

Thermotech солнечное теплоснабжение



Техническое пособие
2011

© Copyright: Thermotech Vostok AB 2011
Omslagsfoto: Michael Engman
Grafisk form: Sofia Jonsson
Övrigt bildmaterial: Michael Engman, Andrey Mkrtchyan, Vladimir Potapov
Tryck:

Солнечные коллектора Thermotech

1. Энергетический потенциал солнечной энергии и физические основы его использования
2. Солнечные коллекторы и аккумуляторы теплоты
3. Солнечные установки коммунально-бытового назначения
4. Характеристики солнечных коллекторов Thermotech
5. Расчет и проектирование солнечных установок
6. Монтаж и эксплуатация солнечных установок

1. Энергетический потенциал и физические основы использования солнечной энергии

Солнечная радиация – это неисчерпаемый возобновляемый источник экологически чистой энергии. Годовое количество поступающей на Землю солнечной энергии составляет $1,05 \times 10^{18}$ кВт*ч, причем на поверхность суши приходится только 1/5 часть этой энергии, т.е. 2×10^{17} кВт*ч

Распределение глобального потока солнечного тепла на поверхности земного шара неравномерно. Количество солнечной энергии, поступающей за год на 1 м² поверхности Земли (рис.1), изменяется приблизительно от 800 кВт*ч/м² на севере до 2200 кВт*ч/м² в наиболее жарких пустынных местах (1 кВт*ч=3600 кДж, а 1000 кДж=278 Вт*ч)

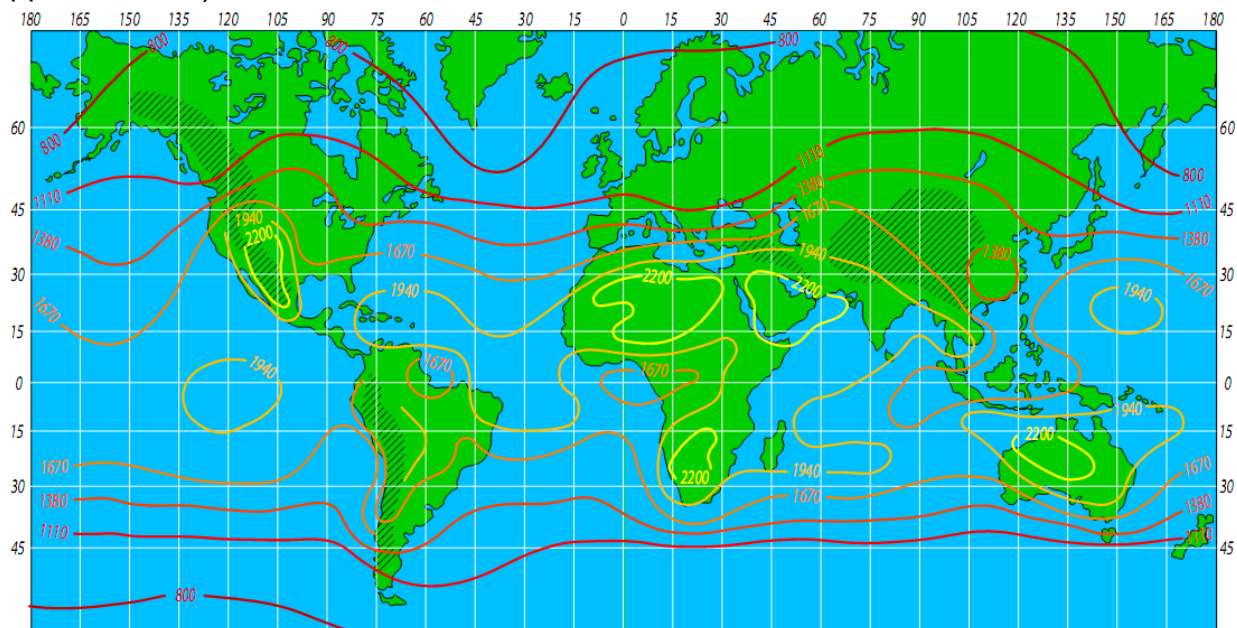


рис.1 Годовой приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность в различных районах земного шара (кВтч/м² в год)

При прохождении солнечных лучей через атмосферу Земли часть излучения рассеивается и поглощается молекулами озона, воздуха и водяного пара, а также частицами пыли – это приводит к ослаблению прямого солнечного излучения, но появляется диффузное (рассеянное) излучение, часть которого возвращается обратно в космическое пространство, а основной его поток достигает поверхности Земли. Доля рассеянного (диффузного) излучения изменяется не только в течение года (зависит от географических и климатологических факторов), но и в течение дня, и может составлять от 25% (в пасмурный день) до 75% (в яркий солнечный день) от суммарной солнечной энергии.

В табл.1 показано распределение среднемесячного дневного поступления суммарной солнечной энергии на 1 м² горизонтальной поверхности на всех широтах – от экватора до северного полюса.

Таблица 1. Среднемесячное дневное поступление суммарной солнечной энергии на поверхность Земли (кВт/м² в день)

месяц	Широта, град.									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I	5,8	4,8	3,7	2,5	1,3	0,5	-	-	-	-
II	6,1	5,3	4,3	3,2	2,0	1,0	0,2	-	-	-
III	6,4	6,0	5,3	4,4	3,4	2,2	1,1	0,3	-	-
IV	6,2	6,2	6,1	5,6	4,9	3,9	2,8	1,7	0,6	0,1
V	5,9	6,2	6,5	6,4	6,1	5,5	4,6	3,6	2,9	2,3
VI	5,5	6,2	6,6	6,7	6,7	6,4	5,9	5,2	4,7	4,7
VII	5,4	6,1	6,6	6,7	6,7	6,2	6,0	5,3	5,0	4,9
VIII	5,7	6,2	6,2	6,5	6,2	5,7	5,0	5,0	3,2	3,0
IX	6,1	6,2	6,1	5,8	5,8	4,3	3,2	2,1	1,0	0,4
X	6,2	6,0	5,5	4,7	3,7	2,6	1,5	0,5	-	-
XI	6,1	5,4	4,5	3,5	2,3	1,2	0,3	-	-	-
XII	5,8	4,9	3,8	2,6	1,5	0,5	-	-	-	-
Средне- годовой суточный поток	5,9	5,8	5,5	4,9	3,9	3,3	2,6	1,9	1,4	1,3

Зная широту места, Вы можете посмотреть среднемесячное дневное поступление суммарной солнечной энергии для конкретного места.

На практике для простоты расчетов солнечных систем и эффективности их использования применяется другой (обобщенный) параметр: среднее годовое значение солнечной радиации на 1м² (в кВт*ч/м²) горизонтальной поверхности. Этот показатель характерен, как правило, для определенной широты местности (для определенного региона): от 800 кВт*ч/м² (в районе 68° с.ш.) до 2000 кВт*ч/м² (в районе 39° с.ш.). Примеры для некоторых регионов:

- от 800 на севере до 1000 на юге Швеции;
- от 950 на севере до 1050 на юге Польши и Германии;
- центральная часть России и юг Сибири 830-1100 кВт*ч/м²
- южные районы Украины, Молдавии, Поволжья, 1100-1380 кВт*ч/м²
- Закавказье и Средняя Азия 1400-1600 кВт*ч/м²

Т.е. применять солнечные (гелио) системы можно, практически, повсеместно. Другой вопрос, для каких целей применяются солнечные коллектора (горячее водоснабжение, отопление, подогрев воды бассейна или для технологических нужд) для данного региона и с какой эффективностью.

Помимо «географического» положения непосредственно самого места немаловажным фактором является ориентация теплопоглощающего элемента (солнечной панели) по отношению к солнцу. Понятно, что наибольший эффект можно получить, если солнечный элемент будет находиться всегда под прямым углом к падающим солнечным лучам. Но солнце меняет свое положение не только в течение суток, но и в зависимости от сезона имеет разные углы наклона своей траектории по отношению к земной поверхности.

Использование устройств, отслеживающих движение солнца и меняющих соответственно положение солнечного коллектора, приводит к значительному и необоснованному удорожанию всей системы в целом. Поэтому приняты оптимальные углы установки солнечного коллектора: угол наклона к линии горизонта и азимут (угол поворота панели по отношению к направлению на Юг).

Азимут

При азимуте $+15^\circ$ - -15° (юго-западное и юго-восточное направление соответственно) среднегодовой приход солнечной энергии на поверхность солнечного коллектора уменьшается всего на 2% по сравнению с ориентированным строго на юг (азимут=0), а при азимутах $+40^\circ$ - на 13%, при этом наибольшее отклонение (25%) имеет место в январе-декабре, а наименьшее (5%) в июне-июле.

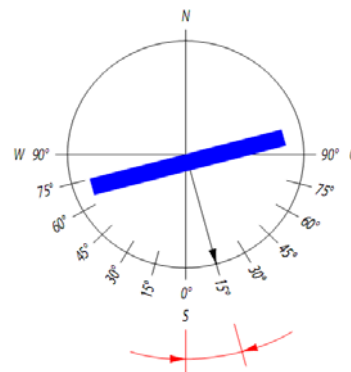


рис.2 Установка коллектора с азимутом 15° на восток

Угол наклона (β)

Угол наклона образуется между гелиоколлектором и горизонтальной плоскостью (линией горизонта). При установке на наклонной крыше угол наклона коллектора определяется крутизной ската крыши. Установка под меньшим углом является оптимальным в том случае, если невозможна ориентация на юг поверхности коллектора. Размещение плоскости коллектора под малым углом может привести к большому колебанию эффективности солнечной панели: от максимума в летний полдень (эффективность 85-95%) до минимум в зимние дни и в вечерние часы (эффективность 25-40%).

