



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Cooperation Office in the Kyrgyz Republic  
Кыргыз Республикасындагы Кызматташтык боюнча Швейцариялык Бюро  
Швейцарское Бюро по сотрудничеству в Кыргызской Республике



European Bank  
for Reconstruction and Development



Empowered lives.  
Resilient nations.

Тренинг Центра развития ВИЭ и  
энергоэффективности

Бишкек, 15 -18 апреля 2013

# СОЛНЕЧНЫЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ (СВНУ)

Подготовил: Пантелеев В.П.,  
Заведующий лабораторией ВИЭ, КРСУ

ЦРВИЭЭ, [www.creed.net](http://www.creed.net), 2013

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- 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.  $2 \times 10^{17}$  кВт · ч
- Распределение глобального потока солнечного тепла на поверхности земного шара неравномерно. Количество солнечной энергии, поступающей за год на  $1 \text{ м}^2$  поверхности Земли (рис.1), изменяется приблизительно от  $800 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  на севере до  $2200 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  в наиболее жарких пустынных местах ( $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кДж}$ , а  $1000 \text{ кДж} = 1 \text{ МДж} = 0,278 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ ).



# СРЕДНЕМЕСЯЧНОЕ ДНЕВНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ (кВт/ м<sup>2</sup> 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                                                 | 4,9           | 3,8 | 2,6 | 1,5 | 0,5 |     |     |     |     |     |
| Средн<br>е-<br>годово<br>й<br>суточн<br>ый<br>поток | 5,9           | 5,8 | 5,5 | 4,9 | 3,9 | 3,3 | 2,6 | 1,9 | 1,4 | 1,3 |



- На практике для простоты расчетов солнечных систем и эффективности их использования применяется другой (обобщенный) параметр: среднее годовое значение солнечной радиации на  $1\text{ м}^2$  (в  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ) горизонтальной поверхности.
- Этот показатель характерен, как правило, для определенной широты местности (для определенного региона): от  $800\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  (в районе  $68^\circ$  с.ш.) до  $2000\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  (в районе  $39^\circ$  с.ш.).





# ОРИЕНТАЦИЯ СВНУ

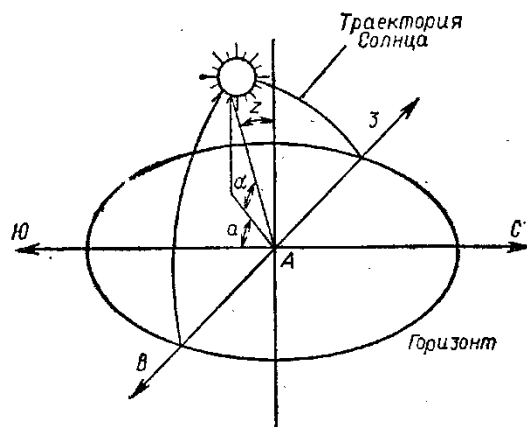


Рис. 67. Углы, определяющие положение точки A на земной поверхности относительно солнечных лучей

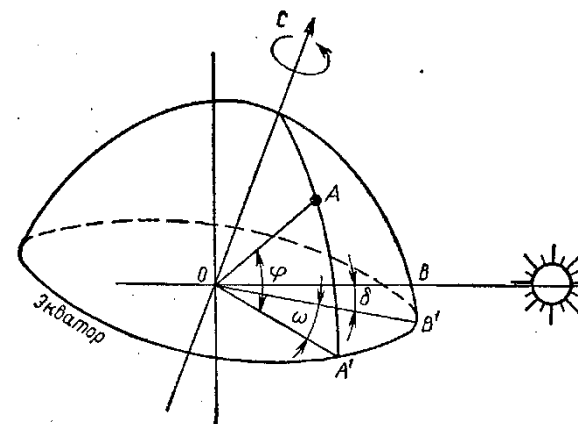


Рис. 66. Схема кажущегося движения Солнца по небосводу

Склонение Солнца в данный день определяется по формуле

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

$$E_K = RE,$$



☞ 
$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2}$$

○ где

$E_p$ – среднемесячное (диффузное) дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающей на горизонтальную поверхность (Вт/ м<sup>2</sup> ·день);

$E_p/E$ - среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;

$R_n$ – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

$\beta$ - угол наклона поверхности солнечного коллектора к горизонту;

$\rho$ - коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.



$R_N$  КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕСЧЕТА ПРЯМОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА НАКЛОННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ КОЛЛЕКТОРА:

$$8 \quad R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega'_3 \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}$$

○ где

$\rho$  – коэффициент отражения для подстилающей поверхности Земли.

$\omega_3$  ,  $\omega'_3$  – часовые углы захода Солнца на горизонтальной и наклонной поверхностях, град.

Часовой угол захода определяется:

– для горизонтальной поверхности –

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta)$$

– для наклонной поверхности –

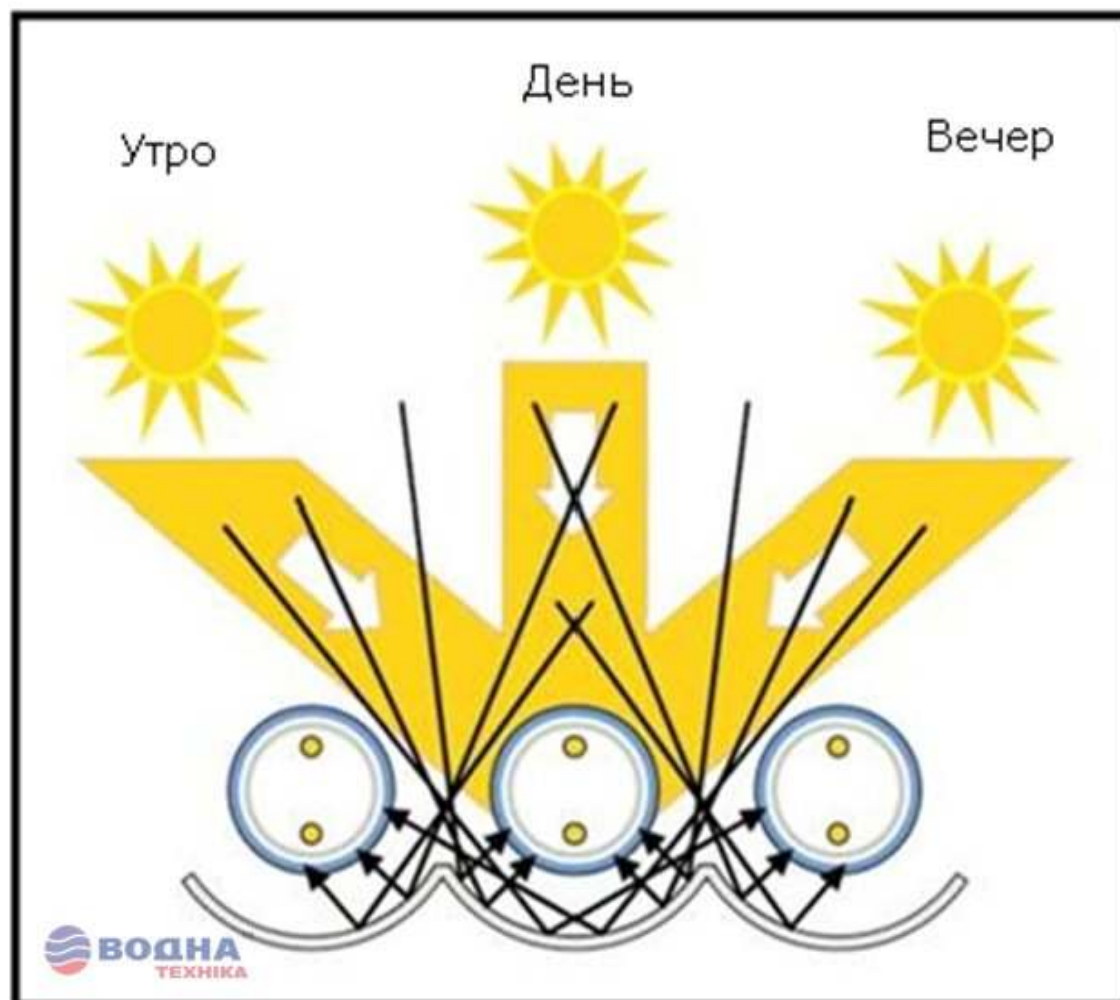
$$\omega'_3 = \min[\omega_3; \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta)]$$



- Очень важно при монтаже коллекторов в Кыргызстане обеспечить соответствующий угол их наклона по отношению к линии горизонта, обеспечивающий максимальное поглощение солнечной энергии.
- Летом наиболее эффективным является угол  $30^\circ$ , а зимой —  $60^\circ$ .
- Плоский коллектор, который будет использоваться преимущественно летом, необходимо устанавливать под углом  $30^\circ$  по отношению к поверхности земли, а коллектор, который будет использоваться круглый год, — под углом  $45^\circ$ .
- Вакуумные трубчатые коллекторы с непосредственной циркуляцией теплоносителя можно монтировать в любом положении, но при условии, что солнечные лучи попадают на него в течение не менее 6 часов в день. Угол его установки можно менять в зависимости от времени года.

