

## Лекция 4

### Слънчеви системи за топла вода

#### Сиатемите за оползотворяване на слънчева енергия

Съществуват няколко начина за директно улавяне и оползотворяване на слънчевата енергия. Това може да се осъществи чрез термични абсорбиращи елементи (елементи, които поглъщат слънчева енергия и я преобразуват в топлина), пасивни слънчеви системи и фотоволтаични системи.

#### 4.1. Термични слънчеви системи

Слънчевите инсталации за получаване на топлина преобразуват слънчевата енергия в топлинна енергия. Тези инсталации са добре разработен възобновяем енергиен източник и едни от икономически най-ефективните системи за възобновена енергия, които могат да бъдат инсталирани в жилищни сгради. Те са широко използвани в много страни по света.

Термичните слънчеви системи използват слънчевата енергия за нагряване на флуид (най-често вода или въздух). Нагретият флуид се използва за миене, готвене, отопление на сгради или оранжерии, за технологични процеси и дори за производство на електрическа енергия. Термичните слънчеви системи обикновено използват механически задвижващи устройства за пренасяне и разпределение на енергията от слънцето (помпи или вентилатори). Затова те често се наричат **активни слънчеви системи** (за разлика от пасивните слънчеви системи).

**Активните термични слънчеви системи** могат да се класифицират в три основни вида: нискотемпературни, среднотемпературни и високотемпературни. Към **нискотемпературните** можем да отнесем слънчевите системи, които осигуряват затопляне на флуид до температури 50 – 80 °C. Такива са системите за затопляне на водата в плувни басейни, ниско-температурни инсталации за топла вода за битови нужди и въздушни слънчеви системи (за сушене на продукти или за отопление).

Към **среднотемпературните** термични слънчеви инсталации се отнасят инсталации, осигуряващи загряване на флуидите до 100 - 150 °C. Към този тип се отнасят някои специални инсталации за топла вода за битови нужди, топла вода за технологични цели и някои други специални цели. Тези инсталации обикновено са съоръжени с дублираща енергозахранваща система за да се осигури необходимата температура по всяко време на консумацията. Такива инсталации се наричат **‘бивалентни’**.

**Високотемпературните** слънчеви системи са свързани с концентриране на слънчевата енергия, поради което този тип са известни и като концентриращи термични слънчеви системи. При тях, падащата върху приемната повърхнина слънчева енергия се концентрира върху малка площ с цел да се постигне голяма интензивност на енергията и по този начин - висока температура. Тези системи най-често се използват за производство на електроенергия, но за разлика от фотоволтаичните елементи те използват не лъчиста енергия, а топлина. В някои случаи топлината от тези системи се използва директно, например в печи за топене на метали или за химически процеси.

#### 4.2. Елементи от теорията на лъчистия и конвективен топлообмен

##### 4.2.1. Лъчист топлообмен

Когато дадено тяло е нагрето до определена температура, електроните в атомите на тялото преминават на по-високи орбити (възбудено състояние). Тези състояния са неустойчиви и електроните самопроизволно се връщат на стационарните си орбити, при което изпускат (излъчват) фотон с определена честота. Общото количество енергия, излъчена от единица площ от тяло с температура  $T$  за всички дължини на вълната се нарича интегрална плътност на излъчване (пълна енергия на излъчването).

**Абсолютно черно тяло.** Абсолютно черно тяло е идеализирано тяло, което поглъща цялостно (без отражение) попадналата върху него лъчиста енергия при всички

дължини на вълната и ъгли на падане. Абсолютно черното тяло има максимална излъчвателна способност в сравнение с реалните тела и повърхнини. Енергията на излъчване от абсолютно черно тяло се представя със закона на Болцман:

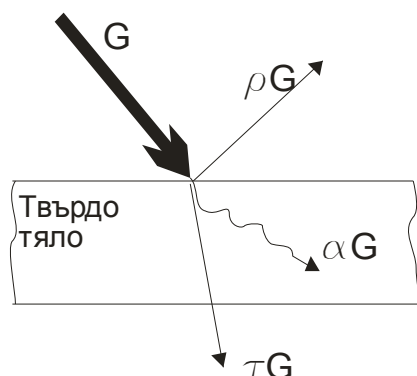
$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (1)$$

където  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$  е константа на Болцман

#### 4.2.2. Радиационни свойства на реални повърхнини

Радиационните свойства на реални повърхнини определят взаимодействието на електромагнитната енергия с телата и повърхностите на телата. В общия случай радиационните свойства зависят от дължината на вълната. Например в определен диапазон от дължината на вълната една повърхност може да взаимодейства (поглъща) електромагнитни вълни, а в друга да не поглъща. Такава повърхнина се нарича **селективна**. Свойствата, които зависят от дължината на вълната се наричат монохроматични или **спектрални**. Свойствата на повърхнините могат да зависят от посоката на попадане на електромагнитното лъчение. Такива свойства се наричат **насочени**.

Радиационните свойства зависят също така и от направлението спрямо повърхността и в този случай се наричат насочени свойства. В практиката освен спектрални и насочени свойства се разглеждат и интегрални свойства. Те отразяват физичните взаимодействия за определен диапазон от изменение на електромагнитното излъчване (например дължината на вълната) – фиг. 1.