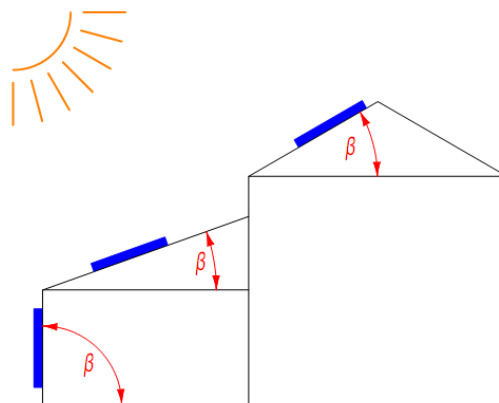


рис.3 Установка коллектора под углом β°

Если угол наклона плоскости большой (более 60°), то при общем снижении эффективности панели, тем не менее, количество поступающей энергии в течение года будет более равномерным. Поэтому, коллекторы, применяемые для целей «поддержки» отопления, устанавливаются под большим углом (практически, на вертикальные поверхности: стены, фасады и т.п.). При этом, следует понимать, что самый худший вариант – это установка коллектора под большим углом и еще в направлении север (северо-запад, северо-восток).

С точки зрения выполняемых задач оптимальный угол наклона β принимается равным: для систем отопления – широте $\varphi + 15^\circ$; для систем ГВС круглогодичного действия – широте φ , ГВС сезонного (весна-осень) действия – $\varphi - 15^\circ$.

Таким образом,

оптимальный диапазон ориентации солнечного коллектора: направление на Юг плюс-минус 15 градусов и угол наклона к линии горизонта 30-60 градусов.

2. Солнечные коллекторы и аккумуляторы теплоты

2.1 Типы солнечных коллекторов

Основным конструктивным элементом солнечной установки является коллектор, в котором происходит улавливание солнечной энергии, её преобразование в теплоту и нагрев теплоносителя. Наиболее распространены два типа солнечных коллекторов – **плоские** (Flat-plate solar collector FPSC) и стеклянные трубчатые **вакуумированные** (Evacuated solar collector ESC).

Работа **плоского FPSC коллектора** основана на принципе «горячего ящика», который легко представить себе, если вспомнить, как нагревается на солнце салон закрытого автомобиля, который служит своеобразной ловушкой для солнечных лучей, поступающих в него через прозрачные поверхности остекления.

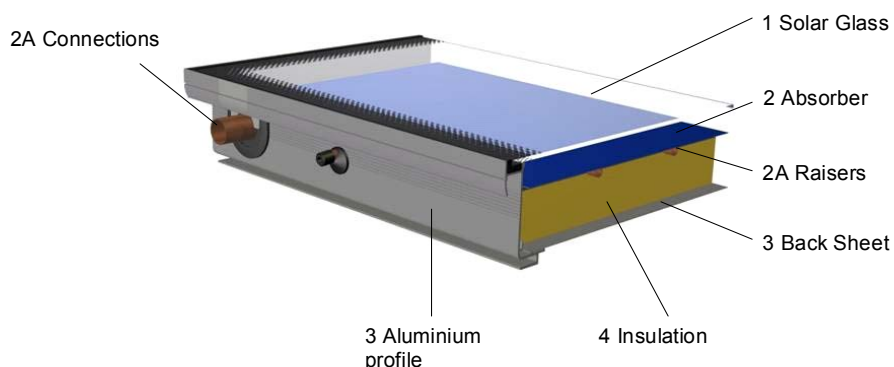


Рис.4 Конструктивные элементы плоского коллектора:

1-остекление; 2-лучепоглощающая поверхность с трубками 2A; 3-корпус; 4-теплоизоляция

Совокупность плоской лучепоглощающей поверхности и труб (каналов) для теплоносителя образуют единый конструктивный элемент – абсорбер. Для лучшего поглощения солнечной энергии верхняя поверхность абсорбера должна быть черного цвета или иметь специальное поглощающее покрытие. Чем выше теплопоглощающие свойства материалов, тем выше эффективность коллектора. Снижение тепловых потерь от абсорбера в окружающее пространство достигается путем применения тепловой изоляции, закрывающей нижнюю поверхность абсорбера, а также светопрозрачной пленки над абсорбером, снижающих потери тепла вверх. Чем ниже теплопроводность этих материалов, тем меньше тепловые потери, тем выше эффективность солнечного коллектора. Все элементы помещаются в корпус и закрываются стеклом. Чем выше качество применяемых материалов в конструкции плоского коллектора, тем выше его эффективность и длительнее срок службы.

К числу принципиальных преимуществ плоского FPSC коллектора относятся его способность эффективно улавливать как прямую, так и рассеянную солнечную энергию, без существенного снижения эффективности на протяжении длительного (современных до 50 лет) срока эксплуатации.

Главный недостаток FPSC – это его масса и габариты, создающие определенные неудобства при транспортировке и монтаже.

Эффективное уменьшение тепловых потерь добытого солнечного тепла может быть достигнуто, если окружить глубоким вакуумом приемник тепла (абсорбер). Очевидно, что оболочка, ограничивающая приемник тепла и удерживающая вакуум, должна быть максимально прозрачной по отношению к солнечному излучению. Поскольку создание и сохранение требуемого уровня вакуума в плоских коллекторах технически затруднено, то в качестве оболочки обычно

применяют цилиндрические трубки из стекла (колбы), а солнечные коллектора получили название «трубчатые».

Для отвода теплоты из вакуумированного пространства внутри стеклянной оболочки смонтированы металлические трубки для подвода-отвода теплоносителя.

Стеклянная поверхность и является самым уязвимым звеном вакуумного коллектора:

- слабая устойчивость к механическим повреждениям (град, ветки, камни и т.п.);
- малейшее нарушение герметичности и трубка выходит из строя;
- необходим тщательный уход за поверхностью – налет от осадков (дождь, снег), пыль, грязь и листья резко снижают эффективность коллектора.

Поэтому вакуумные коллекторы имеют ограниченный срок эксплуатации и требуют особого ухода и периодической замены.

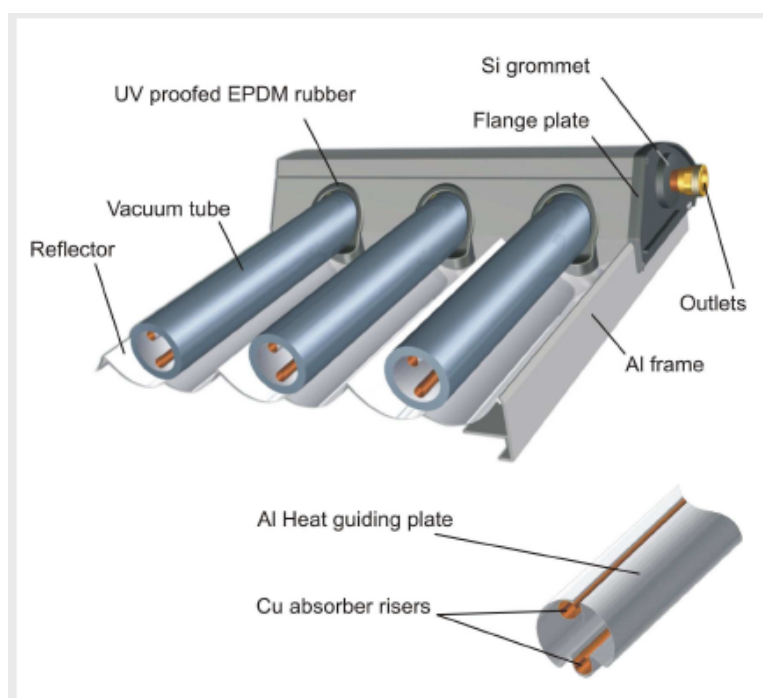


рис.5 Конструктивные элементы вакуумного коллектора

К основным достоинствам (зависит от конкретной модели) современных вакуумных коллекторов следует отнести:

- высокую эффективность передачи теплоты;
- возможность использования при невысокой солнечной активности;
- высокая температура стагнации.

Раньше вакуумные коллекторы по своей эффективности значительно превосходили плоские. Но применение современных материалов для изготовления абсорберов, теплоизоляции, стекол и пленки в конструкции позволили создать плоские коллектора с эффективностью даже превышающей эффективность вакуумных коллекторов некоторых производителей и в диапазоне определенных температур.

2.2 Эффективность солнечного коллектора

Коэффициент полезного действия солнечного коллектора определяется его эффективным оптическим КПД η_o и эффективным коэффициентом теплотерь K_k коллектора:

$$\eta_K = \eta_0 - K_K (T_{T1} - T_B) / I_K, \quad (1)$$

где I_k – интенсивность потока солнечной энергии, поступающего на коллектор ($\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$); K_k – эффективный коэффициент теплопотерь коллектора ($\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); T_{T1} – температура на входе в коллектор ($^\circ\text{C}$); T_B – температура наружного воздуха ($^\circ\text{C}$).

Оптический КПД η_o определяется произведением коэффициента пропускания солнечного излучения и коэффициента его поглощения абсорбером и не зависит от интенсивности солнечного потока I_k и разности температур коллектора и наружного воздуха. η_o является характеристикой, полученной при испытании и сертификации коллектора, и обязательно указывается производителем в технических данных на коллектор.