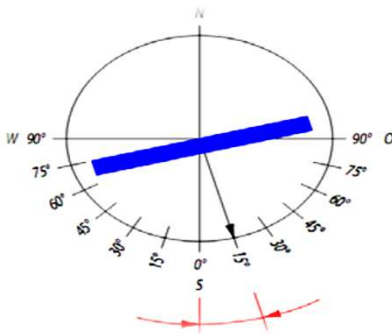


Это обстоятельство выгодно отличает подобную конструкцию солнечных коллекторов от всех других



## Азимут $\alpha$

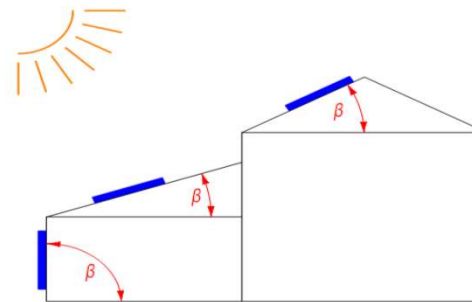
- При азимуте  $+15 - 15^\circ$  (юго-западное и юго-восточное направление соответственно) среднегодовой приход солнечной энергии на поверхность солнечного коллектора уменьшается всего на 2% по сравнению с ориентированным строго на юг (азимут=0), а при азимутах  $+40^\circ$  - на 13%, при этом наибольшее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



Установка коллектора с азимутом  $15^\circ$  на восток

## Угол наклона ( $\beta$ )

- Угол наклона образуется между гелио коллектором и горизонтальной плоскостью (линией горизонта)
- С точки зрения выполняемых задач оптимальный угол наклона  $\beta$  принимается равным: для систем отопления – широте  $\varphi + 15^\circ$ ; для систем ГВС круглогодичного действия – широте  $\varphi$ , 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.



Установка коллектора под углом  $\beta^\circ$



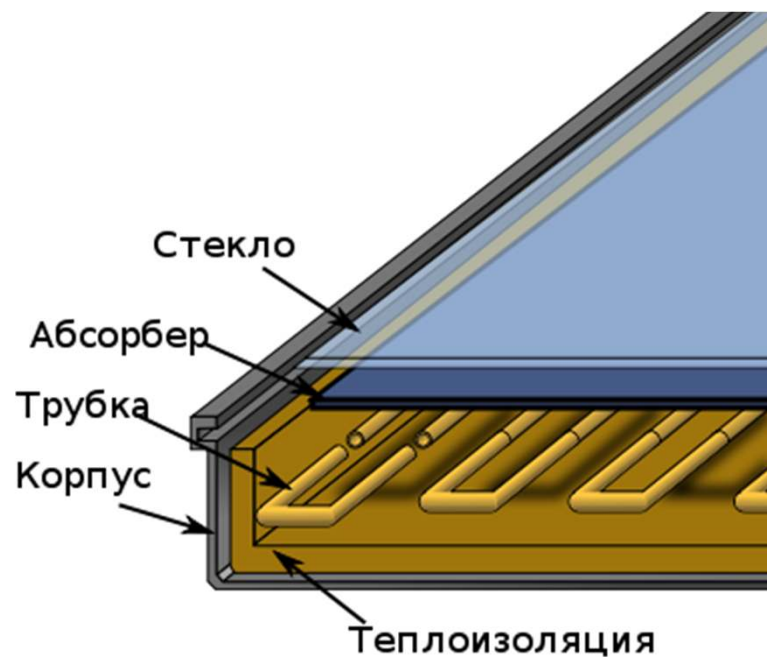
# СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ И АККУМУЛЯТОРЫ ТЕПЛОТЫ

- Коллектор является основным конструктивным элементом солнечной установки, в котором происходит улавливание солнечной энергии, её преобразование в теплоту и нагрев теплоносителя.
- **Наиболее распространенные типы солнечных коллекторов**
  - Плоские солнечные коллекторы
  - Вакуумные солнечные коллекторы



# ПЛОСКИЕ КОЛЛЕКТОРЫ

Конструктивные элементы плоского коллектора:



## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

- К числу **принципиальных преимуществ** плоского коллектора относятся его **способность эффективно улавливать как прямую, так и рассеянную солнечную энергию**, без существенного снижения эффективности на протяжении длительного (современных коллекторов до 50 лет) срока эксплуатации.
- **Главный недостаток** плоского коллектора – это его **масса и габариты**, создающие определенные неудобства при транспортировке и монтаже.



## КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД)

- На практике, современный эффективный плоский гелиоколлектор работает со средним **КПД** в 50%, более устаревшие модели работают с КПД – 20-40%. КПД солнечного коллектора нестабильный показатель и, может определяться только для конкретных условий эксплуатации в отдельный момент времени. Чем меньше температура, до которой требуется нагреть воду, тем выше КПД гелиоколлектора.
- Например, только из-за применения более эффективного поглощающего покрытия (**высокоселективного**), в облачную погоду разница в эффективности солнечных коллекторов может достигать 45%.



# ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

- ⑥ Коэффициент полезного действия солнечного коллектора определяется его эффективным оптическим КПД  $\eta_0$  и эффективным коэффициентом теплопотерь  $K_k$  коллектора:

- $\eta_k = \eta_0 - K_k \cdot (T_{T1} - T_B) / I_k$

- где

$I_k$  – интенсивность потока солнечной энергии, поступающего на коллектор (Вт · ч/м<sup>2</sup>);

$K_k$  – эффективный коэффициент теплопотерь коллектора (Вт/м<sup>2</sup> · °С);

$T_{T1}$  – температура на входе в коллектор (°С);

$T_B$  – температура наружного воздуха (°С).



- Оптический КПД  $\eta_o$  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.  $\eta_o$  является характеристикой, полученной при испытании и сертификации коллектора, и обязательно указывается производителем в технических данных на коллектор.





## ОБЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ $K_k$ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ КОЛЛЕКТОРА

- суммарные тепловые потери над и под абсорбером:
- $K_k = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot (T_{T1} - T_B)$
- где
- $\alpha_1$  —коэффициент теплопотерь коллектора над абсорбером (Вт/м<sup>2</sup> ·°C);
- $\alpha_2$  · —коэффициент теплопотерь коллектора через теплоизоляцию под абсорбером (Вт/м<sup>2</sup> ·°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.**



# ВАКУУМНАЯ ТРУБКА ТИПА 1

- **цилиндрические трубки** из стекла (колбы), а солнечные коллекторы на их основе получили название «трубчатые».
- Это одна из самых простых, распространенных и недорогих **вакуумных трубок** для **солнечных водонагревательных установок**.
- Используется в системах с открытым контуром или с низким давлением.
- В системах, где теплоносителем является вода, рекомендовано применение при продолжительных температурах не ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ .
- На основе данной трубки изготавливаются некоторые другие модификации.



## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

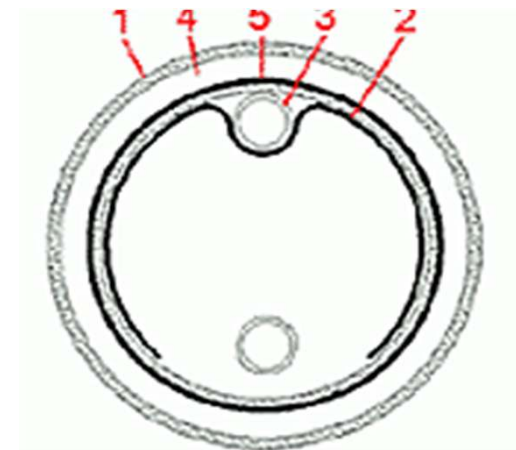
| Параметр                                        | Значение                     |
|-------------------------------------------------|------------------------------|
| Длина трубок, мм                                | 1500, 1800                   |
| Внешний диаметр трубок, мм                      | 47, 58                       |
| Макс. давление, Мпа                             | 0,6                          |
| Устойчивость к граду, мм                        | до 25                        |
| Максимальная температура без повреждений трубки | >250 С                       |
| Материал трубки                                 | боросиликатное<br>стекло 3.3 |
| Толщина стекла, мм                              | 2                            |
| Время эксплуатации, лет                         | 15                           |

- По данным с сайта Департамента энергетики США, такие трубки являются "изобретением китайских производителей". Выпускаются только в Китае. В Европе и США выпускаются трубки только типов, описанных ниже.



## ВАКУУМНАЯ ТРУБКА С МЕДНЫМИ КАНАЛАМИ

- Эта трубка разработана на основании трубки типа 1 для закрытых активных систем. Внутрь введена контактная пластина и медная трубка. Характеристики аналогичны трубке типа 1. Могут выдерживать давление водопровода.



Вакуумная трубка с медными каналами.

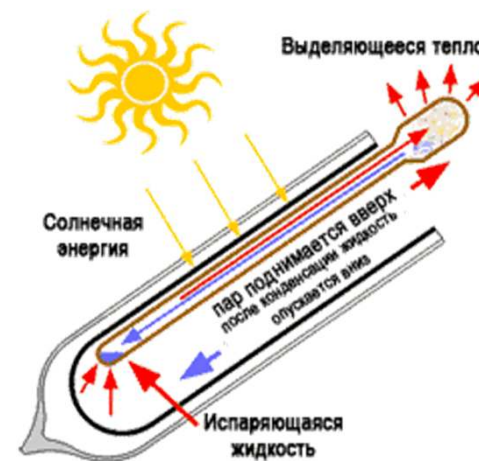
1. Внешняя стеклянная трубка
2. Контактная пластина
3. Медная трубка с теплоносителем
4. Вакуум
5. Внутренняя стеклянная трубка.



# ВАКУУМНАЯ ТРУБКА С ТЕПЛОВЫМ СТЕРЖНЕМ

## HEAT PIPE

- Состоит из трубки типа 1, внутрь которой введена контактная пластина и теплопроводный стержень - тепловая трубка.
- Данная трубка устойчива к замораживанию и работоспособна без повреждений до  $-50^{\circ}\text{C}$ .
- Внутри стержня находится небольшое количество антифриза при малом давлении, поэтому испарение жидкости начинается при достижении температуры внутри трубки  $+30^{\circ}\text{C}$ .
- При меньшей температуре трубка "запирается" и дополнительно сохраняет тепло
- Это более продвинутый тип трубки, который может работать при низких температурах и давлении водопровода.



