

ГЛАВА 3: СЛЪНЧЕВА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ

3.1 Цели :

След усвояване на преподавания материал, студентите трябва да могат да:

- *изяснят действието на слънчевия колектор;*
- *посочат компонентите на слънчевия колектор;*
- *изброят и да се определят основните параметри, които характеризират слънчев концентратор;*
- *дадат определенията за геотермална енергия и биомаса;*
- *посочат видовете технологии за използване на геотермалната енергия;*
- *определят и изброят елементите на слънчевата система за подгряване на вода;*
- *класифицират системите за отопление със слънчева енергия.*

3.2. Слънчева енергия. Общи сведения. Използвани технологии.

Произходът на всички видове възобновяема енергия (с изключение на два - геотермална енергия и енергия на приливите и отливите) е Слънцето. Всяка изложена на слънчевите лъчи черна повърхност, наречена абсорбираща повърхност, преобразува слънчевата енергия в топлина. Абсорбиращата повърхност е най-простият пример за директно преобразуване на слънчевата радиация в топлина, т.е. т. нар. слънчев колектор.

Топлинното преобразуване на слънчевата енергия включва няколко технологии: подгряване на вода с плоски или вакуумни колектори, сушене на селскостопански продукти и лекарствени растения, дообработване на продукция в дървопреработването, слънчево охлаждане, дестилация на вода, производство на електроенергия с помощта на термодинамичен процес и др.

В тази глава фокусът е върху три технологии - загряване на вода, сушене на продукти и отопление на пространства. Слънчевите инсталации са два вида: **топлинни** и **фотоволтаични**.

Топлинните инсталации спестяват природен газ в размер на около 75% годишно.

Фотоволтаични инсталации генерират електрическа енергия за сметка на слънчевата радиация.

Фотоволтаични слънчеви панели генерират енергия, която се използва и едновременно съхранява в батериите, за да се използва през нощта без връзка с националните енергийни мрежи. Стените на сградите са топлинни акумулатори, а прозорците - слънчеви колектори, които нагряват стаи и позволяват проникването на слънчевата светлина във видимия обхват (къси вълни) и не позволяват на инфрачервеното лъчение (дълги вълни) да излезе от стаята.

Тази технология и системи, използвани по посочения начин, са наречени по-късно *пасивно използване на слънчевата енергия*. Пасивните системи трябва да се разграничават по два признака:

- процесите за добив, съхраняване и използване на енергия са интегрирани в конструкцията на сградата;
- слънчевата светлина осигурява директна топлина за затопляне на потребителите.

Пасивните системи не се нуждаят от механична енергия за транспортиране на топлинна енергия към потребителя или на резервоар за съхранение. Движението на въздушния поток се извършва поради температурните разлики между различните слоеве.

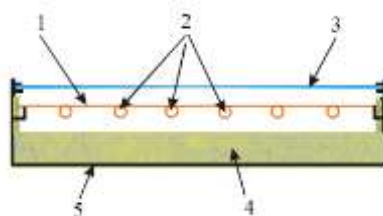
Активните системи за преобразуване на слънчева енергия са снабдени със специални слънчеви колектори. Слънчевата радиация се превръща в топлина, а след това чрез топло-пренасяща течност (обикновено вода или въздух) се транспортира до мястото на потребление или се съхранява в резервоар. Най-често срещаните видове слънчеви колектори са: плосък слънчев колектор без концентрация на радиация, при който се получава максимална температура 150 ° C, и слънчев колектор с концентрация на радиация, използван за получаване на температури от порядъка на стотици градуси. Слънчевият колектор се

различава от по-голямата част от конвенционални топлообменници, които функционират чрез пренос на топлина, и за които радиацията играе незначителна роля.