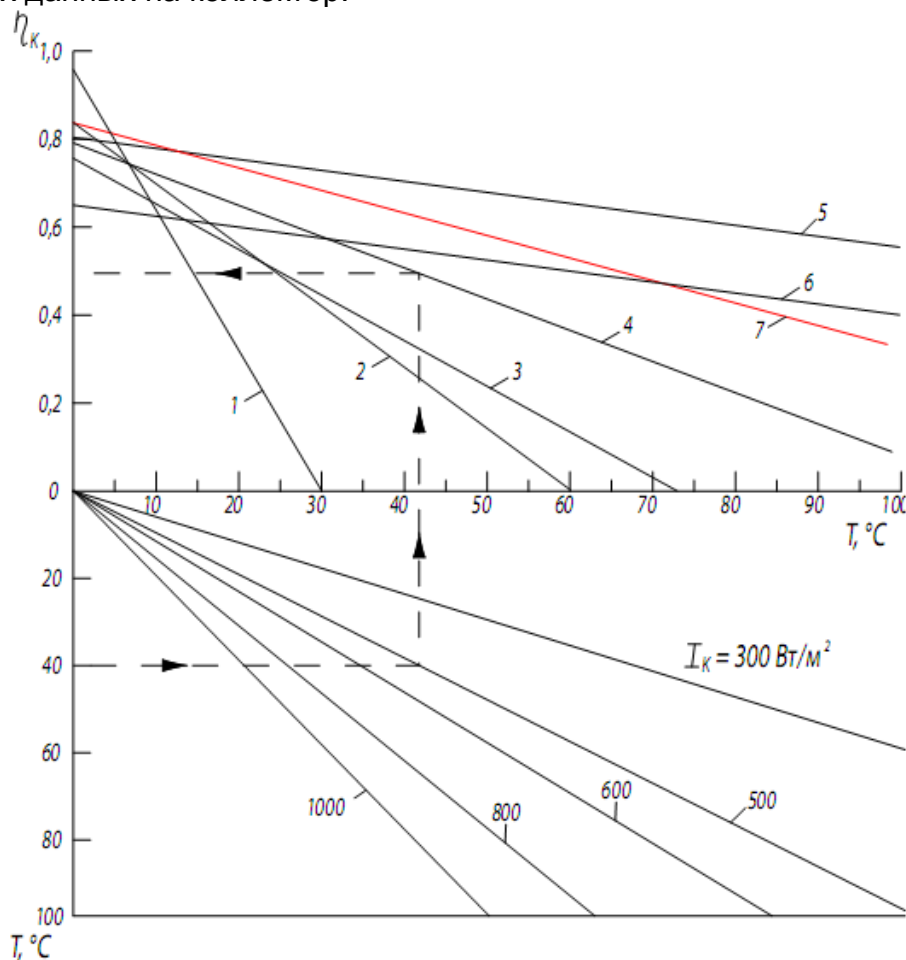


рис.6 Основная характеристика коллекторов солнечной энергии (справочная):

1 – коллектор без остекления; 2 – коллектор с однослойным остеклением; 3 – коллектор с двухслойным остеклением; 4 – селективный плоский коллектор с однослойным остеклением; 5 – вакуумированный коллектор высокого качества (как правило, типа U-pipe); 6 – вакуумированный коллектор среднего качества («бюджетный» вариант, как правило, типа HEAD-pipe); 7 – плоский селективный коллектор Thermotech

Общий коэффициент K_k тепловых потерь коллектора определяется как суммарные тепловые потери над и под абсорбером:

$$K_k = \alpha_1 + \alpha_2 (T_{T1} - T_B) \quad (2)$$

где α_1 – коэффициент теплопотерь коллектора над абсорбером ($\text{Вт/м}^2\text{°C}$); α_2 – коэффициент теплопотерь коллектора через теплоизоляцию под абсорбером ($\text{Вт/м}^2\text{°C}$). Указываются производителем в паспорте на солнечный коллектор.

Наиболее сильное влияние на КПД коллектора оказывают:

1. метеорологические параметры – интенсивность солнечной энергии, зависящая от географического места, времени суток и сезона, и температура наружного воздуха.
2. конструктивные характеристики коллектора и свойства теплопоглощающей поверхности абсорбера – материал и толщина его изготовления, толщина и коэффициент теплопроводности тепловой изоляции (состояние вакуума в трубке), шаг труб, число слоев остекления и его пропускная способность.
3. рабочие параметры коллектора – расход теплоносителя и его температура на входе-выходе коллектора.

Чем выше КПД коллектора, тем выше его рабочая температура и тем больше его мощность и, соответственно, степень покрытия потребности в тепловой энергии.

2.3 Аккумуляторы теплоты

Необходимость аккумулирования теплоты в гелиосистемах обусловлена несовпадением по времени и по количественным показателям поступления солнечной энергии и теплопотреблением.

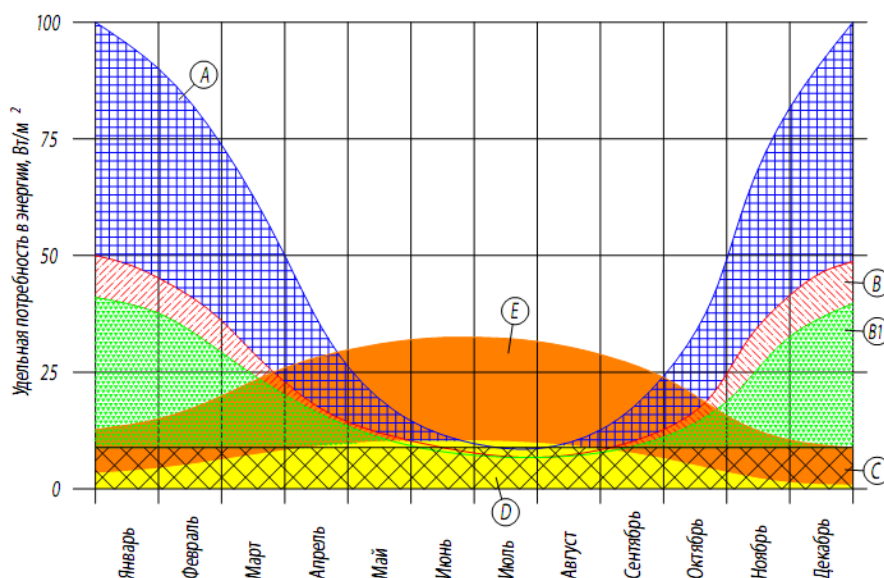


рис.7 Годовые потребности и годовое поступление солнечной энергии.

Потребность в отоплении: (A) дом с плохим утеплением и высокотемпературной системой отопления; (B) утепленный дом; (B1) энергоэффективный дом с низкотемпературной системой отопления. Потребность в горячем водоснабжении (C). Эффективность гелиоустановки: (D) гелиосистемы с низкой производительностью, небольшой площадью и/или малой степенью замещения; (E) гелиосистемы с высоким КПД и/или большой степенью замещения.

Избыток солнечной энергии необходимо накапливать в аккумуляторе поскольку:

1. Поток солнечной энергии изменяется в течение суток: от нуля в ночное время до максимального значения в солнечный полдень.
2. Потребность в горячей воде не постоянна. Пик потребления ГВС приходится на утренние (6-9 часов) и вечерние (18-21 час) часы, когда солнечная активность далека от своего максимума.
3. Тепловая нагрузка максимальна в декабре-январе, а поступление солнечной энергии в этот период минимально. Кроме того, потребность в тепле в ночное время, как правило, выше, чем в дневное, и это в период отсутствия поступления энергии от солнца.

Низкотемпературные системы аккумулирования теплоты охватывают диапазон температур от 30 до 100°C и используются в системах воздушного (30-45°C) и водяного (30-90°C) отопления и горячего водоснабжения (45-60°C). Система аккумулирования теплоты, как правило, содержит резервуар, теплоаккумулирующий материал, с помощью которого осуществляется накопление и хранение тепловой энергии, теплообменные устройства для подвода и отвода теплоты при зарядке и разрядке аккумулятора и тепловую изоляцию.

Баки-аккумуляторы могут иметь специальные встроенные или внешние теплообменники. Назначение и тип аккумулятора определяют ту или иную схему интеграции его в систему горячего водоснабжения (отопления) с использованием солнечных коллекторов.

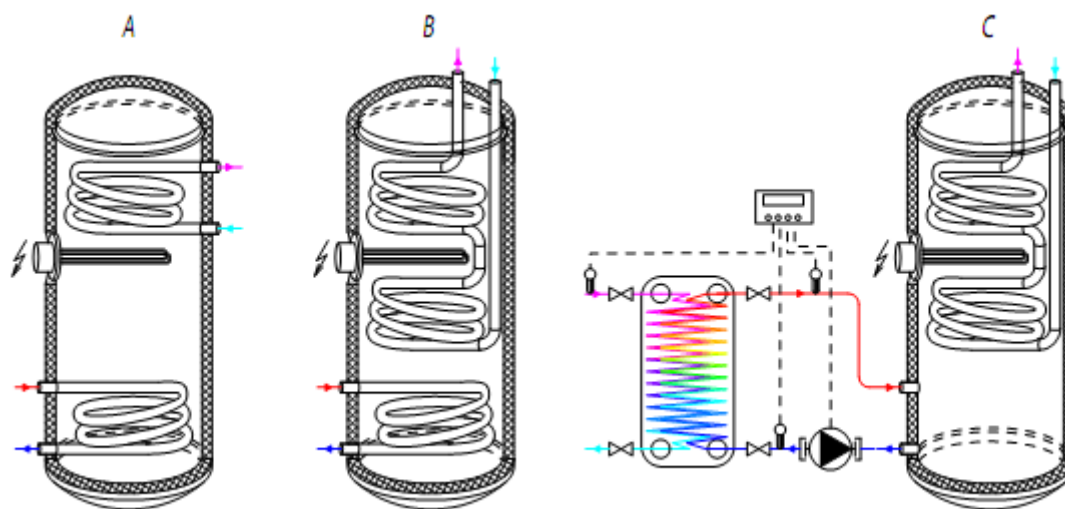


рис.8 Принципиальные схемы построения баков-аккумуляторов солнечной энергии:

А – с встроенными теплообменниками гелиосистемы и внешнего высокотемпературного источника; В – с встроенными теплообменниками гелиосистемы и ГВС; С – с встроенным теплообменником ГВС и внешним теплообменником гелиосистемы.