Фиг. 1 Интегрални свойства на повърхнини

Разглежда се сноп електромагнитно лъчение с интегрална интензивност  $G$ . Когато този сноп електромагнитно лъчение достигне повърхността на тялото, част от тази енергия се отразява, а останалата преминава през него или се поглъща. Това разпределение на попадащата енергия се определя от три радиационни свойства (интегрални характеристики):

$\alpha$  – поглъщателна способност – определя частта на попадащото електромагнитно лъчение, която се поглъща от тялото. Поглъщаната енергия (излъчване) в случая е  $\alpha G$ ;  $\rho$  – отразителната способност – определя частта от  $G$ , която се отразява от повърхността  $\rho G$ ;  $\tau$  – пропускателната способност – определя частта от  $G$ , която се отразява от повърхността  $G\tau$ .

От енергийния баланс следва че

$$G = \alpha G + \rho G + \tau G \quad (2)$$

или като се раздели на  $G$  се получава :

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3)$$

Когато тялото не пропуска електромагнитно лъчение  $\tau = 0$  и то се нарича непрозрачно. Тогава  $\alpha + \rho = 1$ . Ако повърхността е идеален отражател то  $\rho = 1$  и от баланса на енергията се получава  $\tau + \alpha = 0$  или  $\alpha = \tau = 0$

Абсолютно черното тяло поглъща цялото лъчение, което попада върху него. Следователно, за абсолютно черното тяло са в сила равенствата:  $\alpha = 1$  и  $\tau = \rho = 0$

### Излъчвателна способност (степен на чернота)

Определя се като отношение на потока на собственото излъчване на дадено тяло (повърхнина), към излъчвателната способност на абсолютно черно тяло (потока изпускан от абсолютно черно тяло). Математически това се записва така.

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{E(T)}{\sigma T^4} \quad (4)$$

Доколкото  $E_b(T)$  е максимално възможна излъчвателна способност то  $0 < \varepsilon < 1$

### Закон на Кирхоф.

Съгласно този закон при топлинно равновесие поглъщателната способност на едно тяло е равна на излъчвателната му способност. Този резултат не е в сила, ако тялото и околната среда не са в топлинно равновесие.

Съгласно закона на Кирхоф, добрият поглъщател (абсорбер) на електромагнитното лъчение е и добър излъчвател (емитер). Горното равенство се отнася за интегралните характеристики. От равенството  $\alpha = \varepsilon$  може да се даде пример за абсолютно черно тяло. Ако има малък отвор в затворено пространство и в него попадне електромагнитно лъчение, то след многократно отражение от вътрешни повърхнини лъчението се поглъща изцяло. Този малък отвор може да се разглежда като модел на абсолютно черно тяло, тъй като поглъща цялото лъчение, което попада върху него.

#### 4.2.3. Лъчист топлообмен между две пластини

Ако пластините са с размери, които са много по-големи от разстоянието между тях те могат да се разглеждат по отношение на лъчистия топлообмен между тях като безкрайно големи пластини.

$$q_1 = -q_2 = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_1 + (A_1/A_2)(1/\varepsilon_2 - 1)} \quad (5)$$

Където  $A_1$  и  $A_2$  са площите на двете повърхнини;  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – степен на чернота за двете повърхнини;  $T_1$  и  $T_2$  – температури на двете повърхнини (в  $^{\circ}\text{K}$ ).

#### Лъчист топлообмен на повърхност с небосвода

Небосводът може да се разглежда като безкрайно голяма абсолютно черна повърхнина с ефективна температура  $T_{sky}$ . В този случай резултатното излъчване между хоризонтална плоска повърхнина с полусферична спектрална степен на чернота  $\varepsilon$  и небосвода е:

$$Q = \varepsilon A \sigma (T_{sky}^4 - T^4) \quad (6)$$

където  $T$  и  $A$  са температура и площ на излъчващата повърхнина.

Ефективната температура на небосвода се определя от израза:

$$T_{sky} \approx 0.0552 T_a^{1.5} \quad (7)$$

където  $T_a$  е температурата на околния въздух.

Този израз за температурата на небосвода важи за ясно време. Когато има облачност температурата на небосвода е по-висока.

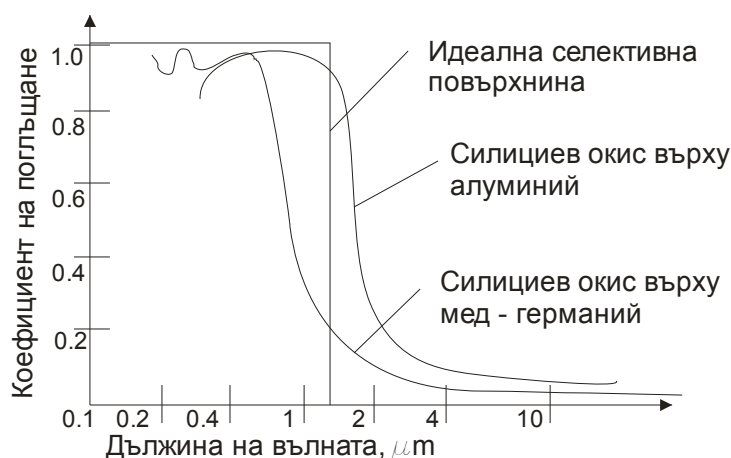
Тъй като температурата на небосвода е по-ниска от температурата на въздуха може да се реализира радиационно охлаждане през нощните часове.