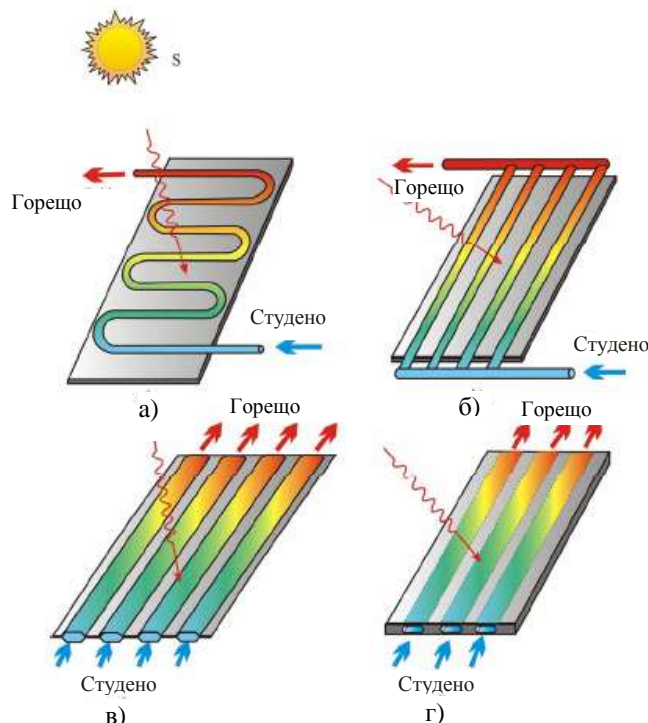
В слънчевия колектор предаване на енергия към течност или газ се постига с помощта на слънчевата радиация с дължина на вълните, варираща между 0,3 и 3 μm , и максимална плътност на мощността от (1000-1100) W/m^2 .

Плоският слънчев колектор може да бъде проектиран за осигуряване на топла вода със средни температури от (40-150) $^{\circ}\text{C}$. Той използва двата компонента на слънчевата радиация - пряката и дифузната, не изисква проследяване на Слънцето в небето, генерира ниски оперативни разходи и има много по-проста конструкция в сравнение с колектори с концентрация на слънчевата радиация. Този тип колектор е част от всяка система за подгряване на вода, жилищни пространства, слънчеви сушилни и системи за охлаждане. Той има висока степен на техническо и технологично съвършенство. Конструктивната схема на слънчев колектор за подгряване на вода е показана на фиг. 3.1.

Основните компоненти са черна кутия 5 с топлоизолация 4 на три стени, предна част, покрита с прозрачна повърхност 3. Теплообменникът е от типа плоча с метални тръби с абсорбираща повърхност 1 и тръби 2. В случай на въздушен колектор, плочата на топлообменника е метална - тип плоча с въздушен канал.



Фиг. 3.1. Конструктивна схема на слънчевия колектор



Фиг. 3.2. Теплообменници, използвани в слънчеви колектори

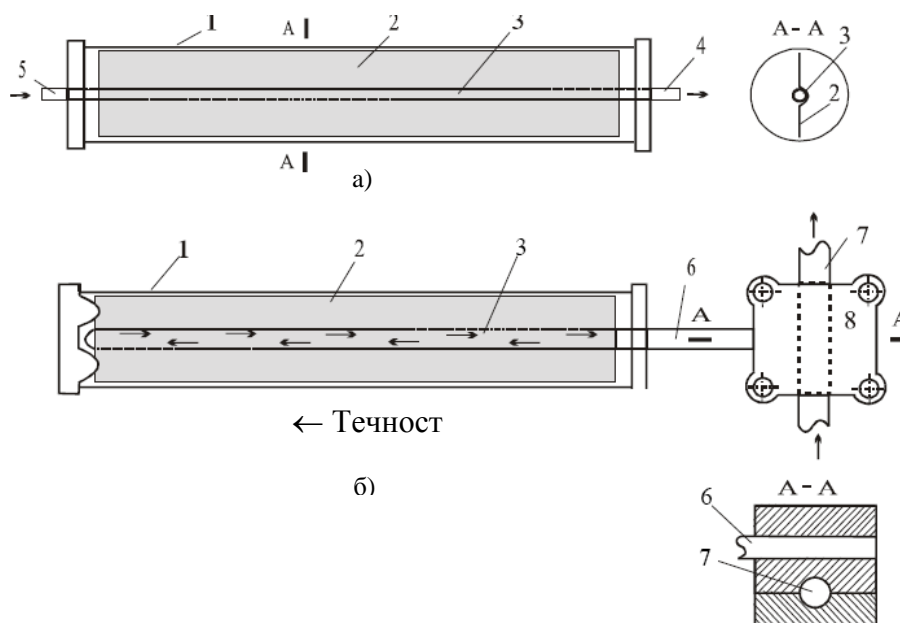
Работата на слънчевия колектор се основава на две физически явления: поглъщането на слънчевата радиация от черно тяло, реализирано върху абсорбиращата повърхност, и парниковия ефект, създаден от прозрачната повърхност. В случая на слънчев колектор се създава изкуствен парников ефект. Повърхността е прозрачна за слънчевата светлина и