Вакуумная трубка с тепловым стержнем Heat Pipe



## ***ВАКУУМНАЯ ТРУБКА С ТЕПЛОВЫМ СТЕРЖНЕМ SUPER HEAT PIPE***

- Улучшенная версия вакуумной трубки с тепловым стержнем.
- Внутри прозрачной вакуумной трубки устанавливается плоская поглощающая пластина, соединенная с тепловым стержнем.
- Трубка имеет большой диаметр (70 мм) и, соответственно, площадь поглощающей поверхности.
- Схема работы тепловой трубки аналогична описанному выше.
- Из-за большей площади поглощения время перехода в режим выделения тепла может быть всего 2 минуты.



**Вакуумная трубка с  
тепловым стержнем Super  
Heat Pipe**





## СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ КОММУНАЛЬНО- БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

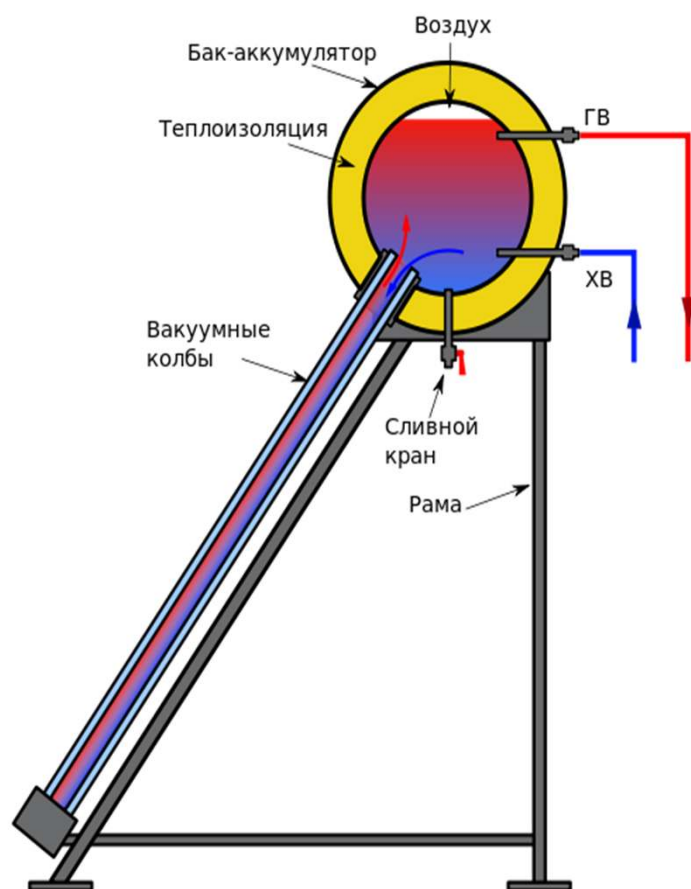
- Солнечный коллектор – это не вся гелиосистема, и он не может вырабатывать полезную тепловую энергию самостоятельно, если вся система не работает правильно.
- Существует великое множество вариантов гелиосистем, и тепловая энергия, которую они могут выработать в определенный день, ограничена. Она зависит от многих факторов, поэтому, для корректного расчета гелиосистем необходимо использовать сложные программные продукты.
- Ввиду того, что поступающая солнечная энергия на земную поверхность нестабильна во времени, коллекторы почти всегда подключаются к **аккумулятору** тепловой энергии (бак с водой или специальной жидкостью, бассейн, грунт), который накапливает полезную энергию (системы без аккумулялирования тепла значительно менее эффективны).



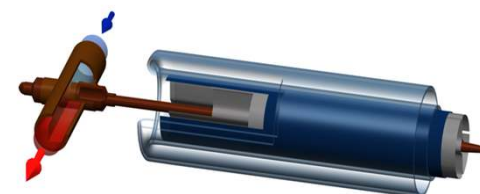
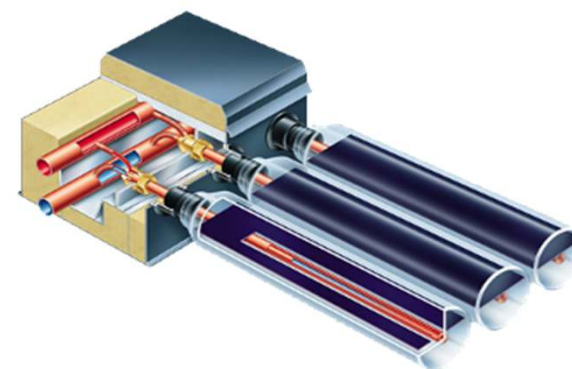
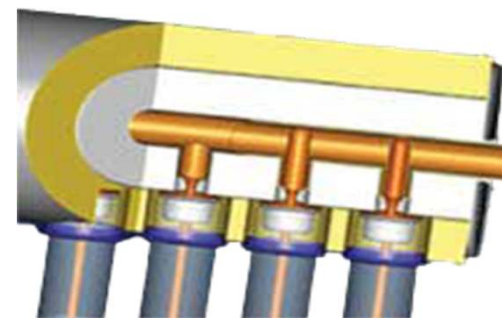
Условная выработка тепловой энергии для  
нагрева воды в солнечный день, гелиосистемой,  
состоящей из 1 м<sup>2</sup> эффективного гелиоколлектора  
и бака с горячей водой на 80-100 л



# СХЕМА РАБОТЫ ВАКУУМНОЙ ТРУБКИ СОВМЕСТНО С ТЕРМОСИФОННОЙ ТРУБКОЙ.



- Перенос тепла происходит за счёт того, что жидкость испаряется на горячем конце трубки и конденсируется на холодном, а затем снова перетекает на горячий конец.
- Под воздействием тепла жидкость испаряется и забирает тепло вакуумной трубки. Пары поднимаются в верхнюю часть – головку, где конденсируются и передают тепло теплоносителю основного контура водопотребления или незамерзающей жидкости отопительного контура.
- Коллектор медных трубок размещается в верхней части вакуумного коллектора.
- Конденсат стекает вниз, и все повторяется снова. Приемник солнечного коллектора медный с полиуретановой изоляцией, закрыт нержавеющей листом. Передача тепла происходит через медную “гильзу” приемника.
- Благодаря этому отопительный контур отделен от трубок, при повреждении одной трубки коллектор продолжает работать.
- Процедура замены трубок очень проста, при этом нет необходимости сливать незамерзающую смесь из контура теплообменника.



- Другим важным преимуществом коллекторов с тепловыми трубками является их способность работать при температурах до  $-35^{\circ}\text{C}$  (полностью стеклянные коллекторы с тепловыми трубками) или даже до  $-50^{\circ}\text{C}$  (коллекторы с металлическими тепловыми трубками).
- При этом коллектор помещается снаружи помещения, а все остальное оборудование – внутри дома, что способствует минимизации тепловых потерь.
- 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.



- 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.



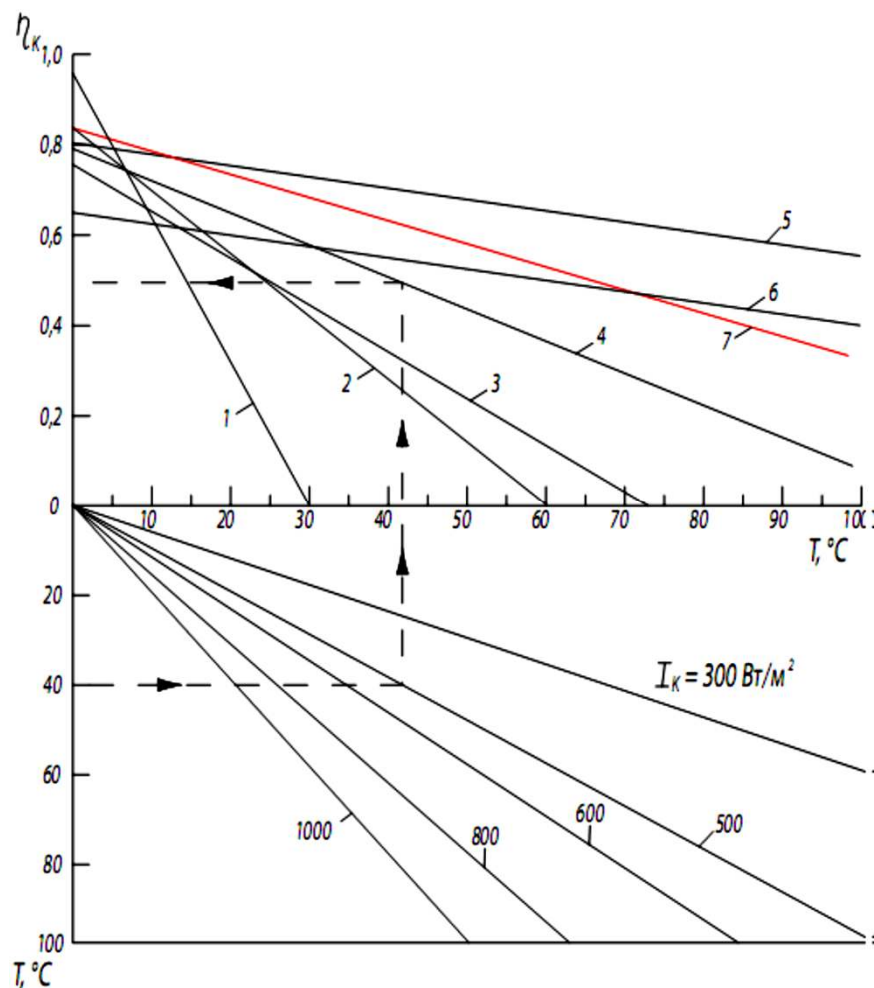
Общий вид вакуумного коллектора с медными трубками

- 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 коллекторы с эффективностью даже превышающей эффективность вакуумных коллекторов некоторых производителей и в диапазоне определенных температур.





# ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ (СПРАВОЧНАЯ)



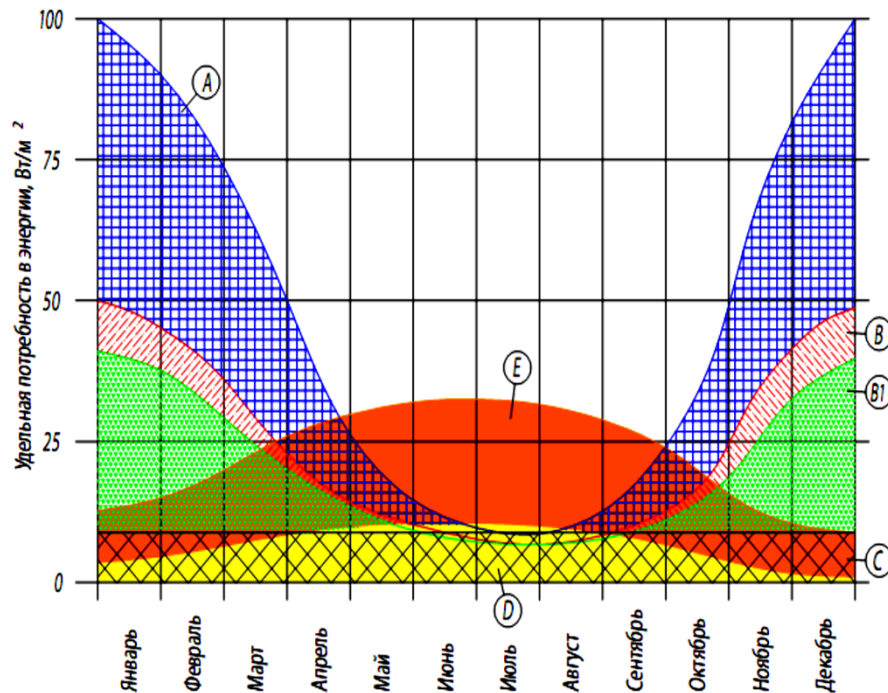
- 1 – коллектор без остекления;
- 2 – коллектор с однослойным остеклением;
- 3 – коллектор с двухслойным остеклением;
- 4 – селективный плоский коллектор с однослойным остеклением;
- 5 – вакуумированный коллектор высокого качества (как правило, типа U-pipe);
- 6 – вакуумированный коллектор среднего качества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





# АККУМУЛЯТОРЫ ТЕПЛОТЫ

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



## 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.

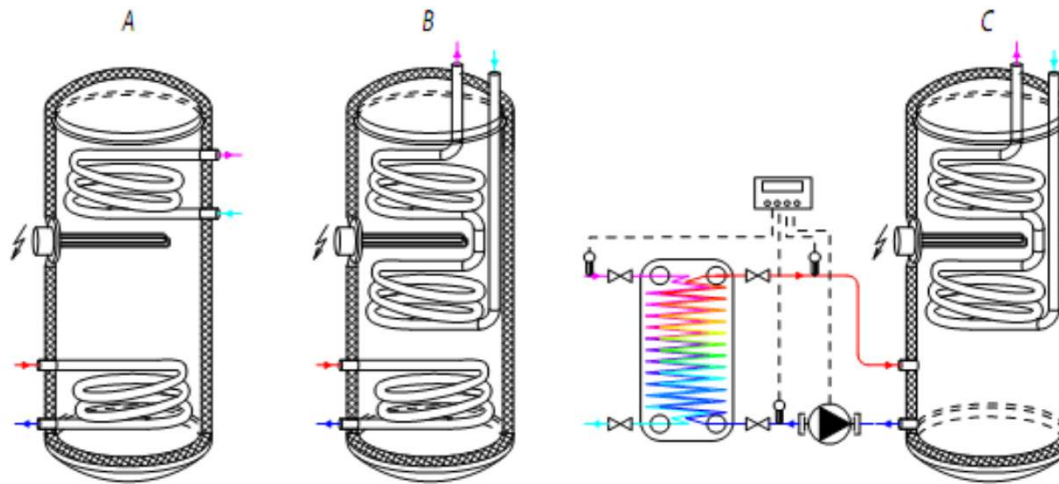


## СИСТЕМА АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ

- 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.



## 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.



## КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ (кДж), КОТОРОЕ МОЖЕТ БЫТЬ НАКОПЛЕНО В ЕМКОСТНОМ АККУМУЛЯТОРЕ:

❶ определяют по формуле:

○  $Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1),$

○ где

$m$ - масса теплоаккумулирующего вещества (кг);

$C_p$ - удельная теплоемкость вещества (кДж/кг · К);

$T_1$  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.



ПО ПРИНЦИПУ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫЕ  
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ МОЖНО  
РАЗДЕЛИТЬ НА ДВА ТИПА:

- установки с  
естественной  
циркуляцией  
теплоносителя

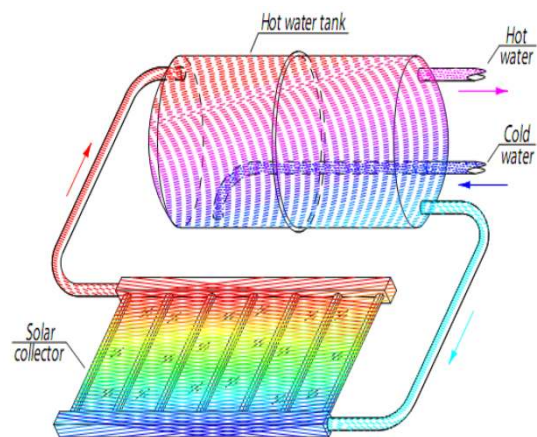
- установки с  
принудительной  
циркуляцией  
теплоносителя.





# ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.

- Установка термосифонного типа с естественной циркуляцией теплоносителя содержит коллектор солнечной энергии, бак-аккумулятор горячей воды, подъемную и опускную трубы.
- Работа происходит за счет разности температур



технологическая схема;



общий вид коллектора

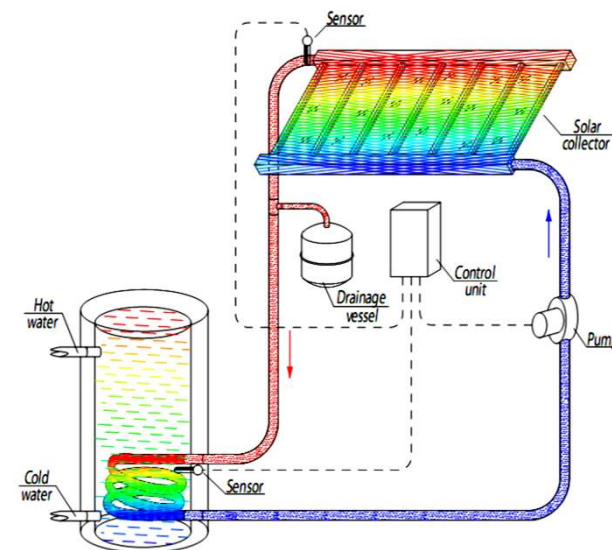


- Системы с естественной циркуляцией в силу своих конструктивных особенностей обладают значительно меньшим КПД по сравнению с системами с принудительной циркуляцией.
- Крайне проблематична их интеграция в комплексные системы отопления (горячего водоснабжения) с аккумулярованием тепла в больших объемах 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 коллектора, 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.



Принципиальная схема  
водонагревательной  
гелиоустановки с принудительной  
циркуляцией теплоносителя



Для повышения эффективности солнечных систем, интегрированных с системой отопления (горячего водоснабжения), рекомендуется:

- 1. Обеспечить улавливание максимально возможного количества тепла солнечными коллекторами..
- 2. Системы управления настроить с целью максимального использования солнечной энергии, исходя из солнечной активности, разности температур и выполняемых в текущий момент времени задач системой теплоснабжения дома.
- 3. Избегать смешения сред с различными уровнями температуры в баке-аккумуляторе.



# ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКОГО КОЛЛЕКТОРА THERMOTECH

| Технические данные                                                                               | FP202                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Площадь коллектора (м <sup>2</sup> )                                                             | 2,02                         |
| Площадь абсорбера (м <sup>2</sup> )                                                              | 1,84                         |
| Апертура коллектора (м <sup>2</sup> )                                                            | 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 тепловых потерь коллектора над абсорбером (Вт/м <sup>2</sup> °C)                     | 4,061                        |
| коэффициент тепловых потерь коллектора через теплоизоляцию под абсорбером (Вт/м <sup>2</sup> °C) | 0,013                        |



## 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,
- климатические данные – среднемесячное дневное количество суммарной  $E$  и рассеянной (диффузной)  $E_p$  солнечной радиации,
- температуру наружного воздуха  $T_B$

**В большинстве случаев используются данные справочников по климату для данного региона.**





## ИСПОЛЬЗУЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЛЕКТОРА:

- эффективный оптический КПД  $\eta_o$
- коэффициент  $K_k$  тепловых потерь,
- вид теплоносителя (его теплоемкость),
- геометрические размеры одного модуля коллектора

Для расчета гелиосистемы также необходимо знать среднемесячные суточные значения тепловой нагрузки отопления или иметь данные для их расчета, знать:

- температуру холодной  $T_{хв}$  и
- температуру горячей воды  $T_{гв}$
- суточное потребление горячей воды.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

- $E_k = E \cdot R$

- Где

$E$ — среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность (кВт/м<sup>2</sup> в день);

$R$ — отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.