#### 4.2.4. Селективни повърхнини

В инженерната практика се използва промяна на радиационните свойства на повърхнините с цел да се увеличи или намали тяхната естествена способност да поглъщат, излъчват или да отразяват лъчиста енергия. Това се постига чрез създаване на покрития с желани спектрални характеристики или с желани насочени характеристики.

Спектрално-селективни повърхнини. Абсолютно черните повърхнини поглъщат максимална лъчиста енергия и в същото време излъчват максимална енергия. Елементите за абсорбиране на слънчева енергия трябва да поглъщат максимална лъчиста енергия в диапазона на видимата светлина (близо до максимума на спектъра на Слънцето) и достатъчно малка поглъщателна възможност в спектъра на топлинните вълни. Повърхнини, които притежават такива характеристики, се наричат **спектрално-селективни**. Ако коефициентът на поглъщане е равен на единица в диапазона на видимия спектър и равен на нула в диапазона на топлинните вълни, такава повърхнина се нарича *идеална селективна повърхнина*. Дължината на вълната  $\lambda_c$ , при която се осъществява преход от максимална към минимална поглъщателна способност се нарича прагова дължина на вълната.

Практическо приложение намират покрития чрез нанасяне тънък високопоглъщащ слой върху полирана метална повърхнина. Покривният филм трябва да притежава висока степен на чернота в видимия сектор на слънчевата радиация и висока степен на пропускаемост в сектора на топлинното излъчване. Такива слоеве могат да се нанасят и чрез химическа обработка на метална повърхнина. Типични примери на селективни покрития са: меден окис върху мед; никел-цинк-сулфид върху никел; силициев окис върху алуминий, анодирана алуминиева повърхнина и други. На фиг. 2 са показани спектрално селективни повърхнини на някои най-често използвани покрития.



Фиг.2. Спектрално селективни повърхнини

#### 4.3. Активни слънчеви системи за топла вода

Основни елементи на всяка слънчева инсталация за производството на топлинна енергия, от чиито качества в голяма степен се определят възможностите за усвояване на слънчевата енергия са абсорбиращите елементи (слънчеви колектори), акумулиращи елементи (топлинни акумулатори), елементи за пренос на енергията (тръбни или въздуховодни системи, топлообменници, помпи и вентилатори и други) и елементи за управление на топлотехническите процеси.

##### 4.3.1 Слънчеви колектори

Принципно, слънчевите колектори улавят и трансформират в топлина пряката и дифузната слънчева радиация. За да бъде максимално ефективен, колекторът трябва

да приема слънчевата енергия и да не я отдава обратно, което е особено важно през по-студените месеци от годината. Слънчевите колектори се разделят на две основни групи в зависимост от използвания топлоносител: водни и въздушни слънчеви колектори. Водните слънчеви колектори се използват основно за подготовка на топла вода (за битови или индустриални нужди, за плувни басейни, за отопление на сгради и други) . а въздушните слънчеви колектори участват в системи за сушене на продукти или за отопление на сгради.

### **Водни слънчеви колектори**

Важен елемент от топлинната схема на слънчевите инсталации за топла вода са слънчевите колектори. Те се развиват и усъвършенстват повече от 120 години и през този период са предлагани различни конструктивни и схемни решения. Въпреки дългия период на развитие, основният принцип на преобразуване на слънчевата енергия в топлина при термичните слънчеви колектори остава непроменен. В основата на този принцип стои процесът на поглъщане на слънчева енергия от абсорбираща повърхност, преобразуването ѝ в топлина и съхраняване на топлинната енергия чрез използване на така нареченият 'парников' ефект и топлинна изолация.

Бързото развитие на термичните слънчеви системи се обуславя както от високия коефициент на преобразуване на слънчевата енергия в топлина (в сравнение с фотоволтаичните панели), така и от невисоките разходи за изграждане на инсталациите.

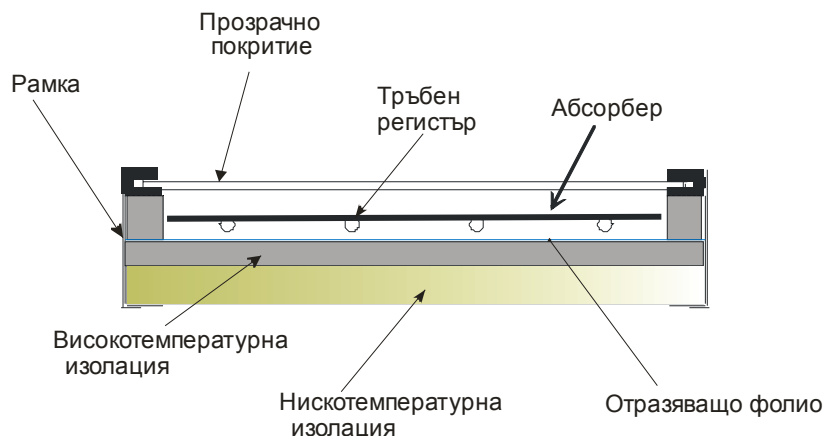
За слънчеви инсталации за топла вода се използват два основни типа слънчеви колектори: **плоски слънчеви колектори**, при които абсорбиращата площ е равна на общата колекторна площ и **тръбни слънчеви колектори**, при които абсорбиращият елемент е монтиран във вакуумирана стъклена тръба.