непроницаема за инфрачервената радиация. Температурата на абсорбиращата повърхност се увеличава и топлината се предава на водата, която минава през тръбите 2. Тръбният топлообменник е основният елемент на колектора.

Съществуват различни технически решения за свързване на плочата с двете тръби. Най-добрите решения са показани на фиг. 3.2: серпентина (а), паралелни тръби (б), канал, образуван от две метални пластини, заварени чрез контактен метод (в), или канали, образувани вътре в пластмасова пластина (г). За да се намалят топлинните загуби през пространството между повърхността и абсорбиращата прозрачна плоча, тръбата на топлообменника е монтирана в една цилиндрична стъклена тръба, за да се отстрани въздухът. Следователно, налице е значително намаления топлообмен чрез конвекция между двете повърхности и повишената ефективност на колектора. Фиг. 3.3 показва две конструктивни схеми на вакуумни колектори.

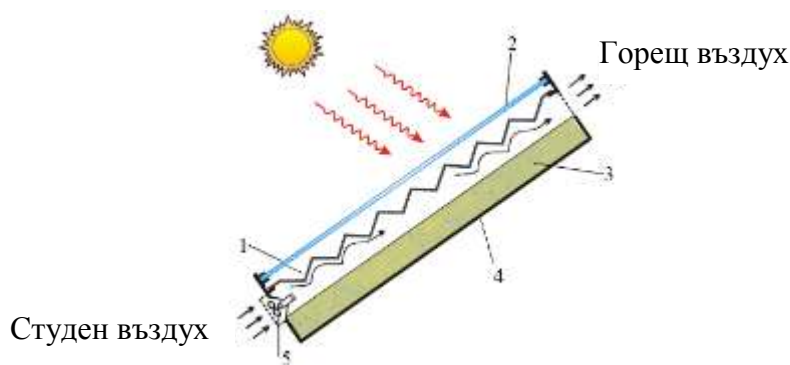
В стъклена тръба 1 се намира стабилно поставена абсорбираща повърхност 2 и тръба 3. Между тези две схеми е налице съществена разлика. В схема а) студената вода влиза през дюзата 5, нагрява се по протежение на пътя, и през дюзата 4 се транспортира до резервоара за съхранение. Двата съединителя трябва да бъдат снабдени с водонепроницаеми стъклени тръби. Тръба 1 и тръба 3 се разширяват различно, което също води до загубата на херметичност между крайника на стъклената тръба и дюза. Във втората б) схема има единствена плътна връзка – в края на тръбата 6. Теплопренасянето се извършва в топлообменника 8, в който е монтиран край на тръбата 6, която действа като кондензатор, и тръбата 7, през която преминава вода. Тръбата 3 е частично запълнена с течност с относително ниска температура на изпаряване. Под действието на топлината, абсорбирана от плочата 2, течността се изпарява, създава се налягане и парите се движат към кондензатора – края на тръбата 6. Тук парите се кондензират, отдавайки енергия за загряване на топла вода, циркулираща през тръба 7. Течността от кондензатора тече в обратна посока в сравнение с тръба 3. Слънчевият колектор с вакуумни тръби съдържа няколко паралелни тръби, поставени в общ корпус, за да се формира външна обвивка. Недостатъците на слънчеви колектори с вакуум са: те са по-скъпи, имат по-голяма маса, има опасност от щети от връзките, които не могат да бъдат ремонтирани при експлоатационни условия.