Для повышения КПД солнечных коллекторов, как правило, применяются специальные баки-аккумуляторы со встроенными внутри перегородками (мембранами) для предотвращения перемешивания и создания температурного расслоения жидкости по уровням (нижний – холодный, верхний – с высокой температурой).

Количество теплоты (кДж), которое может быть накоплено в емкостном аккумуляторе, определяют по формуле:

$$Q = mC_p(T_2 - T_1), \quad (3)$$

где m - масса теплоаккумулирующего вещества (кг); C_p - удельная теплоемкость вещества (кДж/кгК); T_1 и T_2 - средние значения начальной и конечной температур теплоаккумулирующего вещества (°C).

Емкость бака-аккумулятора подбирается исходя из выполняемых им задач (отопление, горячее водоснабжение), расчета теплотребления и мощности гелиосистемы.

3. Солнечные установки коммунально-бытового назначения

Солнечные водонагревательные установки получили широкое распространение особенно в последнее время с появлением новых технологий и материалов, повышением надежности в производстве и эксплуатации и сокращением сроков окупаемости в связи с ростом цен на энергоносители.

По принципу работы солнечные водонагревательные установки можно разделить на два типа: установки с естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя.

Водонагреватели с естественной циркуляцией теплоносителя.

Установка термосифонного типа с естественной циркуляцией теплоносителя содержит коллектор солнечной энергии, бак-аккумулятор горячей воды, подъемную и опускную трубы.

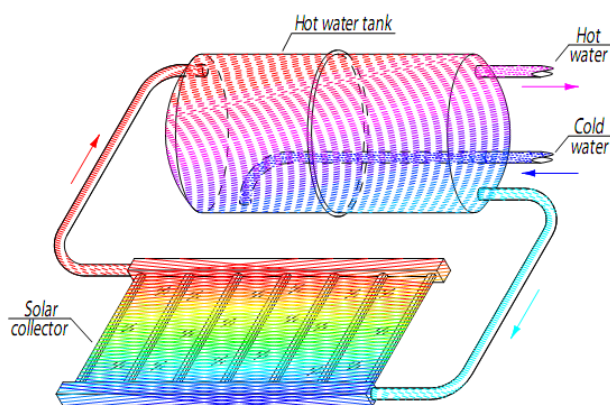


рис.9 Солнечный коллектор термосифонного типа (с естественной циркуляцией теплоносителя).

В нижнюю часть бака-аккумулятора подводится холодная вода, а из его верхней части отводится к потребителям горячая вода. Нагреваясь в солнечном коллекторе, вода по подъемной трубе из коллектора поступает в бак-аккумулятор, а по опускной трубе из бака в коллектор поступает более холодная вода для ее нагрева за счет поглощения солнечной энергии. За счет разности температур возникает разность давлений, вызывающая движение воды в контуре циркуляции.

Очевидно, что чем больше разность температур воды, тем больше разность давлений и интенсивнее движение воды. Т.е. солнечные водонагревательные установки с естественной циркуляцией теплоносителя являются саморегулирующимися системами, и расход жидкости в них полностью определяется интенсивностью поступающего солнечного излучения, а также теплотехническими и гидравлическими характеристиками оборудования. Поэтому такие установки получили широкое распространение в станах с высокой солнечной активностью как локальные (индивидуальные) источники горячей воды на 1-2 потребителя.

Системы с естественной циркуляцией в силу своих конструктивных особенностей обладают значительно меньшим КПД по сравнению с системами с принудительной циркуляцией. Кроме того, крайне проблематична их интеграция в комплексные системы отопления (горячего водоснабжения) с аккумулированием тепла в больших объемах и на продолжительный срок, а тем более в системы, связанные с перераспределением тепла между различными группами теплопотребителей, в различные сезоны и в разное время суток.

Водонагреватели с принудительной циркуляцией теплоносителя.

Водонагревательные гелиоустановки с принудительной циркуляцией теплоносителя, как правило, содержат два и более солнечных коллекторов, емкостной бак-аккумулятор, циркуляционный насос и контроллер управления системой. Циркуляционный насос осуществляет прокачку теплоносителя по контуру «солнечный коллектор - бак-аккумулятор».

В регионах с холодным климатом гелиосистемы не являются основным источником тепла, поэтому они интегрируются, как часть, в единую систему теплоснабжения дома, которые дополнительно включают в себя пиковый источник нагрева (электрический, газовый или твердотопливный котел, тепловой насос и т.п.), теплообменники, распределительно-запорную арматуру и трубопроводы, собственный контроллер теплоснабжения.

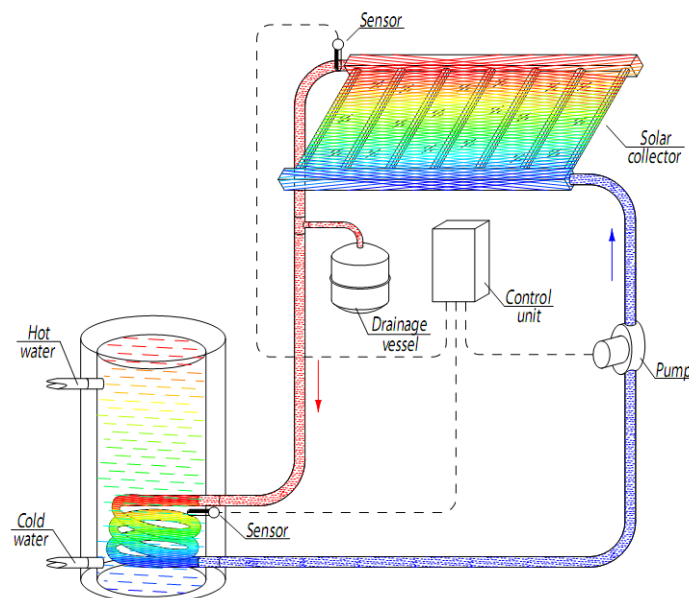


рис.10 Принципиальная схема водонагревательной гелиоустановки с принудительной циркуляцией теплоносителя.

Для повышения эффективности солнечных систем, интегрированных с систему отопления (горячего водоснабжения), при их совместном использовании с другими источниками тепла, рекомендуется:

1. Необходимо обеспечить улавливание максимально возможного количества тепла солнечными коллекторами. Это, в свою очередь, достигается применением солнечных коллекторов с высоким КПД, а также управлением объемом теплоносителя, прокачиваемого через коллектор, в зависимости от солнечной активности и разности температур. Последнюю задачу решают современные контроллеры, управляющие расходом непосредственно циркуляционного насоса гелиосистемы.
2. Следует исходить из того, что солнечная энергия является вспомогательным источником, но, одновременно, самым дешевым. Т.е. системы управления должны настраиваться с целью максимального использования солнечной энергии, исходя из солнечной активности, разности температур и выполняемых в текущий момент времени задач системой теплоснабжения дома. Такие функции свойственны самым современным контроллерам гелиосистем, имеющим необходимые контрольные датчики, программные функции и органы управления.
3. Необходимо избегать смешения сред с различными уровнями температуры в баке-аккумуляторе. В частности, с этой точки зрения, рекомендуется применять баки-аккумуляторы с разделительными внутренними перегородками (мембранами), не рекомендуется размещать электронагреватель в нижней (низкотемпературной) части аккумулятора или осуществлять подвод теплоты от дублирующего источника непосредственно в эту (низкотемпературную) зону.

4. Характеристики солнечных коллекторов Thermotech

Плоский FPSC солнечный коллектор Thermotech:

Технические данные	FP202
Площадь коллектора (м ²)	2,02
Площадь абсорбера (м ²)	1,84
Апертура коллектора (м ²)	1,84
Длина x ширина x толщина (мм)	1730x1170x83
Вес (кг)	35
Объем теплоносителя (л)	1,56
Поглощающая способность (%)	95
Тепловые потери (%)	5
Ø присоединения (мм)	4x22
Ø присоединения дренажа (мм)	8
Стекло ударопрочное	закаленное безопасное 3,2 мм
Пропускная способность стекла (%)	90
Изоляция (мм)	40 мм минеральная вата
Максимальная температура стагнации (°C)	234
Максимальное рабочее давление (бар)	10
Оптический КПД	0,814
коэффициент теплопотерь коллектора над абсорбером (Вт/м ² °C)	4,061
коэффициент теплопотерь коллектора через теплоизоляцию под абсорбером (Вт/м ² °C)	0,013

таблица.2 Технические характеристики плоского коллектора Thermotech..