Основните компоненти на обикновен **плосък воден слънчевия колектор** са рамка, прозрачно покритие (остъкляване), изолация и абсорбер – фиг.1. Абсорберът най-често се изпълнява от черна метална повърхнина (обикновено медни или алуминиеви ребра) и метални тръби (обикновено медни). Тръбите се запояват към металния лист (когато абсорбера е меден) или абсорберът се състои от отделни алуминиеви тръби с ребра.

В корпус, оформен като кутия и изработен от метални профили, обикновено алуминиеви, стоманени или от поцинкована ламарина, се монтират абсорберът, изолацията, покритието и тръбните връзки. Абсорберът се изработва от топлопроводими, корозионно устойчиви материали, като мед, стомана и др.

Препоръчително е абсорберът да е със селективно покритие, за осигуряване на по-добра поглъщателна способност на енергията. През последните години все по-широко се използва и покритие на абсорбера с кристали от титаниева сол, които увеличават топлообменната повърхност и съответно толопоглъщането.

Прозрачното покритие най-често се изпълнява като обикновено стъкло или закалено стъкло. **Закаленото стъкло** е с ниско съдържание на железни окиси и има по-висока проводимост на слънчева радиация в сравнение с обикновеното стъкло, като по този начин осигурява по-висока ефективност на работа на колектора. Закаленото стъкло е също така много по-здраво от обикновеното стъкло и при него възможността от счупване е почти елиминирана. Нещо повече, в редките случаи на счупване то се разпада на много малки безвредни парченца стъкло (подобно на стъклата на колите), което води до по-голяма безопасност при работа с него.



Фиг. 1. Конструктивни елементи на воден слънчев колектор

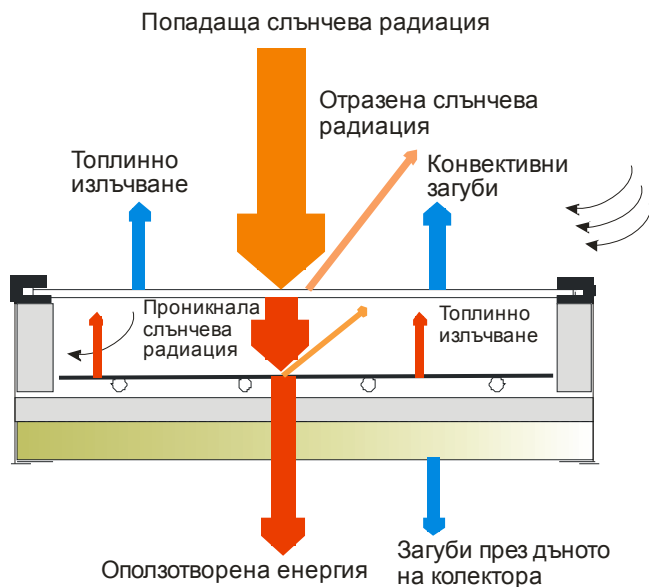
Когато върху слънчевия колектор попада слънчевата радиация, част от нея прониква през прозрачното покритие (стъкло) и се поглъща от тъмно оцветената повърхност на абсорбера, която се загрява. Топлината се пренася, чрез топлопроводност към течащия флуид в тръбния регистър на абсорбера. Посредством циркуляционна помпа или чрез свободна конвекция течността се пренася към топлоакмулиращия обем на системата.

При тези процеси част от енергията се губи. Основните енергийни потоци са показани на фиг.2. Част от попадащата слънчева радиация се отразява от прозрачното покритие. В зависимост от характеристиките на прозрачното покритие този дял е от 5 до 10% и зависи от ъгъла на падане на слънчевите лъчи спрямо приемната равнина. Най-малък е коефициентът на отражение, когато слънчевите лъчи падат перпендикулярно на приемната повърхнина.

Малка част от слънчевата радиация се поглъща от прозрачния елемент и основната част (от 75 до 85%) преминава през прозрачното покритие (проникнала слънчева радиация). Тази радиация попада върху абсорбера на слънчевия колектор, където малка част от нея се отразява, а другата част се поглъща от абсорбиращата повърхнина. Отразената от абсорбера слънчева радиация достига прозрачното покритие, където част от нея преминава, а друга част се отразява обратно към абсорбера (получава се многократно отражение).

Разпределението на попадащата върху слънчевия колектор слънчева радиация се характеризира с един обобщен оптически коефициент на прозрачното покритие и приемната повърхнина на абсорбера  $(\tau\alpha)_{\text{еф}}$ . В него се отчита пропускателната възможност на прозрачния елемент и поглъщателната способност на абсорбиращата повърхнина. Ако приемната повърхнина е селективна поглъщаната радиация ще бъде многократно по-голяма от топлинното излъчване и това ще се отрази на този обобщен оптически коефициент на слънчевия колектор.