Конструктивната схема на слънчевия колектор с подгряване на въздуха има следните компоненти: слой 1, прозрачна повърхност 2, топлоизолационен слой 3 и корпус 4 (фиг. 3.4).



Фиг. 3.3. Конструктивни схеми на вакуумни колектори

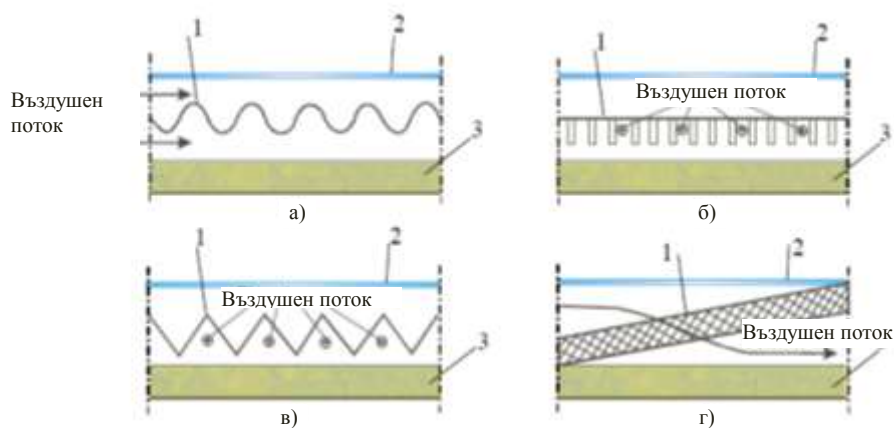
Преносът на топлина се осъществява между повърхността на слоя и потока на въздуха, който преминава през канала между двете повърхности, т.е. между абсорбираща повърхност и изолационен слой. Плътноста на въздуха е около 900 пъти по-ниска от плътността на водата и изисква по-интензивна циркулация на въздуха. За тази цел се използва вентилатора 5 за нагнетяване на хладен въздух към поглъщащата повърхност и към потребителя. Теплопроводността на въздуха е около 25 пъти по-ниска от теплопроводността на водата, и ще трябва да се увеличи значително прозрачната повърхност за контакт с въздушния поток и да се получи същия пренос на топлина.



Фиг. 3.4. Слънчев колектор с подгряване на въздуха

Конструктивните варианти на прозрачната повърхност са предназначени за увеличаване на контактната повърхност между въздуха и слоя. Така се създава турбулентна циркулация на въздуха и увеличаване ефективността на топлообмена чрез (фиг. 3.5):

- а) гофрирана повърхност, с движение на въздушния поток през двата канала;
- б) циркулиращ въздушен поток през правоъгълни канали, образувани от метални пластини, заварени към гърба на абсорбиращата повърхност, образувайки канали.



Фиг. 3.5. Слънчеви колектори с подгряване на въздуха

Действието на слънчеви концентратори се основава на две явления: отражение и пречупване на светлината. Най-често срещаните видове слънчевите концентратори, използвани при термично преобразуване, са: цилиндрично-параболични, параболични и хелиостати. Те са изработени от три основни елемента: рефлектор, който получава директна слънчева светлина и приемник, разположен в центъра, който превръща слънчевата светлина в топлина; системата за следене на траекторията на Слънцето. Основните параметри, характеризиращи слънчевия концентратор, са концентрационни коефициенти, които представляват:

- отношението между площта, която е достъпна за слънчевите лъчи A_a и площта на повърхността на приемника A_r (коэффициент на геометрична концентрация):

$$C_g = \frac{A_a}{A_r}; \quad (3.1)$$

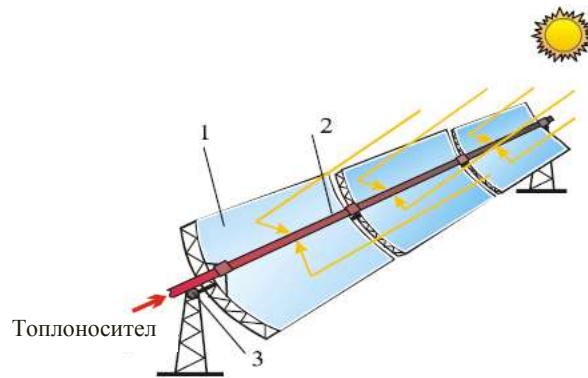
- отношението между плътността на мощността на пряката радиация върху повърхността на приемника B_r и плътност на мощността на пряката радиация върху апертура B_a :