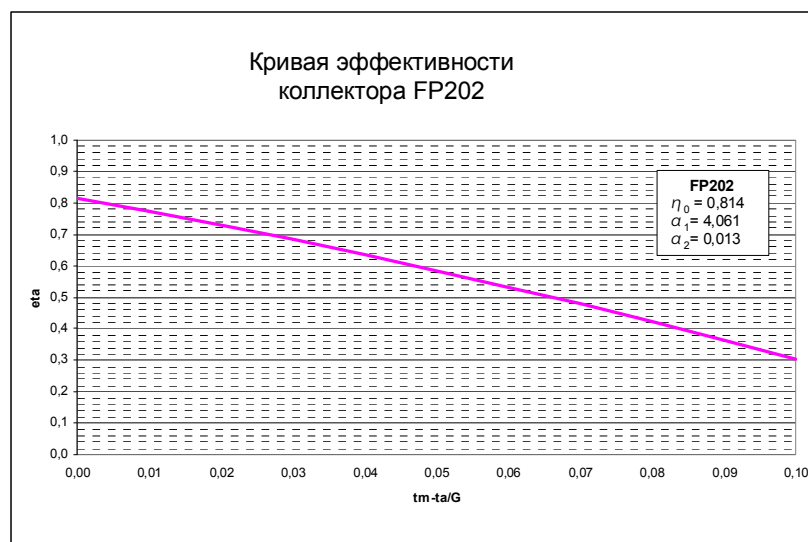


рис.11 Тепловая характеристика (коэффициент полезного действия) плоского коллектора Thermotech.

5. Расчет и проектирование солнечных установок

Расчет солнечных установок включает определение располагаемого количества солнечной энергии, теплопроизводительности солнечного коллектора и установки в целом, тепловой нагрузки отопления и горячего водоснабжения, энергетических и геометрических характеристик гелиосистемы, в том числе площади поверхности коллектора, объема аккумулятора теплоты, годовой экономии топлива и срока окупаемости.

Исходные данные для расчета гелиосистемы включают характеристики географического положения местности (как минимум, широту), климатические данные — среднемесячное дневное количество суммарной E и рассеянной (диффузной) E_p солнечной радиации (или, как минимум, суммарное годовое количество солнечной радиации для данной местности), и температуру наружного воздуха T_B . В большинстве случаев используются данные справочников по климату для данного региона.

Кроме того, по данным изготовителя солнечного коллектора используются его характеристики: эффективный оптический КПД η_0 и коэффициент K_k тепловых потерь, вид теплоносителя (его теплоемкость), а также геометрические размеры одного модуля коллектора. Для расчета гелиосистемы также необходимо знать среднемесячные суточные значения тепловой нагрузки отопления или иметь данные для их расчета, знать температуры холодной $T_{хв}$ и горячей воды $T_{гв}$ и суточное потребление горячей воды.

5.1 расчет солнечной энергии, поступающей на коллектор

Среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность солнечного коллектора, определяется по формуле

$$E_k = RE, \quad (4)$$

где E — среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность (Вт/м^2 в день); R — отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.

Среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии (E) выбирается из справочников по климату для данного региона. Используется, как правило, при раздельном расчете эффективности солнечных коллекторов для целей отопления и целей ГВС, с учетом средних температур воздуха для конкретных месяцев года.

Таблица 3. Среднее месячное поступление суммарной E солнечной радиации (кВтч/м²) и температура наружного воздуха T_e (°C) (пример)

Астрахань, широта 46.4	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	32,4	52,9	95,5	145,5	189,4	209,9	189,7	174,7	127,8	81,7	45,0	26,6	1371,1
T_e	-6,7	-5,6	0,4	9,9	18,0	22,8	25,3	23,6	17,3	9,6	2,4	-3,2	9,5
Владивосток, широта 43.1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	72,7	93,2	130,0	135,1	143,9	129,2	124,3	124,8	119,1	94,3	64,6	57,8	1289,5
T_e	-13,1	-9,8	-2,4	4,8	9,9	13,8	18,5	21,0	16,8	9,7	-0,3	-9,2	5,0
Москва, Котельническая наб, широта 55.7	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	16,4	34,6	79,4	111,2	161,4	166,7	166,3	130,1	82,9	41,4	18,6	11,7	1020,7
T_e	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1
Петрозаводск, широта 61.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	7,1	19,9	66,7	101,1	141,0	167,1	157,7	109,6	56,5	23,0	8,2	2,4	860,0
T_e	-11,1	-10,4	-5,4	1,3	7,6	13,6	15,7	14,1	8,9	2,9	-2,6	-7,2	2,3
Петропавловск-Камчатский, широта 53.3	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	30,2	49,6	94,3	127,3	152,9	155,8	144,9	131,1	91,0	64,4	33,6	23,3	1098,4
T_e	-7,5	-7,5	-4,8	0,5	3,8	8,3	12,2	13,2	10,1	4,8	-1,7	-5,5	2,1
Сочи, широта 43.6	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	37,0	55,2	84,0	116,6	167,1	199,0	206,8	185,0	130,1	95,4	54,2	34,7	1365,1
T_e	5,9	6,1	8,2	11,7	16,1	19,9	22,8	23,1	19,9	15,7	11,7	8,2	14,1
Южно-Сахалинск, широта 47	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	50,9	77,1	128,8	138,6	162,8	157,5	146,7	128,5	105,9	79,4	49,7	41,7	1267,5
T_e	-13,7	-12,8	-6,6	1,3	6,7	11,2	15,6	16,9	12,9	6,0	-2,3	-9,1	2,2
Киев, широта 50,5	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
E	26,7	41,7	83,8	115,9	161,7	182	176,8	148,9	129	80,8	44,4	28,6	1220,3
T_e	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,1	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7

Как уже отмечалось в главе-1 на практике для простоты расчетов солнечных систем и эффективности их использования применяется другой параметр E^{an} - среднее годовое значение солнечной радиации на 1м² (в кВт*ч/м²) горизонтальной поверхности. Этот показатель характерен, как правило, для определенной широты местности (для определенного региона): от 800 кВт*ч/м² (в районе 68° с.ш.) до 2000 кВт*ч/м² (в районе 39° с.ш.).

Применяя этот показатель в расчетной формуле, можно оценить годовую эффективность солнечного коллектора и мощность производимого им тепла, без учета разделения по месяцам и нагрузкам (отопление и ГВС). Как правило, такими расчетами пользуются при решении «обратной задачи»: оценка эффективности (годовой) солнечного коллектора для данного региона при заданной площади абсорбера и его характеристиках.

Отношение R представляет собой коэффициент пересчета количества солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность солнечного коллектора, установленного под углом к горизонту (β). Этот коэффициент (с «южной ориентацией») равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) R_{\pi} + \frac{E_p}{E} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (5)$$

где E_p – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающей на горизонтальную поверхность (Вт/ м² в день); E_p/E – среднемесячная дневная

доля рассеянного солнечного излучения; R_{η} – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность; β - угол наклона поверхности солнечного коллектора к горизонту; ρ - коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Для укрупненных расчетов возможно использовать значения R , приведенные в таблице.

Таблица 4. Среднемесячный коэффициент пересчета суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность коллектора.

месяц	Угол наклона коллектора к горизонту β , град.			
	30	45	60	90
I	1,3	1,37	1,37	1,18
II	1,35	1,43	1,44	1,23
III	1,24	1,27	1,23	0,98
IV	1,1	1,07	0,99	0,69
V	1,02	0,95	0,84	0,53
VI	0,98	0,9	0,78	0,47
VII	0,99	0,92	0,81	0,49
VIII	1,07	1,02	0,93	0,62
IX	1,2	1,21	1,15	0,88
X	1,34	1,41	1,4	1,18
XI	1,32	1,4	1,4	1,21
XII	1,41	1,52	1,56	1,39
Средне- годовое значение	1,11	1,09	1,01	0,72

5.2 расчет потребности теплоты на отопление и горячее водоснабжение

Суммарную тепловую нагрузку отопления и горячего водоснабжения за месяц можно записать как

$$Q_{\text{н}}^{\text{м}} = Q_{\text{о}} + Q_{\text{г.в.}} \quad (6)$$

а годовая суммарная тепловая нагрузка складывается из месячных величин:

$$Q_{\text{н}}^{\text{год}} = \sum_{i=1}^{12} Q_{\text{н}}^{\text{м}} \quad (7)$$

где $Q_{\text{о}}$ – нагрузка на систему отопления; $Q_{\text{гв}}$ – нагрузка на систему горячей воды.

Тепловую нагрузку отопления для каждого месяца можно определить по формуле

$$Q_{\text{о}} = \sum K_i F_i \Delta t \tau + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{в.т}}, \quad (8)$$

где K_i – расчетный коэффициент теплопотерь для данного элемента ограждающих конструкций (стен, окон, потолка, пола), Вт/(м²°C); F_i – площадь поверхности элемента ограждающей конструкции (м²); Δt – расчетная разность температур (°C); τ – продолжительность расчетного периода; $Q_{\text{инф}}$ – теплопотери, обусловленные инфильтрацией холодного воздуха; $Q_{\text{в.т}}$ – внутренне тепловыделение от оборудования, осветительных приборов, людей и т.п.

Фактический расчет отопительной нагрузки производят специалисты на основе действующих национальных нормативов и рекомендаций. В настоящем руководстве этот вопрос подробно не рассматривается.

Средний расход теплоты (Дж) на горячее водоснабжение здания за расчетный период

$$Q_{г.в} = 1,2aC_p \rho (t_{г.в} - t_{х.в}) Nn, \quad (9)$$

где **a**- норма расхода воды на горячее водоснабжение жилых зданий на 1 человека в сутки (л/сут); **C_p**– удельная теплоемкость воды, 4190 Дж/(кг°С); **ρ**- плотность воды (1 кг/л); **t_{г.в}** – температура горячей воды (°С); **t_{х.в}** – температура холодной воды (°С); **N**- число жителей; **n**- число дней в расчетном периоде.

На рис.12 приведена номограмма для определения расходов горячей воды **V_{гв}** (м³) и теплоты **Q_{гв}** (кВт) за месяц или год в зависимости от числа жителей **N**, суточной нормы расхода воды **a**- (л/сут) на одного человека, разности **Δt** температур горячей и холодной воды (°С).