Погълнатата от абсорбера част от слънчевата радиация се превръща в топлина и повишава температурата на абсорбера. Вследствие на загряването на абсорбера се реализират топлинни загуби към околната среда. Тези загуби се намаляват чрез използваната топлинна изолация в слънчевия колектор. Една част от загубите се реализират чрез топлопроводност на елементите на слънчевия колектор – през дъното и страничните стени. Друга част се реализират чрез топлинно излъчване и свободна конвекция на въздуха – към прозрачното покритие на колектора. Поради специфичните характеристики на прозрачните покрития, използвани в слънчевите колектори, голямата част от топлинното излъчване не се пропуска към околната среда, а се връща обратно към абсорбера.



Фиг. 2. Енергиен баланс на воден слънчев колектор

Топлинните загуби за слънчевия колектор се характеризират посредством обобщен коефициента на топлинни загуби  $U_L$ . В него се отразяват изолационните качества на конструкцията на слънчевия колектор и ефективността на абсорбера (ефективност на системата тръба – ребро).

При определени условия, например през лятото и когато колекторът не се използва (флуида в тръбите не циркулира), повърхността на абсорбера може да достигне много високи температури (температури на застой) -  $150^{\circ}\text{C}$  или даже  $200^{\circ}\text{C}$  при колектори със селективно покритие. По тази причина изолацията в близост до абсорбера трябва да издържа високи температури.

Оползотворената от слънчевия колектор енергия, отнесена за единица площ от колектора се определя от следния израз:

$$q_u = F_r [q_s (\tau \cdot \alpha)_e - U_L (T_{sol,in} - T_a)] \quad (8)$$

където  $q_s$  е попадащата върху колектора слънчева радиация [ $\text{W/m}^2$ ],  $F_R$  – коефициент на отвеждане на топлината,  $T_{sol,in}$  – температура на входа на слънчевия колектор;  $T_a$  – температура на околната среда.

Коефициентът на отвеждане на топлината  $F_R$  отчита конструктивните особености на слънчевия колектор и дебита на работния флуид, който отнема топлината от абсорбера.

### Вакуумно-тръбни слънчеви колектори

В сравнение с плоските колектори, моделите с вакуумни тръби (фиг.3) са по-сложни в конструктивно отношение. Те се характеризират с по-висока ефективност, но и по-висока себестойност. Изградени са от стъклени тръби, в които се поставя абсорберът, който обикновено е със селективно покритие. Конструктивно абсорберът е оформен като двустранно оребрена тръба, през която преминава загряваният топлоносител. В стъклените тръби се поддържат условия на дълбок вакуум, приблизително около 100 Pa. По този начин се осигурява изключително добра изолация на абсорбера и защита от корозия.

Вакуумно-тръбните слънчеви колектори могат да съдържат вътре във вакуумираната тръба или извън нея линейно параболично огледало (рефлектор), което фокусира част

от слънчевите лъчи върху абсорбера. Нормалната температура, до която се загрява работния флуид във плоските слънчеви колектори е от 40 до 70 °С (по-висока при използване на селективно покритие на абсорбиращия елемент на колектора).



Фиг.3. Вакуумно-тръбен слънчев колектор

Въвеждането на вакуумиран елемент във вакуумно-тръбните слънчеви колектори обуславя значително по-ниски топлинни загуби на колектора, тъй като се елиминира конвективната компонента на топлинния поток към околната среда. В комбинация със селективно покритие на абсорбиращия елемент и рефлектираща повърхност, интензивността на преобразуваната в топлина слънчева енергия за единица абсорбираща площ при вакуумно-тръбните слънчеви колектори се увеличава значително. Това обуславя възможността за получаване на по-висока температура на флуида в слънчевия колектор при по-ниски топлинни загуби.

#### Коефициент на полезно действие на слънчев колектор

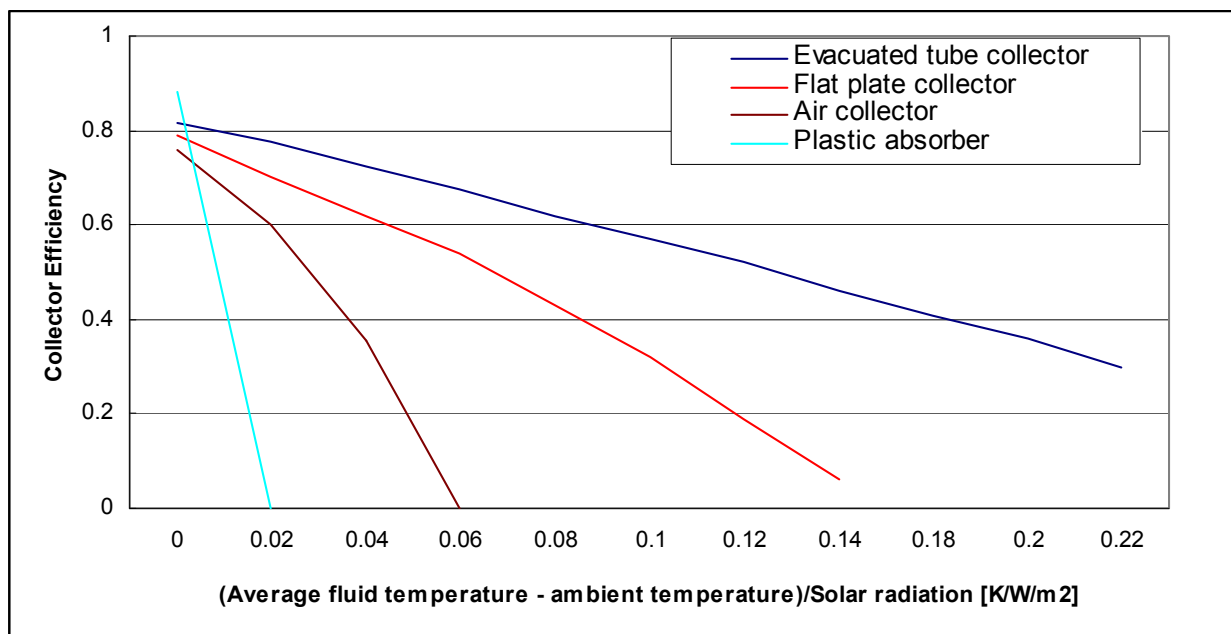
На основата на уравнение (8) се определя и коефициента на полезно действие (кпд) на плоския воден слънчев колектор:

$$\eta = \frac{q_s}{q_u} = (\tau \cdot \alpha)_e - U_L \frac{T_{coll,in} - T_a}{q_s} \quad (9)$$

На фиг. 4 е показано типичното изменение на ефективността на различни типове слънчеви колектори: плосък, вакуумно-тръбен, въздушен слънчев колектор и обикновен пластмасов или метален абсорбер без прозрачно покритие. По ординатната ос е нанесен коефициентът на полезно действие на слънчевия колектор, а по абцисната ос – параметър  $f$ , който отчита променливите условия на работа на колектора. Параметърът  $f$  е отношение на температурната разлика между флуида в колектора и въздуха в околната среда (величина, определяща топлинните загуби) и

попадащата върху колектора слънчева радиация -  $f = \frac{T_f - T_a}{q_s}$ , където  $T_f$  е средната

температура на флуида във слънчевите колектори, [C];  $T_a$  - температура на въздуха, [C] и  $q_s$  - попаднала върху повърхността на слънчевите колектори слънчева радиация, [W].



Фиг. 4. Коефициент на полезно действие на различни слънчеви колектори

Когато параметърът  $f$  е нула (температурата на флуида е равна на температурата на въздуха в околната среда) липсват топлинни загуби от слънчевия колектор към околната среда и ефективността на колектора се определя само от оптичните характеристики на прозрачното покритие и абсорбера. Затова най-висок коефициент на полезно действие в този случай има обикновения абсорбер без прозрачно покритие (няма оптични загуби в прозрачните покрития).

Високата ефективност на вакуумно-тръбните слънчеви колектори се проявява при високи стойности на параметъра  $f$  – когато температурната разлика между флуида и околния въздух е висока или когато има ниска слънчева радиация. Това са случаите на ниска температура на околния въздух (през зимния и преходните периоди) или когато е необходима по-висока температура на флуида (за технологични цели).

Този анализ показва, че типът на слънчевите колектори, които се използват в конкретни случаи, трябва да се определя внимателно с отчитане на изискванията на потребителя на топлинна енергия и климатичния район, в който се изпълнява инсталацията.

Така например, слънчев колектор проектиран за работа с висока температура на флуида, няма да работи много по-ефективно при нискотемпературно използване, отколкото някой по-евтин слънчев колектор, проектиран специално за нискотемпературно приложение. Същото може да се каже за работа на слънчевите колектори през зимата или през преходните периоди.

Колектор, проектиран за ефективна работа през студените периоди няма да бъде много по-ефективен през летните месеци, от обикновен плосък слънчев колектор. Както се вижда от фигура 4 няма универсален най-добър слънчев колектор. Като пример може да се посочи че, за ниско-температурни приложения в области с висока интензивност на слънчевата радиация и висока температура на околния въздух, оптимален може да се окаже обикновен абсорбер без прозрачно покритие или дори обикновен съд с тъмно оцветена повърхност.

#### 4.3.2. Слънчеви инсталации за топла вода.

##### Основни изисквания към слънчевите инсталации

Слънчевите инсталации трябва да се изграждат на места, където е осигурено попадането на достатъчно количество слънчева радиация върху слънчевите

колектори. Слънчевият колектор поглъща максимално количество слънчева енергия през деня, когато:

- Колекторите са ориентирани в южно направление или близко до него ( $\pm 30^\circ$ );
- Слънчевите лъчи попадат перпендикулярно (във възможно най-голяма степен) върху повърхността на колектора (колекторът трябва да бъде под наклон спрямо хоризонталната равнина);
- Няма засенчване, особено по време на най-интензивното слънчево греење.

#### **Ориентация на колекторите**

Слънчевите колектори трябва да бъдат ориентирани на юг с цел попадане на възможно най-много слънчева енергия върху тях. В някои случаи се предпочита ориентация на юг с малко изместване към запад с цел да се използват по-високите следобедни температури, което води до по-добра ефективност на колектора. Отклонение до  $30^\circ$  от южната ориентация води до малко намаление на слънчевата радиация върху повърхността на колектора. При по-големи отклонения до  $45^\circ$  намалението е от порядъка на 15 % през зимата и относително малко (около 5 %) през лятото.