- Географическое положение и климатические условия Кыргызстана являются самыми благоприятными для использования солнечной энергии. Годовое поступление солнечной радиации по Кыргызстану в среднем составляет около 2000 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год).
- Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация в Кыргызстане на горизонтальную поверхность при безоблачном небе за каждый месяц года, МДж/(м<sup>2</sup>·месяц) в зависимости от географической широты местности приведена в таблице
- 1 МДж/(м<sup>2</sup>·месяц) равен 0,278 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·месяц).

| Месяц                                     | Географическая широта, град. с.ш. |      |      |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                           | 40                                | 44   | 48   | 52  | 56  | 60  | 64  | 68  |
| январь                                    | 322                               | 261  | 207  | 164 | 113 | 68  | 35  | –   |
| февраль                                   | 417                               | 365  | 324  | 270 | 220 | 169 | 134 | 112 |
| март                                      | 639                               | 603  | 565  | 528 | 467 | 406 | 405 | 282 |
| апрель                                    | 757                               | 724  | 702  | 678 | 650 | 612 | 585 | 567 |
| май                                       | 893                               | 872  | 862  | 850 | 840 | 825 | 824 | 809 |
| июнь                                      | 897                               | 889  | 881  | 880 | 873 | 877 | 864 | 865 |
| июль                                      | 891                               | 886  | 877  | 882 | 875 | 856 | 855 | 889 |
| август                                    | 803                               | 768  | 736  | 719 | 695 | 660 | 641 | 639 |
| сентябрь                                  | 654                               | 619  | 589  | 540 | 486 | 454 | 400 | 355 |
| октябрь                                   | 510                               | 465  | 406  | 344 | 267 | 208 | 173 | 122 |
| ноябрь                                    | 358                               | 308  | 254  | 194 | 127 | 84  | 56  | 34  |
| декабрь                                   | 298                               | 234  | 184  | 126 | 84  | 47  | –   | –   |
| Итого,<br>МДж/(м <sup>2</sup> ·го<br>д)   | 7439                              | 6994 | 6587 |     |     |     |     |     |
| Итого,<br>кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·г<br>од) | 2068                              | 1944 | 1831 |     |     |     |     |     |

СНиП «Строительная климатология КР», Кыргызстан, 01.06.2000 г

- Данные по поступлению солнечной энергии по г. Бишкек приведены в таблице 4. Где  $E$  и  $E_p$  – дневное поступление суммарной и рассеянной солнечной радиации соответственно [ $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{день})$ ], а  $T_B$  – температура наружного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) по месяцам
- $E$  и  $E_p$  – дневное поступление суммарной и рассеянной солнечной радиации соответственно [ $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{день})$ ], и  $T_B$  – температура наружного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) по месяцам

| Поз.  | I    | II    | III   | IV    | V    | VI    | VII  | VIII  | IX    | X     | XI   | XII  |
|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|
| $E$   | 7,56 | 10,13 | 12,28 | 17,37 | 21,6 | 25,16 | 24,3 | 21,73 | 17,37 | 11,61 | 7,09 | 5,8  |
| $E_p$ | 3,91 | 5,36  | 6,34  | 7,78  | 6,91 | 7,78  | 7,56 | 6,48  | 5,56  | 4,86  | 3,34 | 3,1  |
| $T_B$ | -5,6 | -3,2  | 3,8   | 11,4  | 16,9 | 21,3  | 24,1 | 22,6  | 17,3  | 10,1  | 2,2  | -2,9 |

Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоиздат, 1991. – 208 с.



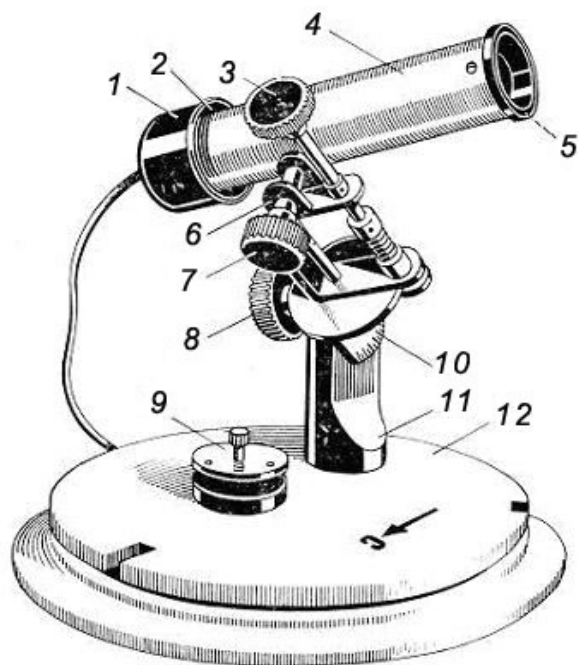
- Данные по поступлению среднемесячной солнечной энергии [МДж/(м<sup>2</sup>·месяц)] по г. Бишкек приведены в таблице

| Поз.           | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Год,<br>МДж/м <sup>2</sup> | Год,<br>кВт·ч/<br>м <sup>2</sup> |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----------------------------|----------------------------------|
| Е              | 234 | 284 | 381 | 521 | 670 | 755 | 753 | 674  | 521 | 360 | 213 | 180 | 5546                       | 1542                             |
| Е <sub>р</sub> | 121 | 150 | 197 | 233 | 214 | 233 | 234 | 201  | 167 | 151 | 100 | 96  | 2097                       | 583                              |

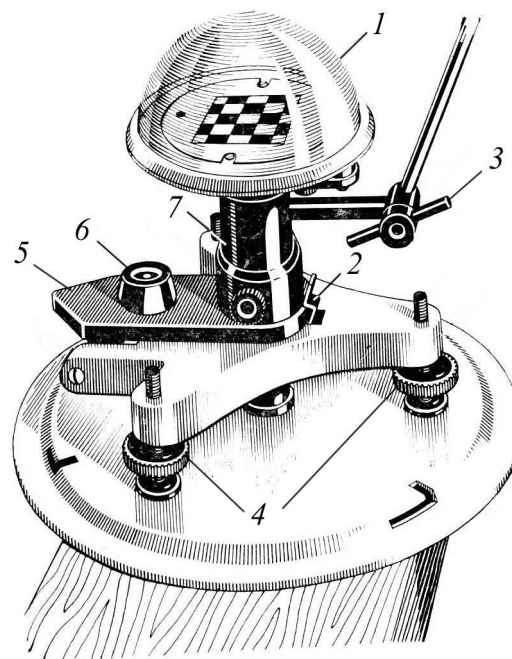
СНиП «Строительная климатология КР», Кыргызстан, 01.06.2000 г



# АКТИНОМЕТРИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ



Актинометр термоэлектрический АТ-50



Пиранометр универсальный М-80 М



# КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА ПРИБОРОВ

- Коэффициент пересчета актинометра

$K_a = 0,0111 + 2,8(20 - 29,4) \cdot 10^{-5} = 0,0111 - 0,00026 = 0,0108 \text{ кВт/м}^2$  при  $t_v = 29,4^\circ\text{C}$ .

- Прямая солнечная радиация:

$$\Theta = K_\alpha \cdot (N_p + N_{\text{м.н.}}) = 0,0108 \cdot (59,2 + 5,2) = 0,0108 \cdot 64,4 = 0,696 \text{ кВт./ м}^2$$

- где:

$N_p = 54,3$  дел. - среднее значение нескольких измерений гальванометром ГСА-1;

$K_\alpha = 0,0111 \text{ кВт/м}^2$  - коэффициент актинометра при  $t_v = 20^\circ$ ;

$N_{\text{м.н.}} = 5,2$  дел - место нуля актинометра на шкале гальванометра ГСА-1.

- Коэффициент пересчета пиранометра

$K_p = 0,0174 + 2,8(20 - 29,4) \cdot 10^{-5} = 0,0174 - 26,32 \cdot 10^{-5} = 0,0174 - 0,0002632 = 0,0171 \text{ кВт/м}^2$  при  $t_v = 29,4^\circ\text{C}$ .

- Рассеянная солнечная радиация определяется, например, при двух отсчетах и при затененном пиранометре :

$$\Theta_p = K_p \cdot (N_{\text{ср}} + N_{\text{м.н.}}) = 0,0171 \cdot (14,05 + 5,4) = 0,0171 \cdot 19,45 = 0,332 \text{ кВт./м}^2$$

- Суммарная солнечная радиация определяется при открытом пиранометре:

$$\Theta_\Sigma = K_p \cdot (N_{p1} + N_{p2}) / 2 = 0,0171 \cdot 57,77 = 0,988 \text{ кВт./м}^2.$$

- Прямая солнечная радиация равна

$$\Theta = \Theta_\Sigma - \Theta_p = 0,988 - 0,332 = 0,656 \text{ кВт/ м}^2.$$





СРЕДНЕМЕСЯЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕСЧЕТА СУММАРНОГО ПОТОКА  
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЬ  
КОЛЛЕКТОРА.

УГОЛ НАКЛОНА КОЛЛЕКТОРА К ГОРИЗОНТУ  $\beta$ , ГРАД.

| Месяц                    | Угол наклона коллектора к горизонту $\beta$ , 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-<br>годовое<br>зн | 1,11                                               | 1,09 | 1,01 | 0,72 |



## РАСЧЕТ ПОТРЕБНОСТИ ТЕПЛОТЫ НА ОТОПЛЕНИЕ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

- Суммарную тепловую нагрузку отопления и горячего водоснабжения за месяц можно записать как
  - $Q_H^M = Q_0 + Q_{ГВ}$
  - Величина годовой суммарной тепловой нагрузки складывается из месячных величин:
  - $Q_H^{год} = \sum_1^{12} Q_H^M$
  - где
- $Q_0$  - нагрузка на систему отопления;
- $Q_{ГВ}$  – нагрузка на систему горячей воды.