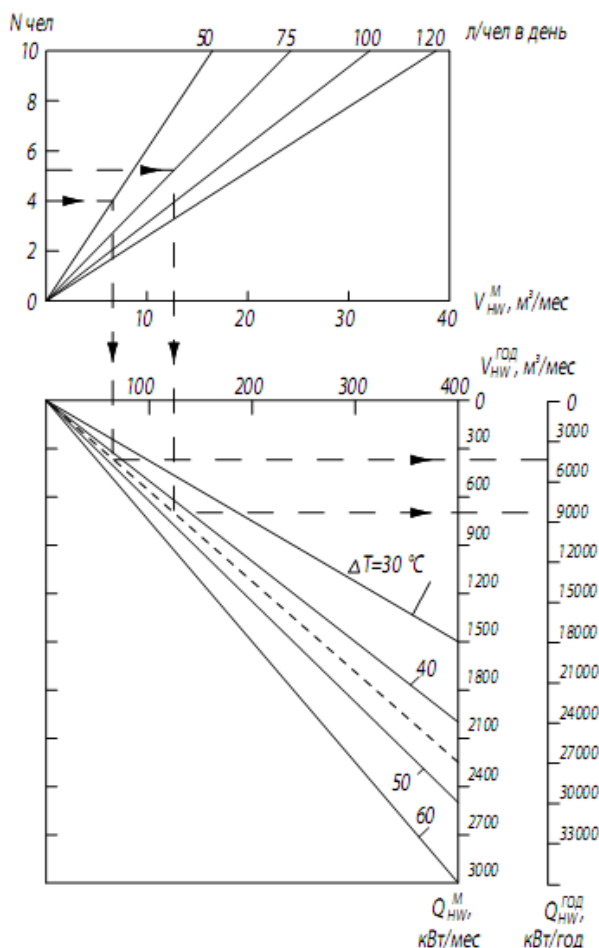


рис.12 Номограмма для определения расходов теплоты и воды для целей ГВС.

Приведем пример пользования номограммой. При разности температур воды **Δt=45°С**:

- при суточной норме расхода воды **75 л/чел в день** и для **N=5 чел** годовой расчетный расход теплоты равен **Q_{гв} = 8600 кВт/год**;

- при суточной норме расхода воды **50 л/чел в день** и для **N=4 чел** годовой расчетный расход теплоты равен **Q_{гв} = 5600 кВт/год**.

На практике, очень часто при укрупненном расчете гелиосистем или тепловых насосов и оценке их эффективности используют цифру **5000 кВт/год**, как годовую потребность источника тепла для целей горячего водоснабжения для частного жилого дома (**семья из 4-х человек**).

5.3 расчет теплопроизводительности солнечного коллектора

Выполнение точного детализованного теплового расчета солнечной системы теплоснабжения на практике представляет большие трудности из-за необходимости учета влияния случайных колебаний климатических параметров и сложного характера взаимодействия между элементами системы. Поэтому обычно используют упрощенные методы, которые основаны на обобщении результатов моделирования.

Тепловая мощность плоского FPSC коллектора солнечной энергии определяется как:

$$Q_k = A [I_k \eta'_o - K'_k (T_{T1} - T_v)] = G c_p (T_{T2} - T_{T1}), \quad (10)$$

где **A** – эффективная площадь поверхности (апертура) коллектора (м²); **I_k** – плотность потока солнечной энергии, поступающего на коллектор (кВт/м²) либо в формуле используется значение **E_k** (кВт/м² в месяц при расчете среднемесячной тепловой или в день при расчете среднемесячной дневной мощности коллектора); **η_o'** – эффективный оптический КПД коллектора; **K_k'** – общий коэффициент теплопотерь коллектора (Вт/м²°C); **T_{T1}** и **T_{T2}** – температуры на входе и выходе коллектора (°C); **T_v** – температура наружного воздуха (°C); **G** – массовый расход теплоносителя в коллекторе (кг/с); **c_p** – удельная теплоемкость теплоносителя в коллекторе, Дж/(кг°C).

При производстве расчетов величины **E_k** (поступление солнечной энергии на поверхность коллектора), **Q_h** (тепловая нагрузка на систему), **Q_k** (тепловая мощность коллектора) и **T_v** (температура воздуха) должны относиться к одному расчетному периоду. Как правило, производят расчеты систем: для целей горячего водоснабжения круглогодичного (1 год) или сезонного (весна-осень) действия; для подогрева воды бассейна сезонного действия (лето); для целей отопления – раздельно для каждого отопительного периода (месяца) либо в соответствии со степенью замещения для всего года в целом.

5.4 расчет емкости баков-аккумуляторов

При проектировании систем солнечного теплоснабжения расход теплоносителя и объем аккумулятора теплоты выбирают в зависимости от вида теплоносителя в контуре солнечного коллектора, типа самого аккумулятора и способа его интеграции в энергосистему, а также планируемого (нормативного) запаса тепла и степени замещения тепловой нагрузки теплом от гелио системы.

Расчеты емкостных аккумуляторов для целей отопления выполняются отдельно и по специальным методикам, т.к. накопление с использованием солнечного тепла производится на длительные периоды времени (сезонное), а циклы заряда-разряда аккумуляторов исчисляются днями.

В бытовом аспекте, гелиосистема служит только поддержкой системы отопления (предварительный нагрев теплоносителя) и расчет бака-аккумулятора, как правило, производится для нужд ГВС, исходя из норм горячей воды в сутки на одного человека.

Номограмма для определения площади **A** поверхности солнечного коллектора и объема **V** бака-аккумулятора гелио установки для горячего водоснабжения показана на рис.14. Либо, при заданной площади **A** поверхности солнечного коллектора, годовому поступлению солнечной энергии **E**, и потреблению горячей воды можно определить **f** степень замещения гелиоустановкой годовой потребности нагрузки для ГВС.

Исходными данными для расчета служат: **N**- число жителей; **a**- норма расхода воды на горячее водоснабжение жилых зданий на 1 человека в сутки (л/сут); **f**- степень замещения тепловой нагрузки горячего водоснабжения (среднегодовое значение - от 0,3 до 0,7 и сезонное – 1, для установок, эксплуатируемых с апреля по сентябрь) и годовое поступление солнечной энергии **E** (кВт*ч/м²).

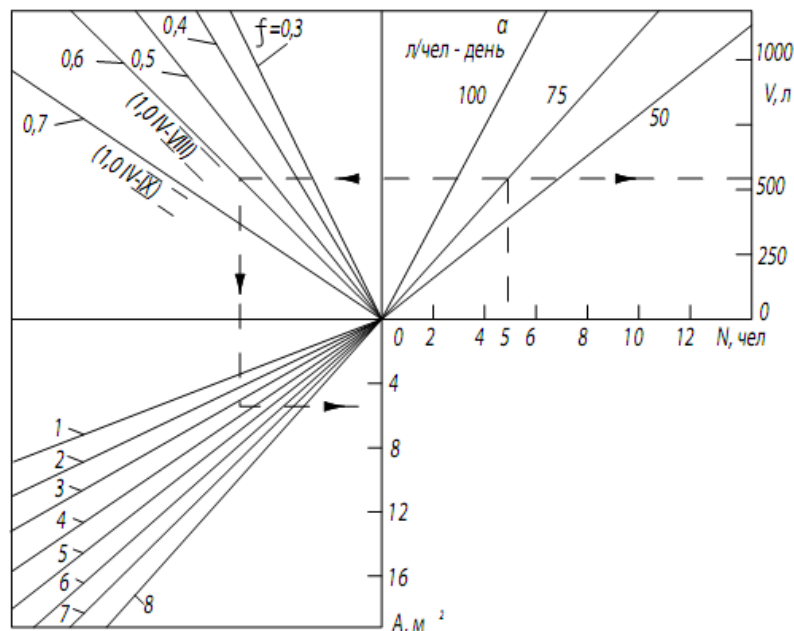


рис.13 Номограмма для расчета гелиоустановок для целей ГВС.

Годовое поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность (кВт*ч/м²): 1-1610; 2-1490; 3-1370; 4-1230; 5-1150; 6-1030; 7-920; 8-800

Пример. Численности семьи 5 человек, регион с годовым приходом солнечной энергии $E=1370$ кВт*ч/м². При норме расхода горячей воды 75 л/чел и сезонном расчете использования (период апрель-август, $f=1$) получается объем бака-аккумулятора составит $V=510$ л, а площадь солнечного коллектора около 5м².

На практике часто для оценки емкости бака-аккумулятора гелио системы жилого дома на одну семью используется следующая зависимость: объем бака-аккумулятора подбирается из расчета 50-100 литров на 1 кв.м площади солнечного коллектора.

5.5 Оценка экономической целесообразности применения гелиоустановки и срока окупаемости?

Оценку целесообразности применения системы солнечного теплоснабжения можно дать путем определения годового экономического эффекта от тепловой энергии, произведенной гелиосистемой, выраженной в стоимости 1 кВт/ч тепла от альтернативного источника (электрический, дизельный, газовый котел), и расчета срока окупаемости гелиоустановки.

Годовой эффект гелиосистемы определяется как

$$Eff_s^{an} = Q_s^{an} * Cost^{1kW_{alt}} \quad (11)$$

где Q_s^{an} – количество тепловой энергии, произведенной гелиоустановкой в год; $Cost^{1kW_{alt}}$ – стоимость 1кВт/ч тепла, произведенного альтернативным источником, с которым сравнивается гелиоустановка (электричество, мазут, газ и т.п.)

