию температуры коллектора, обратного потока теплоносителя, повреждения датчиков;
- индикацию температуры в резервуаре;
- установку температуры включения принудительной циркуляции теплоносителя;
- установку температуры и времени дополнительного подогрева;
- измерение давления в систем;
- управление электрическими клапанами (для сброса лишнего тепла, нагрева другого бака).

При этом контроллер регулирует поток теплоносителя через теплообменник, определяет направление подачи тепла (на ГВС или на отопление). В ночное время автоматика системы обеспечивает минимально необходимое привлечение дополнительной энергии для поддержания

заданной температуры внутри помещения. Чтобы заставить теплоноситель циркулировать по теплопроводу, нужен насос (рис. 2, б). Насосом управляет контроллер с датчиками. Скорость потока, необходимая для работы системы, не превышает 2 л/мин, поэтому достаточно насоса с малой мощностью.



Рис. 2. Общий вид контроллера (а) и насосного модуля (б)

Исправно работающая система способна обеспечить круглогодичное горячее водоснабжение, а также сезонное отопление с экономией традиционных источников тепловой энергии до 80 % (в зависимости от географической широты и климатических условий).

Использование лишь одной гелиосистемы позволяет сократить выбросы в атмосферу углекислого газа на 1–2 т в год, что предотвращает выбросы других загрязнителей, таких как диоксид серы, угарный газ и закись азота. В то время как фотоэлектрические системы достигают эффективности 10–15 %, тепловые солнечные системы имеют КПД, равный 50–90 %. Эффективность функционирования в большой степени зависит от правильного проектирования и установки. Стоит заметить, что для повышения качества работы гелиосистемы следует избегать применения замерзающих клапанов и других ненадежных элементов. Они могут привести к опасным и дорогостоящим последствиям.

Особое внимание при проектировании гелиосистемы уделяют:

- управлению безопасной температурой и давлением;
- проблемам перегрева и застоя;

- защите от замерзания;
- расположению и ориентации коллектора;
- управлению работой насоса и контролю рабочей температуры.

На кафедре охраны окружающей среды ПНИПУ установлена ге-лиосистема марки YYJ-RO1, которая имеет следующие технические характеристики:

Тип коллектора	трубчатый вакуумный
Размер коллектора, мм	1980×1450×155
Эффективная площадь коллектора, м ²	3,4
Количество трубок	20
Количество коллекторов в системе	1
Усредненная тепловая мощность 1 трубки, кВт/ч	0,1
Усредненная тепловая мощность коллектора, кВт/ч	2,0
Тип абсорбера	вакуумная трубка
Резервуар-теплообменник, л	200
Тип контроллера	SR-868C6
Максимальное рабочее давление, бар	4
Минимальная температура окружающей среды, °С	от –10 до –70
Марка насоса	Wilo RS 25/6

Исследования показывают, что использование солнечных коллекторов позволяют уменьшить затраты на нагрев горячей воды в среднем на 66 %, т.е. расходы сокращаются более чем в 2 раза. Такой результат, безусловно, открывает новые перспективы в сфере энергосбережения. Он имеет значение не только для науки, но и для строительного бизнеса.

Во время выступления на форуме «Россия – территория эффективного предпринимательства» в бизнес-школе «Сколково» генеральный директор ОАО «Камская долина» Андрей Гладиков отметил, что энергоэффективность сегодня – не только модный политический и экологический тренд, но и осознанная необходимость для бизнеса. Подкрепляя свои слова, он делится опытом внедрения солнечных коллекторов на объектах, построенных ОАО «Камская долина»: «Батареи, установленные на объектах “Камской долины”, в летние месяцы вырабатывали избыточное количество электроэнергии, часть которой возвращалась обратно в сеть. Во многих европейских странах государство занимается учетом таких излишков и оплачивает их собственникам солнечных батарей по полуторному тарифу. Для России такая практика стимулирования могла бы оказаться весьма эффективной».