8 Тепловую нагрузку отопления для каждого месяца можно определить по формуле

○  $Q_0 = \sum Ki \cdot Fi \cdot \Delta t + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{вТ}}$

○ где

$Ki$  – расчетный коэффициент теплопотерь для данного элемента ограждающих конструкций (стен, окон, потолка, пола), Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

$Fi$  – площадь поверхности элемента ограждающей конструкции (м<sup>2</sup>);

$\Delta t$  - расчетная разность температур (°С);

$\tau$  - продолжительность расчетного периода;

$Q_{\text{инф}}$  - теплопотери, обусловленные инфильтрацией холодного воздуха;

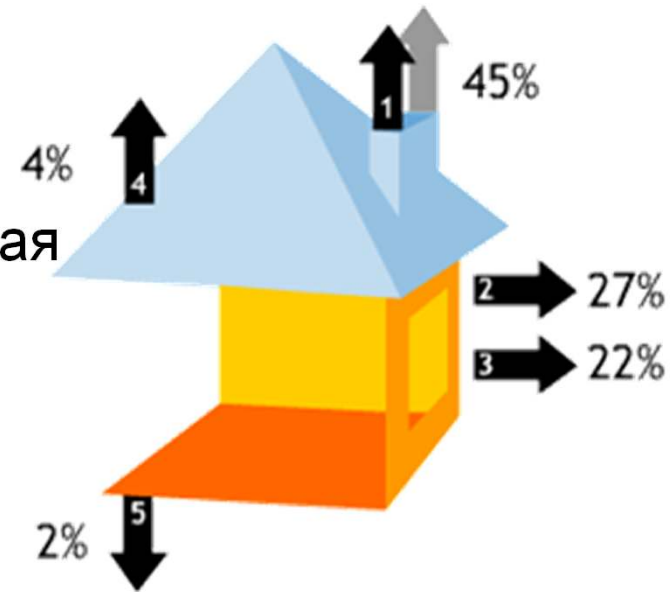
$Q_{\text{в.Т}}$  – внутренне тепловыделение от оборудования, осветительных приборов, людей и т.п.



# РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ЖИЛОМ ДОМЕ.

Потери тепла в жилом доме происходят:

- 1 – за счет воздухообмена, включая инфильтрацию – 45% (поз.1);
- 2 – через наружные стены – 27% (поз.2);
- 3 – через оконные проемы – 22% (поз.3);
- 4 – через потолочное перекрытие и крышу – 4% (поз.4);
- 5 – через пол и подвальное помещение отапливаемого дома – 2% (поз.5).



## *ПОСТУПЛЕНИЕ ТЕПЛА В ЖИЛОЙ ДОМ ПРОИСХОДИТ:*

- – от системы отопления;
- – от работающих электроприборов в доме;
- – в процессе приготовления пищи;
- – за счет солнечной радиации.

Расчет отопления жилого дома необходим для компенсации тепловых потерь, перечисленных выше.



## ПРИБЛИЖЁННЫЙ РАСЧЁТ ТЕПЛОПOTЕРЬ ДОМА

- Коэффициенты (K), учитывающие утечку тепла в доме приведены в таблицах 14-20.
- Величина теплопотерь определяется по эмпирической формуле
- $Q_T = q \cdot S \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7$
- где:

$Q_T$  — теплопотери дома, Вт;

$q_{\text{ватт/м}^2}$  — удельная величина тепловых потерь (65–80 ватт/м<sup>2</sup>), которая состоит из теплового потока через материалы окон, стен и потолка, вентиляция и т.п.;

$S \text{ м}^2$  — площадь помещения;

K — коэффициенты теплопотерь конструкций дома.



| Окна           | Тройной<br>стеклопакет | Двойной<br>стеклопакет | Обычное (двойное)<br>Остекление |
|----------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| K <sub>1</sub> | 0,85                   | 1,0                    | 1,2                             |

| Стены          | Хорошая изоляция | Ж/бетон, кирпич (2),<br>утеплитель (150мм) | Плохая изоляция |
|----------------|------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| K <sub>2</sub> | 0,85             | 1,0                                        | 1,27            |

| Соотношение площадей<br>окон и пола | 10%  | 11%–<br>19% | 20%  | 21%–<br>29% | 30% | 31%–<br>39% | 40% | 50% |
|-------------------------------------|------|-------------|------|-------------|-----|-------------|-----|-----|
| K <sub>3</sub>                      | 0,80 | 0,90        | 1,10 |             |     |             |     |     |

| Температура снаружи помещения | до<br>–10° | –10° | –15° | –20° | –25° | –30° | –35° |
|-------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| K <sub>4</sub>                | 0,70       | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | 1,20 | 1,30 |

| Число стен, выходящих наружу | Одна | Две  | Три  | Четыре |
|------------------------------|------|------|------|--------|
| K <sub>5</sub>               | 1,0  | 1,11 | 1,22 | 1,33   |

| Тип помещения<br>над рассчитываемым | Обогреваемое<br>помещение | Теплый чердак | Холодный чердак |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|
| K <sub>6</sub>                      | 0,82                      | 0,91          | 1,00            |

| Высота<br>помещения | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| K <sub>7</sub>      | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 |





## ПРИМЕР РАСЧЕТА

- **Исходные данные для расчета:**

Окна – Обычное (двойное) остекление ( $K_1=1,2$ );

Стены – Хорошая теплоизоляция ( $K_2=0,85$ );

Соотношение площадей окон и пола – 10% ( $K_3=0,8$ );

Температура снаружи помещения –  $10^{\circ}\text{C}$  ( $K_4=0,7$ );

Число стен, выходящих наружу – Четыре ( $K_5=1,33$ );

Тип помещения над рассчитываемым – Обогреваемое помещение ( $K_6=0,82$ );

Высота помещения – 2,5 метра ( $K_7=1,00$ );

Площадь помещения –  $100\text{м}^2$ .

- Тогда:

$$Q_T = 80 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,33 \cdot 0,82 \cdot 1,00 = 4983,6 \text{ Вт.}$$



- **Тепловая производительность котла для отопления дома**

Тепловая производительность (мощность  $N_K$ ) котла подбирается в зависимости от значения тепловых потерь здания, исходя из следующих расчетов:

$$N_K = (1,15 - 1,20) \cdot Q_T, \text{ кВт},$$

- где

$N_K$  – тепловая производительность (мощность) отопительного котла (кВт).

Коэффициент запаса 15–20% дается для того, чтобы перекрыть незапланированные тепловые потери и возможное отклонение от расчетного количества солнечных дней в холодные периоды отопительного сезона.

Таким образом, тепловая производительность отопительного котла окончательно будет равна:

$$N_K = 1,2 \cdot 4983,6 = 5980,32 \text{ Вт} = 5,983 \text{ кВт}$$



- Месячные и годовые валовые потенциалы суммарной солнечной энергии в кВт·ч/м<sup>2</sup> приведены в таблице 14 по г. Бишкек для различного наклона поверхностей СФЭУ и при слежении ПП СФЭУ за Солнцем.

| Бишкек,<br>широта 43° | Горизонтальная<br>панель | Вертикальная<br>Панель | Наклон панели<br>35° | Вращение вокруг<br>полярной оси |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Январь                | 37                       | 65,8                   | 62,0                 | 76,0                            |
| Февраль               | 55,2                     | 76,5                   | 80,2                 | 99,1                            |
| Март                  | 84,0                     | 81,1                   | 103,5                | 129,9                           |
| Апрель                | 116,6                    | 80,0                   | 125,0                | 160,1                           |
| Май                   | 167,1                    | 86,9                   | 163,0                | 222,1                           |
| Июнь                  | 199,0                    | 86,2                   | 184,9                | 269,3                           |
| Июль                  | 206,8                    | 95,7                   | 198,1                | 289,0                           |
| Август                | 185,0                    | 113,6                  | 197,0                | 284,0                           |
| Сентябрь              | 130,1                    | 119,0                  | 161,6                | 222,0                           |
| Октябрь               | 95,4                     | 130,0                  | 141,7                | 185,8                           |
| Ноябрь                | 54,2                     | 97,6                   | 92,8                 | 117,2                           |
| Декабрь               | 34,7                     | 67,6                   | 61,7                 | 75,6                            |
| Год                   | 1365,1                   | 1099,9                 | 1571,4               | 2129,9                          |

- Таким образом, по данным таблицы, в марте месяце величина солнечной энергии равна 103,5 кВт · ч/(м<sup>2</sup> · месяц).

- Величина месячной тепловой нагрузки, необходимой на компенсацию тепловых потерь жилого дома в марте будет равна:

$$Q_T^M = Q_T \cdot n_M \cdot h_c = 5,983 \cdot 31 \cdot 24 = 4451 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

- Величина годовой тепловой нагрузки при 6-ти месячном отопительном сезоне составит:

$$Q_T^{\text{ГОД}} = Q_T^M \cdot 6 = 26706 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

- Площадь солнечных коллекторов, необходимых для 100% покрытия тепловых потерь жилого дома в марте месяце при  $\eta = 0,5$  будет равна:

$$A_{\text{СК}}^{\Sigma} = \frac{Q_T^M}{Q_{\text{СК}}^M \cdot \eta_{\text{СК}}} = \frac{4451}{103,5 \cdot 0,5} = 86 \text{ м}^2$$



- 8 Объем аккумуляторного бака принимаем равным:

$$V_{AB} = 0,1 \cdot A_{СК}^{\Sigma} = 86 \cdot 0,1 = 8,6 \text{ м}^3$$

- При использовании солнечных коллекторов типа СВНУ–150 (площадь солнечной панели  $1,6 \text{ м}^2$ ) необходимо

$$m_{СП} = \frac{A_{СК}^{\Sigma}}{A_{СК}} = \frac{86}{1,6} = 54 \text{ солнечных панели}$$

- Вместе с системой горячего водоснабжения жилого дома потребуется 60 панелей СК при цене  $1 \text{ м}^2$  солнечного коллектора вместе с монтажно-наладочными работами – 10800сом, стоимость отопления и горячего водоснабжения от солнечных коллекторов составит:

$$60 \cdot 1,6 \cdot 10800 = 1036800 \text{ сом}$$

без стоимости резервного источника тепла – генератора тепла на жидком или газообразном топливе.