$$C_r = \frac{B_r}{B_a}. \quad (3.2)$$

За идеалния концентратор $C_g = C_r$. В действителност $C < C_g$. Като се има предвид разстоянието между Слънцето и Земята и диаметъра на слънчевия диск, коэффициентът на геометрична концентрация не може да бъде по-голям от:

$$G_{eg} < \left(\frac{2L}{D_s} \right) = 45000. \quad (3.3)$$

Концентраторът съдържа огледало на параболичния цилиндричен рефлектор 1, приемник на слънчевата радиация 2, показващ тръбата, през която тече топлопредаваща течност (вода) (фиг. 3.6). Приемникът 2 е монтиран във фокуса на параболичен цилиндър.



Фиг. 3.6. Параболичен цилиндричен концентратор

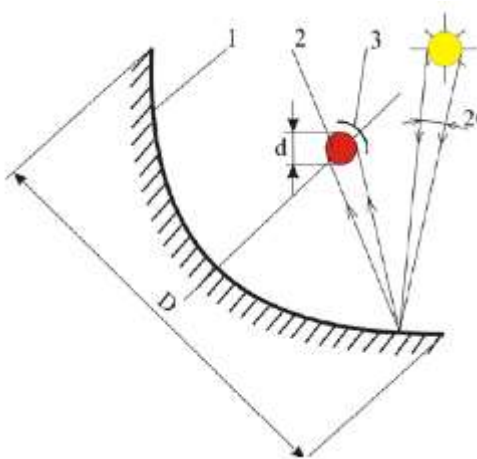
Важна характеристика на цилиндрично-параболичен концентратор е проследяването на само една координата на траекторията на Слънцето - ъгъл над хоризонта α_s .

В конструкцията, показана на фиг. 3.7, се осъществява проследяване с ротацията на огледалото около ос 3. Температурата на приемника достига стойности $(400 - 5000)^\circ\text{C}$ и осигурява получаването на пара и производството на електроенергия.

За да се оцени температурата на приемника, се използва фиг. 3.7, където е представена опростената схема на параболичния концентратор:

1- параболично огледало или параболичен цилиндър, 2 – приемник, поставен във фокуса на парабола или параболоид, 3 - отражател.

Цилиндрично-параболично огледало има дължина L и диаметърът на отваряне D , в случай на параболично огледало – диаметърът на отваряне е равен на диаметъра на цилиндрично-параболичен концентратор D . Приемникът има диаметър на тръба D и дължина L , или е със сферичен диаметър d за параболоиден концентратор. Ъгловият размер на слънчевия диск е равен на $2\theta_s$, където $\theta_s = R_s / L$.



Фиг. 3.7. Опростена схема на параболоиден концентратор

Мощността на слънчевата радиация, абсорбирана от приемника е:

$$P_{abs} = \rho_c \alpha \text{ dB}, \quad (3.4)$$

където ρ_c е отражението върху повърхността на огледалото;;

α - абсорбирането на приемника;

B - пряката слънчева радиация;

1 - дължината на огледалото;

D - апертурата на огледалото.

Приемникът, имайки температурата T_R , излъчва в пространството поток с мощност:

$$P_{\text{rad}} = 8\sigma T_{\text{R}}^4 \pi dl(1 - \xi/\pi), \quad (3.5)$$

където ε е степента на чернота на приемника;

σ - константата на Стефан Болцман;

ξ - скрининг факторът на приемника, ($\xi = 2/3\pi$);

d - диаметърът на приемника.