Данные исследований подтверждают перспективность использования солнечных коллекторов в качестве альтернативных источников энергии. Тем не менее их абсолютная эффективность, особенно для нашей широты, не доказана и вызывает споры.

Основные технические проблемы, стоящие на пути широкого практического использования солнечной энергии для тепло- и энергоснабжения, связаны, прежде всего, с относительно низкой плотностью потока энергии (в полдень при ясном небе около 1000 Вт/м^2 , а в среднем за год для территории России $150\text{--}250 \text{ Вт/м}^2$), что обуславливает необходимость использования приемников солнечного излучения значительной площади, а также его непостоянством во времени, а это требует создания соответствующих аккумуляторов энергии. В конечном счете, несмотря на то, что солнечное излучение само по себе бесплатно, создание систем сбора, преобразования и аккумулирования энергии приводит к необходимости значительных затрат на создание солнечных установок и снижает их конкурентоспособность по сравнению с традиционными энергоустановками, особенно если последние используют дешевое органическое топливо.

Выясним, сколько полезной тепловой энергии можно получить от солнечного коллектора (таблица).

Пояснения к таблице:

Прямое излучение – энергия прямого солнечного света, падающего на неподвижную наклонную плоскость, угол наклона 58° .

Рассеянный свет – энергия рассеянного (отраженного в атмосфере) солнечного света, падающего на горизонтальную поверхность.

Солнечная энергия – сумма колонок *Прямое излучение* и *Рассеянный свет*.

Солнечная энергия в месяц – энергия солнечного излучения, падающая на плоскость площадью 36 м^2 , установленную под углом 58° .

Выработка тепловой энергии – тепловая энергия от солнечных коллекторов с учетом КПД солнечных коллекторов, аккумулирующей и распределительной системы отопления и горячего водоснабжения индивидуального дома.

Потребная энергия для горячего водоснабжения и *Потребная энергия для отопления* – пояснения см. в тексте.

Месячная потребность в тепловой энергии – сумма колонок *Потребная энергия для горячего водоснабжения* и *Потребная энергия для отопления*.

Избыток солнечной энергии – разница между колонками *Получаемая энергия* и *Месячная потребность в тепловой энергии*.

**Полезная тепловая энергия (кВт·ч), которую потенциально можно получить
от солнечных коллекторов**

Месяц	Прямое излучение за сутки на 1 м ²	Рассеянный свет за сутки на 1 м ²	Солнечная энергия за сутки на 1 м ²	Солнечная энергия за месяц (36 м ²)	Выработка тепловой энергии за месяц (36 м ²)	Потребная энергия для горячего водоснабжения за месяц	Потребная энергия для отопления за месяц	Месячная потребность в тепловой энергии	Избыток солнечной энергии за месяц	
Январь	2,90	0,69	3,59	3877	2326	160	2000	2160	166	
Февраль	3,39	1,00	4,39	4741	2845	160	2000	2160	685	
Март	3,76	1,46	5,22	5638	3383	160	1500	1660	1723	
Апрель	4,03	1,95	5,98	6458	3875	160	500	660	3215	
Май	4,45	2,27	6,72	7258	4355	140	0	140	4215	
Июнь	4,46	2,41	6,87	7420	4452	120	0	120	4332	
Июль	4,69	2,25	6,94	7495	4497	120	0	120	4377	
Август	4,78	1,94	6,72	7258	4355	120	0	120	4235	
Сентябрь	4,59	1,53	6,12	6610	3966	120	0	120	3846	
Октябрь	3,64	1,14	4,78	5162	3097	140	100	240	2857	
Ноябрь	2,78	0,78	3,56	3845	2307	140	500	640	1667	
Декабрь	2,41	0,61	3,02	3262	1957	140	1500	1640	317	
Годовая выработка тепловой солнечной энергии:					44415	Годовая потребность в тепловой энергии:			9870	За год: 31635

По данным НАСА, для угла установки солнечного коллектора 58° среднегодовая выработка энергии с 1 м^2 составляет $3,83 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в день, это от прямого солнечного излучения. Плюс $1,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в сутки от диффузного солнечного света. Коэффициент полезного действия (в основном, теплотери солнечного коллектора, резервуара горячей воды, труб) можно принять 60% (с запасом).