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

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = 8600 \cdot 4200 \cdot 10 = 3612 \cdot 10^4 \text{ кДж} = 36120 \text{ МДж}$$

- где

$m=8600$ - масса теплоаккумулирующего вещества (кг);

$C_p 4200$ - удельная теплоемкость вещества (кДж/кг·К);

$T_1$  и  $T_2$ - средние значения начальной и конечной температур теплоаккумулирующего вещества (°C). Принято  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ .





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

$$Q_{ГВ} = 1,2 \cdot \alpha \cdot C_p \cdot \rho \cdot (t_{ГВ} - t_{ХВ}) \cdot N \cdot n \quad (1)$$

- где

$\alpha$ - норма расхода воды на горячее водоснабжение жилых зданий на 1 человека в сутки (л/сут);

$C_p$ — удельная теплоемкость воды, 4190 Дж/(кг · °С);

$\rho$ - плотность воды (1 кг/л);

$t_{гв}$  — температура горячей воды (°С);

$t_{хв}$  — температура холодной воды (°С);

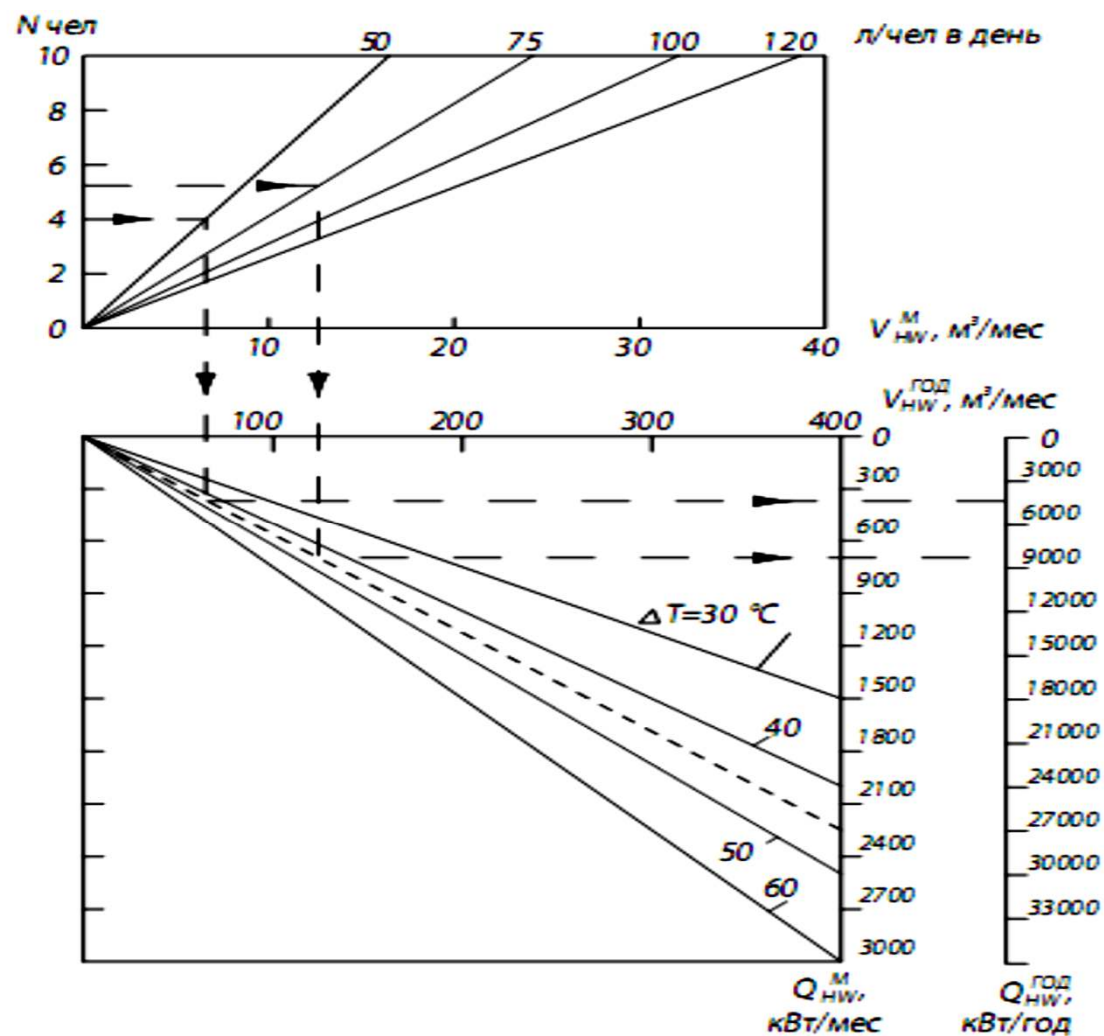
$N$ - число жителей;

$n$ - число дней в расчетном периоде.

- Далее на рис. 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  $\alpha$ - (л/сут) на одного человека, разности  $\Delta t$  температур горячей и холодной воды (°С).



# НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ ТЕПЛОТЫ И ВОДЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГВС.





# РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

8 Тепловая мощность плоского коллектора солнечной энергии определяется

как:

$$Q_K = A \cdot [I_K \cdot \eta'_0 - K'_K \cdot (T_{T1} - T_B)] = G \cdot C_P \cdot (T_{T2} - T_{T1}) \quad (2),$$

где

$A$  – эффективная площадь поверхности (апертура) коллектора ( $\text{м}^2$ );

$I_K$  – плотность потока солнечной энергии, поступающего на коллектор ( $\text{кВт/м}^2$ ) либо в формуле используется значение  $E_k$  ( $\text{кВт/м}^2$ ) в месяц при расчете среднемесячной тепловой или в день при расчете среднемесячной дневной мощности коллектора);

$\eta'_0$  – эффективный оптический КПД коллектора;

$K'_K$  – общий коэффициент теплопотерь коллектора ( $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );

$T_{T1}$  и  $T_{T2}$  – температуры на входе и выходе коллектора ( $^\circ\text{C}$ );

$T_B$  – температура наружного воздуха ( $^\circ\text{C}$ );

$G$  – массовый расход теплоносителя в коллекторе ( $\text{кг/с}$ );

$C_P$  – удельная теплоемкость теплоносителя в коллекторе,  $\text{Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ .



- При производстве расчетов величины  $E_k$  (поступление солнечной энергии на поверхность коллектора),  $Q_H$  (тепловая нагрузка на систему),  $Q_k$  (тепловая мощность коллектора) и  $T_B$  (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 – отдельно для каждого отопительного периода (месяца) либо в соответствии со степенью замещения для всего года в целом.



- Расчеты емкостных аккумуляторов для целей отопления выполняются отдельно и по специальным методикам, т.к. накопление теплоносителя с использованием солнечного тепла производится на длительные периоды времени (сезонное), а циклы заряда- разряда аккумуляторов исчисляются днями.
- Номограмма для определения площади  $A$  поверхности солнечного коллектора и объема  $V_B$  бака-аккумулятора гелио установки для горячего водоснабжения показана на рис.16. 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/м<sup>2</sup> ).



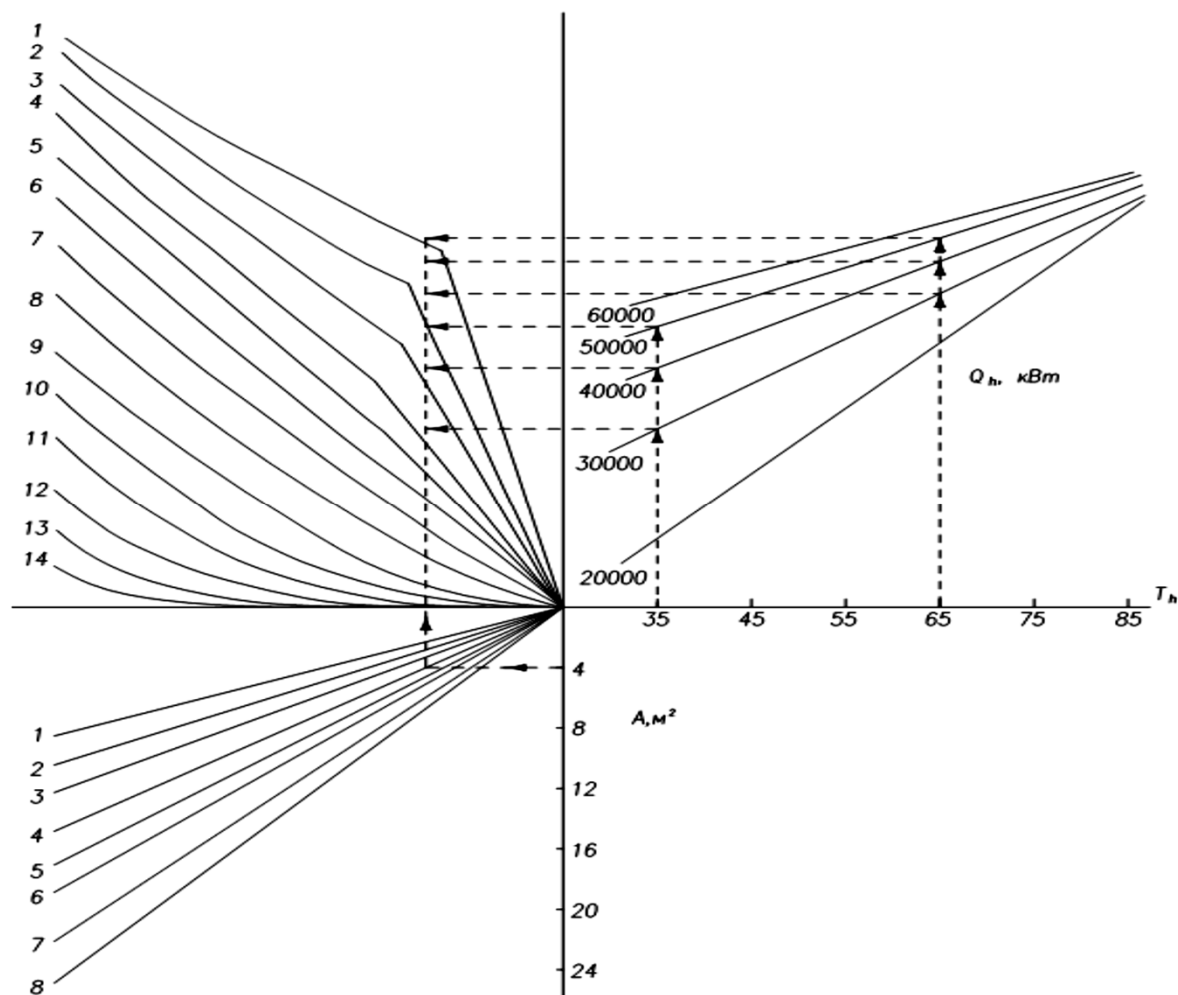


- Годовое поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность ( $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ):
- 1-1610;
- 2-1490;
- 3-1370;
- 4-1230;
- 5-1150;
- 6-1030;
- 7-920;
- 8-800