В стационарен топлинен режим абсорбираната мощност е равна на излъчваната мощност (другите загуби на мощността на приемника са пренебрегнати), следователно, максималната температура на приемника е

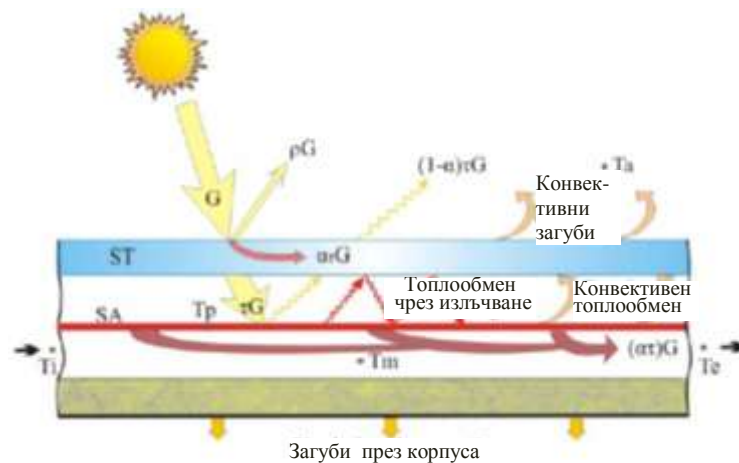
$$T_R = \sqrt[4]{\frac{\rho_c \alpha B}{8\pi\theta_s}}. \quad (3.6)$$

За $B=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha/\varepsilon=1$, $\rho_c=0,8$, $\sigma=5,67 \text{ W m}^2 \text{ K}^{-4}$, $\theta_s=0,00465 \text{ Rad}$ се получава максималната температура от 1162 K или $889 \text{ }^\circ\text{C}$. В най-често срещаните системи с параболично-цилиндрични концентратори се получават температури до $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Намаляването на температурата се дължи на отклонението на огледалната повърхност от идеална параболична форма и факта, че топлоносителят, който тече през приемното устройство, води до намаляване на P_{rad} .

За една и съща стойност на слънчевата радиация се получава $T_R=3480$ К или 3208 °С. В реалните инсталации могат да се получат температури до 3000 °С.

Конструктивни и топлинни характеристики на плосък слънчев колектор

На фиг. 3.8 е представен опростеният енергиен баланс на стандартния плосък колектор.



Фиг. 3.8. Опростен енергиен баланс на плосък слънчев колектор

От сумарната слънчева радиация G върху прозрачната повърхност, най-важната част τG , която се определя от коефициента на прозрачност τ , достига абсорбиращата повърхност, където тя се превръща в топлина. Прозрачната повърхност отразява в Космоса радиация ρG и поглъща $\alpha_T G$. Една част от падащата върху абсорбиращата повърхност радиация τG се отразява, а по-голямата част от нея се трансформира в топлина. За прозрачната повърхност сумата от коефициентите е постоянна.

$$\tau + \rho + \alpha_T = 1. \quad (3.7)$$

Абсорбиращата повърхност преобразува слънчевата радиация и температурата T_p се увеличава до $(40-100)^\circ\text{C}$.

Ефективността на превръщане на слънчевата радиация в топлина се определя от коефициента на абсорбиране α на абсорбиращата повърхност.

Само една част от падащата слънчева радиация G се превръща в топлина, в зависимост от свойствата на прозрачната и абсорбиращата повърхност. Мощността на абсорбиращата повърхност е

$$P_{SA} = (\alpha\tau)G. \quad (3.8)$$

Мощността P_{SA} трябва да покрива загубите на енергия върху прозрачната повърхност, които се получават чрез конвективен топлообмен, и загубите през външната обвивка. Тези загуби са пропорционални на разликата в температурите T_p на абсорбиращата повърхност и на околната среда T_a

$$\Delta P = U_p (T_p - T_a), \quad (3.9)$$

където U_p е коефициентът на общите загуби, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. $U_p = (1-30) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Мощността, необходима на слънчевия колектор, се определя с уравнението на Hottel-Whillier Bliss:

$$P_U = (\alpha\tau)G - U_p (T_p - T_a). \quad (3.10)$$

Топлинният к.п.д. е

$$\eta = \frac{P_U}{G} = (\alpha\tau) - U_p \frac{T_p - T_a}{G}. \quad (3.11)$$

От ур.(3.11) се получава:

- При $U_p = \text{const}$ and $(\alpha\tau) = \text{const}$, к.п.д. намалява линейно в зависимост от $(T_p - T_a)/G$;
- К.п.д. е максимален, ако $T_p = T_a$ и зависи само от оптичните свойства на материала ST and SA ;
- намаляване на общата радиация G води до нисък к.п.д.