Годовое количество тепла, произведенного гелиоустановкой, определяется исходя из целей её применения (только горячее водоснабжение, или ГВС и отопление) с соответствующей степенью замещения f .

$$Q_s^{an} = f_h Q_h^{an} + f_{hw} Q_{hw}^{an} \quad (12)$$

где Q_h^{an} и Q_{hw}^{an} – количество тепловой энергии, необходимой для целей отопления и ГВС соответственно; f_h и f_{hw} – степень замещения гелиосистемой годовой потребности, соответственно, отопления и горячего водоснабжения

Степень замещения тепловой нагрузки горячего водоснабжения f_{hw} выбирается, как среднегодовое значение - от 0,3 до 0,7 для установок круглогодичного использования и сезонное – 1, для установок, эксплуатируемых с апреля по сентябрь. При этом количество произведенного тепла гелиоустановкой не может быть больше суммарной тепловой мощности коллектора, рассчитываемой по формуле (10).

При укрупненном расчете годовой эффективности гелиосистемы для целей отопления степень замещения f_{hw} отопительной нагрузки выбирают по номограмме рис.14 в зависимости от годового поступления солнечной энергии на горизонтальную поверхность ($Q_{\text{гг}}$ – $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), площади коллектора – A – (м^2), средней температуры теплоносителя системы отопления – T_h ($^{\circ}\text{C}$), и расчетной годовой потребности здания в отоплении – Q_h – ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$).

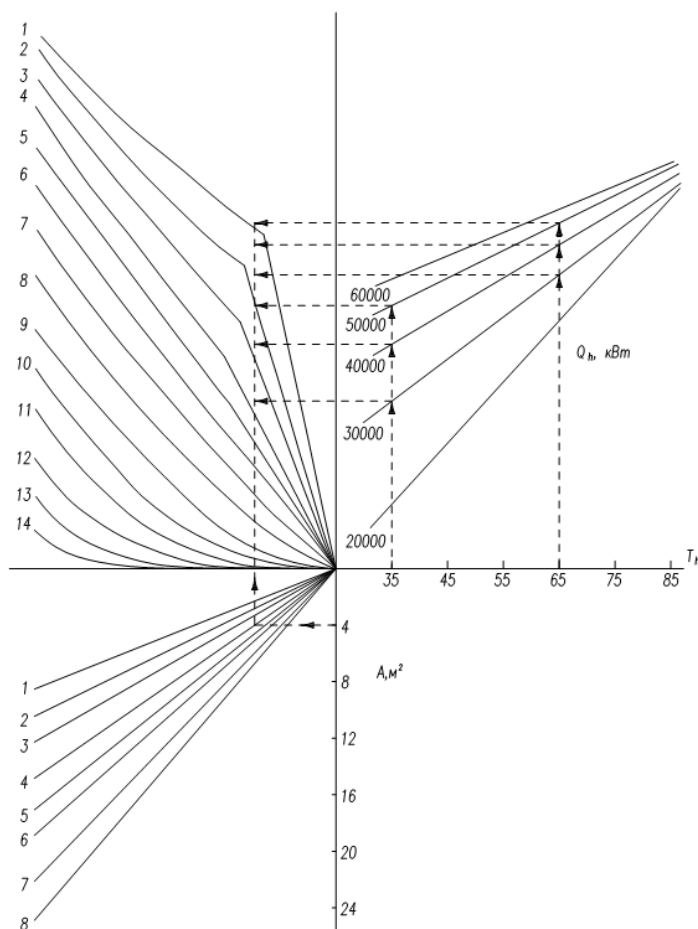


рис.14 Номограмма для определения степени покрытия потребности отопления (в год) гелиоустановкой. Годовое поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$): 1-1610; 2-1490; 3-1370; 4-1230; 5-1150; 6-1030; 7-920; 8-800

Срок окупаемости n (лет) гелиоустановки определяется как отношение разности капитальных затрат в гелиоустановку и в альтернативный источник к годовому экономическому эффекту гелиоустановки:

$$n = \frac{K_s^c - K_{alt}^c}{Q_s^{an} * Cost^{1kW}_{alt}} \quad (13)$$

где K_s^c – капиталовложения (инвестиции) в гелиосистему; K_{alt}^c – капиталовложения (инвестиции) в альтернативный источник. Капиталовложения включают в себя стоимость оборудования (солнечные коллекторы, трубопроводы, котлы, контроллеры, баки-аккумуляторы и т.п.) и его установку.

При этом если срок окупаемости, полученный при расчете, превышает срок жизни какого-либо элемента системы, то в соответствующие затраты необходимо включить стоимость этого оборудования и затраты на его замену, разделенные на срок жизни этого оборудования. Такая ситуация, например, характерна для солнечных коллекторов или электрических котлов низкого качества и невысокой стоимости, требующей замены элементов раз в 5-10 лет.

5.6 Пример расчета гелиосистемы

Пример 1. Определить эффективность гелиоустановки для дома 160 м² при площади солнечного коллектора 4 м² (2 панели, площадь абсорбера 1,84м каждой панели) круглогодичного использования для семьи из 5 человек, в районе с годовым приходом солнечной энергии $E=1200$ кВт*ч/м². Норма расхода горячей воды на 1 человека 50 л/день.

По номограмме рис.13 определяем емкость бака-аккумулятора. При степени замещения $f=0,7$ получаем объем **510 литров**.

Допустим, коллектор установлен под углом 45°, тогда $R=1,09$, а суммарное количество солнечной энергии, поступающее на коллектор, получится:

$$E_k = RE = 1,09 * 1200 = \mathbf{1308} \text{ кВт*ч/м}^2$$

Расчетом отопительной нагрузки определена годовая потребность в системе отопления $Q_h = \mathbf{26000}$ кВт*ч/год.

Определяем (по формуле 9) годовую потребность тепла на систему ГВС:

$$Q_{hw} = 1,2 * 50 * 4190 * 1 * (55-10) * 5 * 365 = 20,6 \text{ ГДж/год} = \mathbf{5735} \text{ кВт*ч/год}$$

Рассчитываем мощность коллектора (по формуле 10), либо определяем по номограмме рис.13 степень замещения нагрузки для ГВС:

$$- Q_s^{an} HW = 2 * 1,84 * (1308 * 0,814 - (4,061 + 0,013 * (55-10) * (55-10))) = \mathbf{3806} \text{ кВт*ч/год}$$

-или по номограмме получаем $f=0,6$; тогда мощность гелиоустановки для целей ГВС –

$$Q_s^{an} HW = 0,6 * Q_{hw} = 0,6 * 5735 = \mathbf{3441} \text{ кВт*ч/год}$$

Рассчитываем мощность гелиоустановки для целей отопления.

По номограмме рис.14 определяем степень замещения:

- $f=0,058$ (5,8%) для низкотемпературной системы отопления с температурой теплоносителя 35°C;

- $f=0,024$ (2,4%) для высокотемпературной системы с $T_h=65^\circ\text{C}$

Соответственно, получаем мощность гелиоустановки для целей отопления:

$$- \text{для } T_h=35^\circ\text{C } Q_s^{an} H = 0,06 * 26000 = \mathbf{1560} \text{ кВт*ч/год};$$

$$- \text{для } T_h=65^\circ\text{C } Q_s^{an} H = 0,024 * 26000 = \mathbf{624} \text{ кВт*ч/год}$$

Расчет срока окупаемости. Применение гелиоустановки рассматривается как альтернатива использования электрического котла. Стоимость 1 кВт*ч электроэнергии составляет 3 рубля. Инвестиции в гелиоустановку (2 солнечных коллектора, бак-аккумулятор, насосный блок с контроллером, трубопроводы, монтаж) составят $K_s^c = 200000$ рублей. Стоимость электрического котла с установкой $K_{alt}^c = 35000$ рублей.

Срок окупаемости составит:

- при использовании гелиоустановки только для целей ГВС

$$n_{hw} = (200000 - 35000) / (3441 \cdot 3) = 16,0 \text{ лет}$$

- при использовании гелиоустановки для целей ГВС и отопления:

система отопления низкотемпературная с $T_h = 45^\circ\text{C}$:

$$n_{h,hw}^{35} = (200000 - 35000) / (3441 + 1560) \cdot 3 = 11 \text{ лет}$$

система отопления высокотемпературная с $T_h = 65^\circ\text{C}$:

$$n_{h,hw}^{65} = (200000 - 35000) / (3441 + 624) \cdot 3 = 13,5 \text{ лет}$$

6. Монтаж солнечных установок

Монтаж гелиоустановки включает в себя:

1. установку коллектора солнечной системы:

- монтаж опорной конструкции солнечных коллекторов в зависимости от их типа, способа крепления и ориентации, устройства кровли и ее несущих конструкций;
- монтаж соединительных трубопроводов;
- монтаж насосного блока гелиосистемы;
- проверка трубопроводов и солнечных коллекторов на герметичность;
- установка датчиков системы управления гелиосистемой на коллектора и трубопроводы;
- теплоизоляция трубопроводов.

2. установка бака-аккумулятора гелиосистемы или интеграция гелиосистемы с существующими баками-аккумуляторами и источниками тепла

3. подключение трубопроводов к баку-аккумулятору

4. заполнение системы теплоносителем и проведение испытаний на плотность

5. подключение внешнего (дополнительного) источника теплоснабжения

6. подключение потребителей к системе

7. подключение электрической части контроллера, электропотребителей, участвующих в схеме гелиоустановки.

8. включение контроллера, выбор схемы управления, проведение тестов контроля и управления.