### Пример.

Численность семьи 5 человек, регион с годовым приходом солнечной энергии  $E=1370 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ . При норме расхода горячей воды 75 л/чел и сезонном расчете использования (период апрель-август,  $f=1$ ) получается, что объем бака-аккумулятора составит  $V_{\text{Б}}=510 \text{ л}$ , а площадь солнечного коллектора около  $5 \text{ м}^2$ .





Номограмма для определения степени покрытия потребности отопления (в год) гелиоустановкой.

○ Годовое поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность  $E(\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2)$ :

- 1-1610;
- 2-1490;
- 3-1370;
- 4-1230;
- 5-1150;
- 6-1030;
- 7-920;
- 8-800





# ПРИМЕР 1.

- Определить эффективность гелиоустановки для дома 160 м<sup>2</sup> при площади солнечного коллектора 4м<sup>2</sup> (2 панели, площадь абсорбера 1,84м<sup>2</sup> каждой панели) круглогодичного использования для семьи из 5 человек, в районе с годовым приходом солнечной энергии  $E=1200$  кВт ч/м<sup>2</sup>. Норма расхода горячей воды на 1 человека 50 л/день.
- По номограмме рис. определяется емкость бака-аккумулятора. При степени замещения  $f_{звс}=0,7$  получаем объем  $V_B=510$  литров.
- Допустим, коллектор установлен под углом 45°, тогда  $R=1,09$ , а суммарное количество солнечной энергии  $E_k$ , поступающее на коллектор, получится:

$$E_k \cdot R = 1,09 \cdot 1200 = 1308 \text{ кВт ч/м}^2$$

- Расчетom отопительной нагрузки определена годовая потребность в системе отопления  $Q_{отоп}^{год} = 26000$  кВт ч/год.
- Определяем (по формуле 1) годовую потребность тепла на систему ГВС:
$$Q_{ГВ} = 1,2 \cdot 50 \cdot 4190 \cdot 1 \cdot (55-10) \cdot 5 \cdot 365 = 20,6 \text{ ГДж/год} = 5735 \text{ кВт ч/год}$$
- Рассчитываем мощность коллектора (по формуле 2), либо определяем по номограмме рис.18
- степень замещения нагрузки для ГВС:

$$Q_K = 2 \cdot 1,84 \cdot [1308 - 0,814 - (4,061 + 0,013 \cdot (55-10) \cdot (55-10))] = 3806 \text{ кВт ч/год}$$

- -или по номограмме получаем  $f=0,6$ ;
- тогда мощность гелиоустановки для целей ГВС  $Q_K = 0,6 \cdot Q_{ГВ} = 0,6 \cdot 5735 = 3441 \text{ кВт ч/год}$
- Рассчитываем мощность гелиоустановки для целей отопления.
- По номограмме рис.18 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:

- для  $T_h=35^\circ\text{C}$   $Q_{отоп K}^{год} = 0,06 \cdot 26000 = 1560 \text{ кВт ч/год}$ ;

- для  $T_h=65^\circ\text{C}$   $Q_{отоп}^{год} = 0,024 \cdot 26000 = 624 \text{ кВт ч/год}$



## РАСЧЕТ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ.

- 8 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
$$n_{ГВС} = (200000 - 35000) / (3441 \cdot 3) = 16,0 \text{ лет}$$
  - при использовании гелиоустановки для целей ГВС и отопления:
    - система отопления низкотемпературная с  $T_h = 45^\circ\text{C}$ :
$$n_{ГВС \text{ и ОТОП} 35} = (200000 - 35000) / (3441 + 1560) \cdot 3 = 11 \text{ лет}$$
    - система отопления высокотемпературная с  $T_h = 65^\circ\text{C}$ :
$$n_{ГВС \text{ и ОТОП} 65} = (200000 - 35000) / (3441 + 624) \cdot 3 = 13,5 \text{ лет}$$





## МОНТАЖ ГЕЛИОУСТАНОВКИ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ:

- 1. Установка коллекторов солнечной системы:
- 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, встроенный в бак-аккумулятор теплообменника и солнечных коллекторов.



## ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭКВИВАЛЕНТОВ

| j  | w  | h | Kilo (к)        |                 | Mega (М)        |                 | Giga (Г)        |                 | Tera (Т)         |                  | Peta (П)         |                  |
|----|----|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|    |    |   | KJ              | кВт·ч           | MJ              | МВт·ч           | GJ              | ГВт·ч           | TJ               | ТВт·ч            | PJ               | ПВт·ч            |
| Дж | Вт | ч | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>9</sup> | 10 <sup>9</sup> | 10 <sup>12</sup> | 10 <sup>12</sup> | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>15</sup> |

| Показатель      |                        |                          |                        |                        |                   |                        |                        |                        |                        |                        |
|-----------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                 | Кгвт                   | твт                      | кВт·ч                  | МДж                    | Мкал              | т(нефти)               | м³(нефти)              | м³(газа)               | т (угля)               | баррель (нефти)        |
| 1кгвт           | —                      | 10 <sup>-3</sup>         | 8,12                   | 29,2                   | 7,0               | 0,693·10 <sup>-3</sup> | 8,09·10 <sup>-4</sup>  | 0,73                   | 1,168·10 <sup>-3</sup> | 5,08·10 <sup>-3</sup>  |
| 1твт            | 10 <sup>3</sup>        | —                        | 8,12·10 <sup>3</sup>   | 29,2·10 <sup>3</sup>   | 7·10 <sup>3</sup> | 0,693                  | 0,809                  | 730                    | 1,168                  | 5,08                   |
| 1кВт·ч          | 0,122                  | 0,122·10 <sup>-3</sup>   | —                      | 3,596                  | 0,856             | 8,5·10 <sup>-5</sup>   | 9,88·10 <sup>-5</sup>  | 0,0893                 | 1,428·10 <sup>-4</sup> | 6,22·10 <sup>-4</sup>  |
| 1МДж            | 0,0342                 | 0,03425·10 <sup>-3</sup> | 0,278                  | —                      | 0,2397            | 2,38·10 <sup>-5</sup>  | 2,768·10 <sup>-5</sup> | 0,025                  | 4·10 <sup>-5</sup>     | 1,742·10 <sup>-4</sup> |
| 1Мкал           | 0,142                  | 0,142·10 <sup>-3</sup>   | 1,167                  | 4,171                  | —                 | 9,9·10 <sup>-5</sup>   | 1,152·10 <sup>-4</sup> | 0,104                  | 1,66·10 <sup>-4</sup>  | 7,26·10 <sup>-4</sup>  |
| 1т нефти        | 1,44·10 <sup>3</sup>   | 1,44                     | 11,76·10 <sup>3</sup>  | 42·10 <sup>3</sup>     | 10096,1           | —                      | 1,128                  | 1050                   | 1,68                   | 7,30                   |
| 1м³ нефти       | 1236                   | 1,236                    | 10117                  | 36120                  | 8682,7            | 0,806                  | —                      | 903,0                  | 1,44                   | 6,29                   |
| 1м³ газа        | 1,37                   | 1,37·10 <sup>-3</sup>    | 11,2                   | 40,0                   | 9,6               | 9,52·10 <sup>-4</sup>  | 1,058                  | —                      | 1,6·10 <sup>-3</sup>   | 6,96·10 <sup>-3</sup>  |
| 1т угля         | 856                    | 0,856                    | 7000                   | 25·10 <sup>3</sup>     | 6000              | 0,595                  | 0,692                  | 625                    | —                      | 4,355                  |
| 1 баррель нефти | 196,5                  | 0,196                    | 1607                   | 5,74·10 <sup>3</sup>   | 1377              | 0,137                  | 0,159                  | 143,5                  | 0,23                   | —                      |
| 1кКал           | 0,142·10 <sup>-3</sup> | 0,142·10 <sup>-6</sup>   | 1,167·10 <sup>-3</sup> | 4,171·10 <sup>-3</sup> | —                 | 9,9·10 <sup>-3</sup>   | 1,152·10 <sup>-7</sup> | 0,104·10 <sup>-3</sup> | 1,166·10 <sup>-7</sup> | 7,26·10 <sup>-7</sup>  |

- Пример:
- **Сжигание 1т природного газа (около 1000м<sup>3</sup>)**  
равно сжиганию 1,2т мазута;
- или равно сжиганию 1,8т каменного угля;
- или равно сжиганию 4,4т бурого угля(от 3-х до 4,4т);
- или равно сжиганию 4,4–5,5т торфа;
- или равно сжиганию 4,6т (около 6м<sup>3</sup>) дров



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