Факторът ($\alpha\tau$), който характеризира оптичските свойства на поставената върху прозрачната повърхност - абсорбиращата повърхност, дава класификация на слънчевите колектори от гледната точка на к.п.д. и общия коефициент на загуби U_r .

Оптични свойства на материалите, използвани за прозрачните и абсорбиращи повърхности

Максималният к.п.д. на слънчевия колектор или фактор ($\alpha\tau$) зависи само от свойствата на материалите, използвани за тази специфична повърхност, абсорбиращата плоча или прозрачната повърхност.

Коефициентът на спектралната абсорбция α_λ се представя с отношението между радиацията с абсорбираното излъчване с дължината на вълната λ и падаща радиация със същата дължина на вълните.

Коефициентът α отчита особености на материала и не зависи от вида на радиация. Той показва, каква част се абсорбира, когато има взаимодействие между електромагнитното излъчване и материала (в случая на слънчевите инсталации - абсорбиращата повърхност).

Спектрален коефициент на предаване τ_λ и спектрален коефициент на отражение ρ_λ .

От закона за запазване на енергията следва, че сумата на тези коефициенти е равна на единица:

$$\alpha_\lambda + \tau_\lambda + \rho_\lambda = 1. \quad (3.12)$$

Стойностите на тези коефициенти са почти постоянни в рамките диапазона на изменението на ъгъла на наклона θ , вариращ между 0 и 60° и се намалява рязко за ъгли, по-големи от 70° .

Като се има предвид фактът, че слънчевата радиация обхваща широк спектър на електромагнитните вълни, посочените по-долу понятия трябва да се използват за практически цели, тъй като те отразяват взаимодействието между материала и електромагнитно излъчване в целия диапазон:

1. Абсорбцията α се определя като отношение между мощността на абсорбираната и падащата слънчевата радиация:

$$\alpha = \frac{G_a}{G}; \quad (3.13)$$

2. Коефициентът на пропускането се определя като съотношение между пропусканата мощност на излъчване през материята и мощността на падащата радиация:

$$\tau = \frac{G_\tau}{G}; \quad (3.14)$$

3. Отражението ρ се дефинира като отношение между отразената мощност на излъчване и мощността на падащата радиация:

$$\rho = \frac{G_\rho}{G}. \quad (3.15)$$

Формулата (3.13) се записва така:

$$\alpha = \frac{\int_0^\infty \alpha_\lambda G_{\lambda a} d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda d\lambda}. \quad (3.16)$$

По аналогичен начин се изчисляват коефициентите τ и ρ .

Коефициентите α , τ и ρ характеризират поведението на прозрачната или абсорбиращата повърхност, когато има слънчева радиация с къси вълни в диапазона между 0,3 and 3 μm .

Съгласно закона на Кирхоф, за всяка дължина на вълната λ и температурата T важи следното съотношение:

$$\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda}. \quad (3.17)$$

Оттук следва: тялото с температура T абсорбира и излъчва, едно и също количество на електромагнитна радиация с дължината на вълната λ .

Емисионно-спектрална радиация за целия диапазон на излъчването се определя с отношението:

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda} W_{\varepsilon\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} W_{\lambda n} d\lambda} = \frac{W_{\varepsilon}}{W_n}, \quad (3.18)$$

където W_{ε} , W_n са мощностите на потока, съответно излъчен от реалното тяло с температура T и на мощността на потока, излъчен от абсолютно черно тяло при една и съща температура.