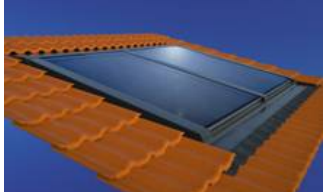
9. запуск гелиосистемы и вывод её на автоматизированный режим работы.

Монтаж трубопроводов, емкостей, нагревателей и их проверки производятся в соответствии с требованиями национальных норм для данных видов работ.

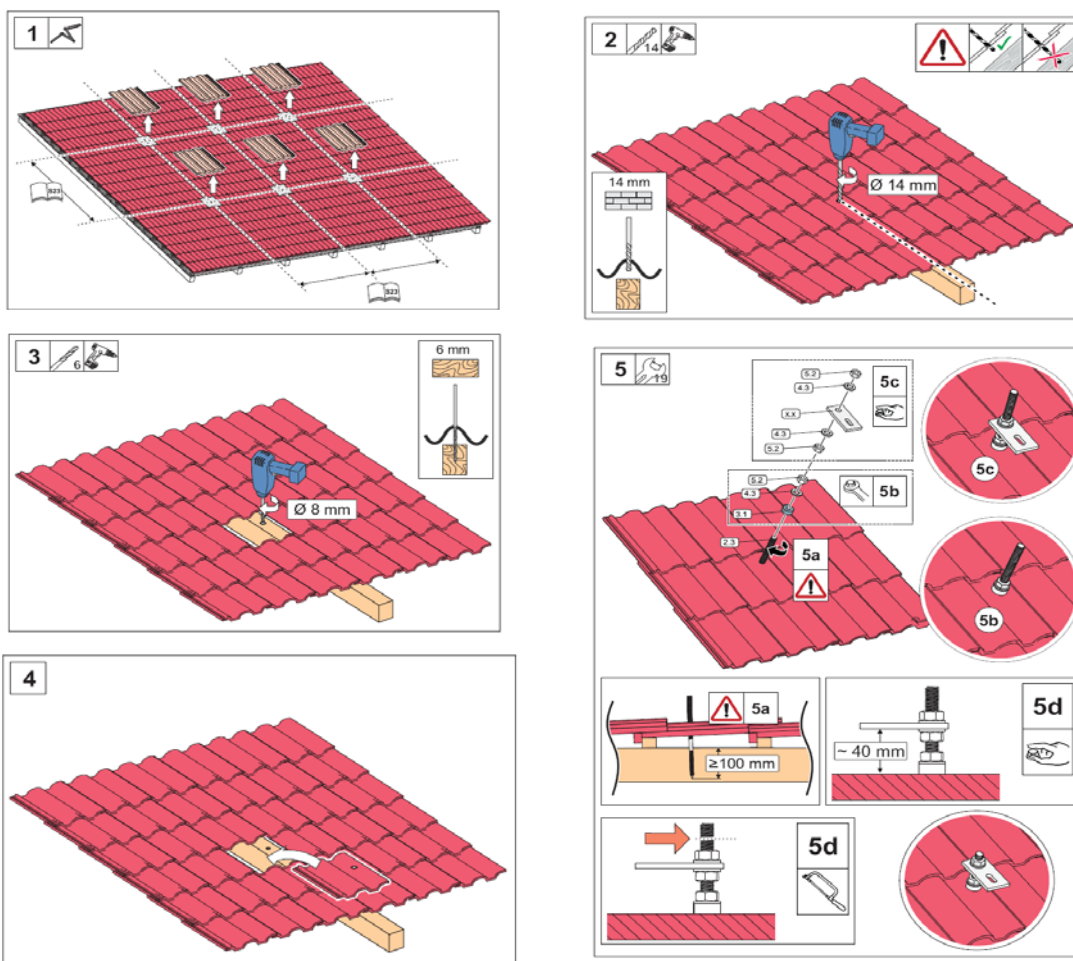
Для компенсации расширения теплоносителя должен быть установлен расширительный бак из расчета 1-2% емкости трубопроводов, встроенного в бак-аккумулятор теплообменника и солнечных коллекторов.

Монтаж солнечных коллекторов

В зависимости от способа установки солнечного коллектора Thermotech используются специальные монтажные комплекты

			
монтаж	на наклонных опорах	на наклонной кровле	встроенные в кровлю
монтажный комплект	SS45	DB0/SS0	специальная листовая инсталляция
ориентация	вертикальная/горизонтальная	вертикальная/горизонтальная	вертикальная в один ряд
тип кровли		• черепица (DB0) • шифер (SS0) • мягка кровля (DB0или SS0) • листовое железо (SS0)	черепичная кровля до 50мм

При монтаже следуйте специальным инструкциям и рекомендациям, изложенным в руководстве по использованию соответствующего монтажного комплекта и способа установки коллектора.



Рекомендации по подключению групп солнечных коллекторов:

Обозначения:

⊕запорный клапан

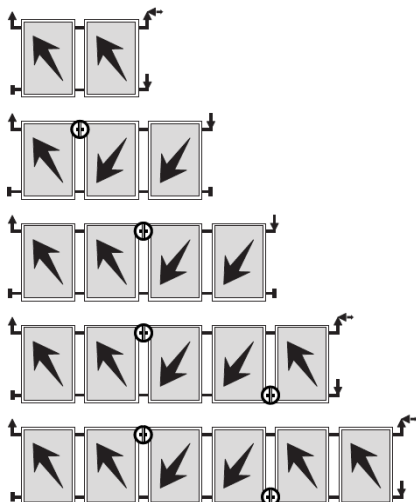
.....компенсатор линейного
линейного удлинения

.....воздухоотводчик

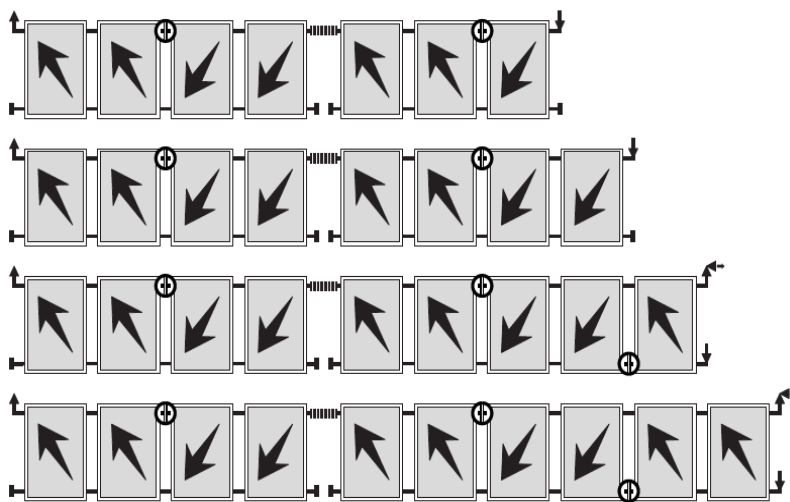
.....направление потока

- установка коллекторов вертикально

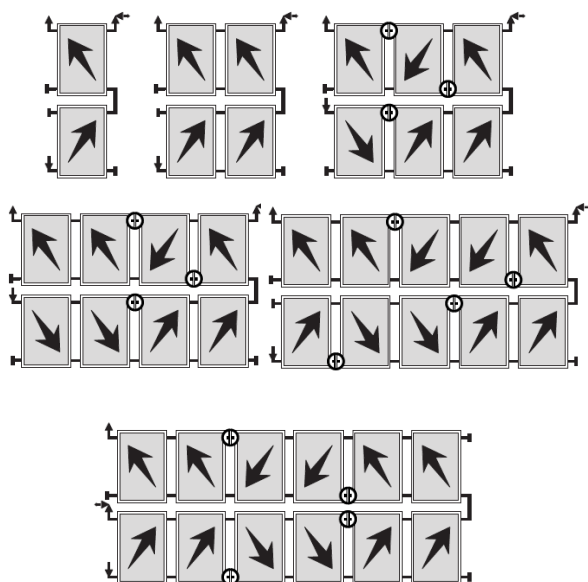
2 – 6 коллекторов



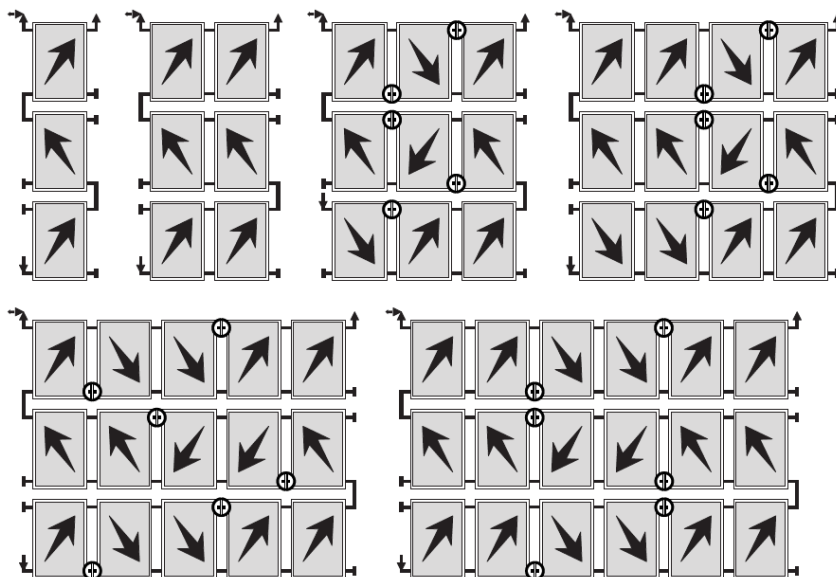
7 – 10 коллекторов



два ряда коллекторов



три ряда коллекторов



- установка коллекторов горизонтально

2 – 6 коллекторов