Плоский солнечный коллектор площадью 2 м^2 за 3 года нам даст полезной энергии $7800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ минус 40% , т.е. $4700 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Итого: $4700 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепловой энергии с площади плоского солнечного коллектора в 2 м^2 обойдутся в $15\,750 \text{ руб.}$; т.е. $3,3 \text{ руб.}$ за $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Причем в основном, эта энергия будет получена летом.

Зимой для обеспечения горячей водой семьи из 3 чел. (собственный опыт) нужно около $160 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в месяц. Из практики известно, что для отопления 80 м^2 (средняя площадь жилого частного дома) в самые холодные месяцы (январь–февраль) наша потребность в среднем – $62 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в сутки, или $1900 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в месяц. Разумеется, что средняя мощность для отопления в $2,6 \text{ кВт}$ не есть пиковая потребная для отопления мощность. Но мы примем эту среднюю величину мощности для отопления за потребную мощность солнечных коллекторов.

Таким образом, для отопления в январе нам необходимо почти $2000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, для горячего водоснабжения – еще $160 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. С учетом суммарного КПД всей системы 60% (потери тепла в солнечных коллекторах, аккумуляторе тепла, трубах) потребную тепловую мощность солнечной энергии можно оценить в $3600 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{мес}$.

По метеоданным НАСА, в январе солнечные коллекторы, установленные под углом 58° , имеют среднюю мощность от прямого солнечного света $2,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день плюс $0,69 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Следовательно необходимая площадь плоских солнечных коллекторов $33,4 \text{ м}^2$. Так как в январе часто выпадает снег, а в наши планы не входит каждое утро обметать солнечные коллекторы, то примем их потребную площадь чуть больше – 36 м^2 . Таким образом, зимой для отопления 80 м^2 дома и горячего водоснабжения трех человек нам нужно установить 18 плоских солнечных коллекторов, каждый площадью по 2 м^2 . Стоимость солнечных коллекторов – $283\,500 \text{ руб.}$ при цене $15\,750 \text{ руб.}$ за штуку.

При полной амортизации в течение срока гарантии 3 года рассчитаем себестоимость полезной тепловой солнечной энергии без учета стоимости системы хранения и распределения тепловой энергии:

Стоимость солнечных коллекторов – 283 500 руб.

За срок амортизации 3 года будет получено полезной тепловой энергии: строка *Годовая потребность в тепловой энергии* × 3 года = = 29 МВт·ч. Таким образом, цена полезной тепловой энергии, полученной от бесплатной солнечной энергии, составляет 9,765 руб. за 1 кВт·ч.

Пояснение: с этой площади солнечных коллекторов в месяцы, кроме января-февраля, мы будем получать намного больше солнечной энергии, но нам она просто не нужна.

Для сравнения: цена электроэнергии в Перми по состоянию на февраль 2012 г. составляет 4,28 руб. за 1 кВт·ч.

Таким образом, электрическое отопление от электросети и электрический бойлер выгоднее в 2,2 раза, чем использование бесплатного энергоисточника – солнечной энергии.

В России установки солнечного нагрева воды пока не получили широкого применения, что связано с относительно низкими по сравнению с другими странами ценами на энергоносители, ориентацией экономики на сырье и в целом недостаточной подготовленностью рынка.

Вместе с тем в связи с неминуемым ростом тарифов на энергию и цен на топливо, а также стремлением потребителей к повышению надежности теплоснабжения за счет создания собственных источников тепловой энергии интерес к использованию солнечных водонагревательных установок будет неуклонно возрастать. Это относится не только к южным регионам страны, являющимся лидерами по вводу солнечных установок, но и к средней полосе России и даже к ее северным регионам, где проблемы теплоснабжения автономных потребителей стоят особенно остро. Поэтому работы по внедрению данных устройств будут все более актуальны.

Получено 28.02.2012