#### **Наклон на колекторите**

Наклонът на колекторите се подбира така, че количеството слънчева радиация попадаща върху тях да е максимална за периода от годината, през който се използва инсталацията. Ако тя се използва само през летния сезон наклонът на колекторите трябва да бъде по-малък (около  $30^\circ$  за територията на България). Ако ударението се поставя за работата на инсталацията през зимния период то наклонът на колекторите трябва да бъде голям ( $45 - 50^\circ$  – за територията на България). Наклон на колектора спрямо хоризонталната равнина равен на географската ширина на региона (на екватора -  $0^\circ$ , на северния полюс -  $90^\circ$ ) осигурява абсорбирането на възможно най-много слънчева енергия през годината.

Болшинството слънчеви системи за битова топла вода в средиземноморските страни имат колектори под ъгъл  $30^\circ - 45^\circ$  спрямо хоризонталната равнина. Когато наклонът на колекторите е от порядъка на  $25^\circ$  до  $50^\circ$ , промяната на годишните количества получена енергия не надвишава 5 %.

#### **Видове слънчеви инсталации за топла вода**

Според начина на циркулация на флуида през колекторите системите се разделят на:

- **с естествена циркулация** – моноблок системите /термосифонни /
- **с принудителна циркулация** – помпени системи

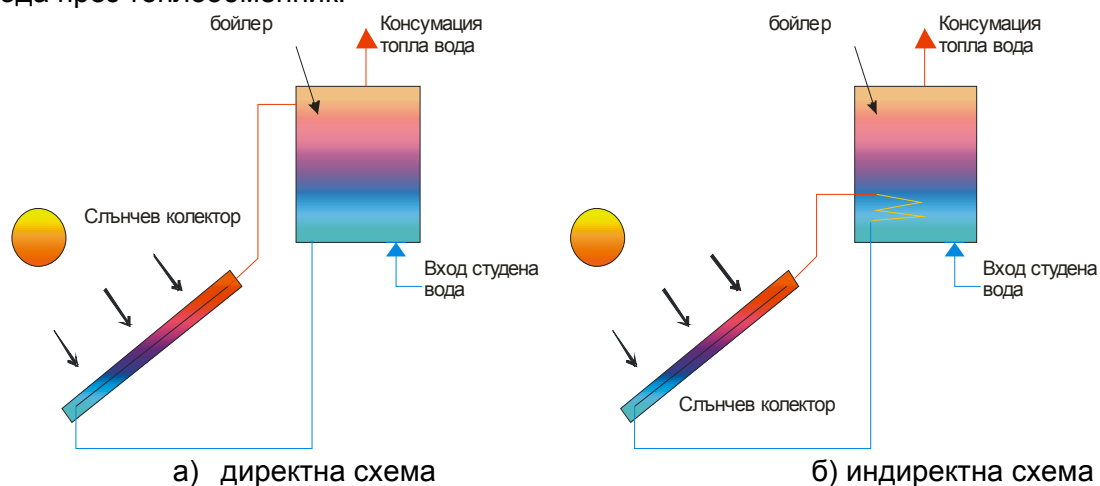
При слънчевите инсталации с естествена циркулация (фиг 5) флуида се движи в следствие на различната му плътност в системата, предизвикана от различните температури, до които се нагрява. При тази системи бойлерът се намира по-високо от слънчевия колектор, т.е. системата е с външен водосъдържател /бойлер/. Системите с естествена циркулация могат да са с директна схема (фиг 5а) или индиректна схема - със топлообменник (серпантина) – фиг.5б. Слънчевата система с директна схема е възможно най-простата система за затопляне на вода. Липсата на топлообменник, регулираща апаратура и помпи много опростяват схемата. Поради това, че водосъдържателя е външен намалява до известна степен ефективността ѝ при по-ниски температури.

Слънчевите системи **с принудителна циркулация** биват с директна схема и с индиректна схема.

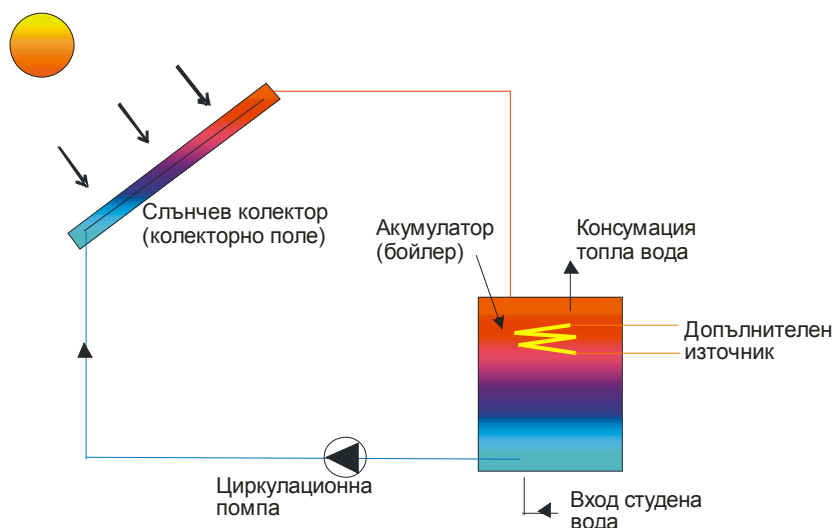
При помпените слънчевите системи с **директна схема** (фиг. 6) водата, която се загрева преминава през слънчевите колектори и се загрева директно. Те не са препоръчителни от хигиенна гледна точка.

Слънчевите инсталации с **индиректна схема** имат два циркуляционни кръга – Слънчев циркуляционен кръг и Акумулаторен циркуляционен кръг. Слънчевият кръг е отделен от системата за топла вода и допълнителното подгряване (най-често стандартните слънчеви инсталации се изграждат като бивалентни системи). Това се налага от обстоятелството, че този циркуляционен кръг работи с водно-глюколов

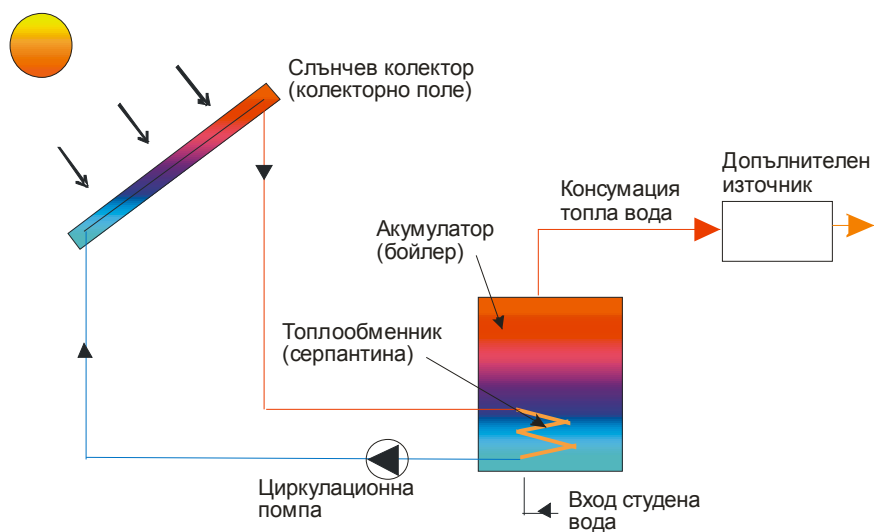
разтвор за защита от замръзване. Топлината от колектора се предава на питейната вода през топлообменник.



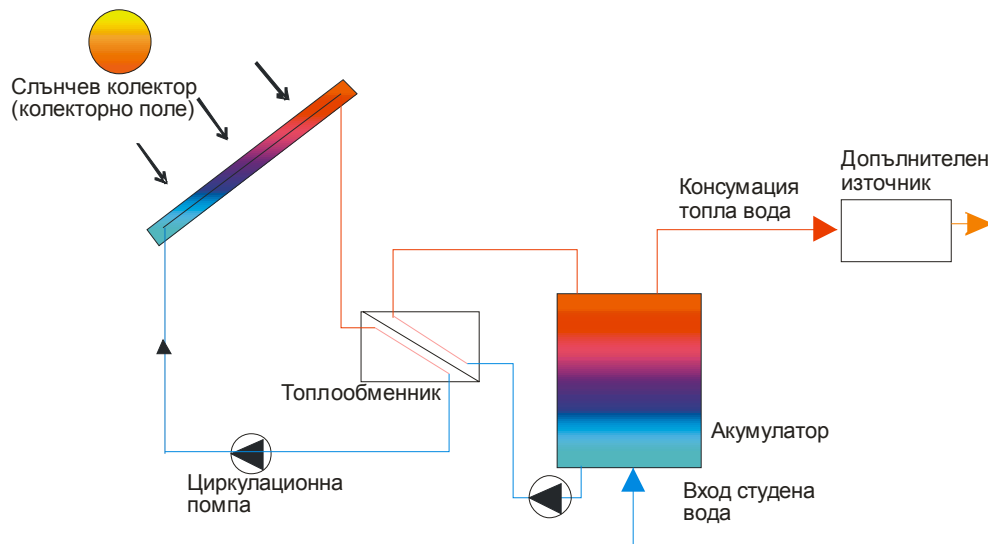
Фиг. 5. Слънчеви инсталации с естествена циркулация



Фиг. 6 Помпена слънчева инсталация с директна схема



Фиг. 7. Помпена слънчева инсталация с индиректна схема



Фиг. 8. Помпена слънчева инсталация с изнесен топлообменник

При слънчевите инсталации за топла вода се използва допълнителен източник на енергия, чието предназначение е да се осигурява допълнителна енергия в горната част на акумулатора или в линията на консумация, когато има недостиг на слънчева енергия.

При помпените системи работата на циркулационните помпи се управлява от специален диференциален регулатор. Той включва помпата само когато температурата на флуида (топлоносителя) в горния край на слънчевите колектори е по-висока (от 3 до 10°C) от температурата на водата в долния край на топлинния акумулатор (бойлера). По този начин се предотвратява охлаждането на водата в акумулатора през нощта и при липса на слънчева радиация. За да не се допусне обратна циркулация и охлаждане на системата се използва обратен клапан в колекторния кръг.