Абсолютно черно тяло с площ A излъчва поток с мощността, равна на $W_n = \sigma \cdot A \cdot T^4$ и, следователно, потокът на радиационните загуби трябва да бъде:

$$W_{\varepsilon} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4. \quad (3.19)$$

Тест за самоподготовка

1. Основни параметри, които характеризират слънчевия концентратор са:

- Отношението между площта, насочена към слънчевите лъчи и площта на приемника;
- Отношението между въздушния поток, който циркулира през каналите, и абсорбиращата повърхност;
- Отношението между плътността на мощността на пряката радиация върху повърхността на приемника и плътността на мощността на пряката радиация върху съоръжението.

Отговор: а, в

2. Максималният к.п.д. на слънчевия колектор зависи от:

- Диаметъра на каналите;
- Свойствата на материала на абсорбиращата плоча и тези на прозрачната повърхност;
- Вълниста повърхност.

Отговор: б

3. Действието на слънчевата радиация се основава на две явления:

- Отражение и пречупване на светлината;
- Отражение и падане на светлината;
- Падане и пречупване на светлината.

Отговор: а

Тест за оценяване

1. Обяснете ролята, конструктивната схема и функционирането на слънчевия колектор!
2. Обяснете опростения енергиен баланс на плоския слънчев колектор!
3. Кой са оптичните свойства на материалите, използвани за прозрачните и абсорбиращи повърхности?

3.3. Геотермална енергия. Общи сведения. Приложение.

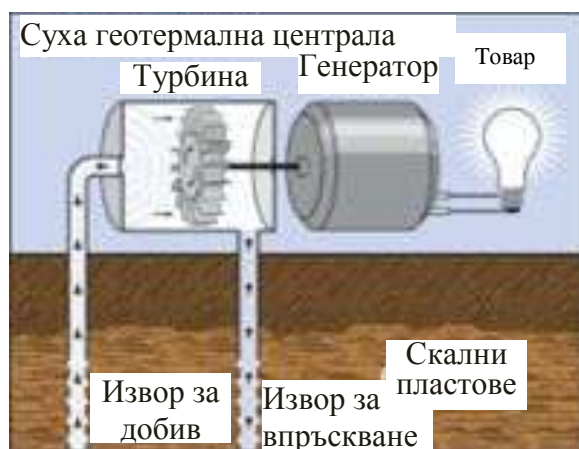
Цели

След изучаване на този раздел обучаемите са в състояние да:

- дефинират термините *геотермална енергия* и *биомаса*;
- изброят видовете *геотермални централи*;
- определят и изброят компонентите на *слънчева система за подгряване на вода*;
- класифицират *слънчевите системи за отопление на водата*.

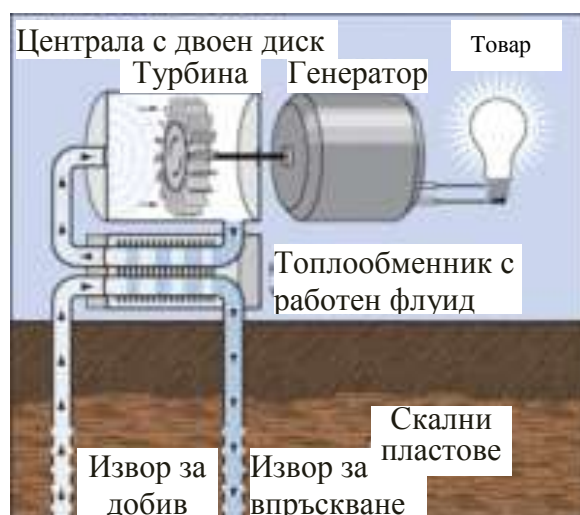
Геотермалната енергия е форма на енергията, получена от топлината от вътрешността на Земята. Горещата вода и парите, които се намират в районите с тектонична и вулканична дейност, се използват за отопление на жилища и производство на електроенергия. Това е форма на възстановената енергия. Има три вида геотермални централи, които в момента са използвани за превръщането енергията на геотермална вода в електрическа: "със суха пара", "със сгъстена пара" и "бинарни – с двоен цикъл", в зависимост от състоянието на флуида: парите или течност; или от температурата на флуида.

- Централите "със суха пара" са първите видове централи, строени някога. Те използват пара, получена от геотермален извор.



Фиг. 3.9. "Суха геотермална централа "

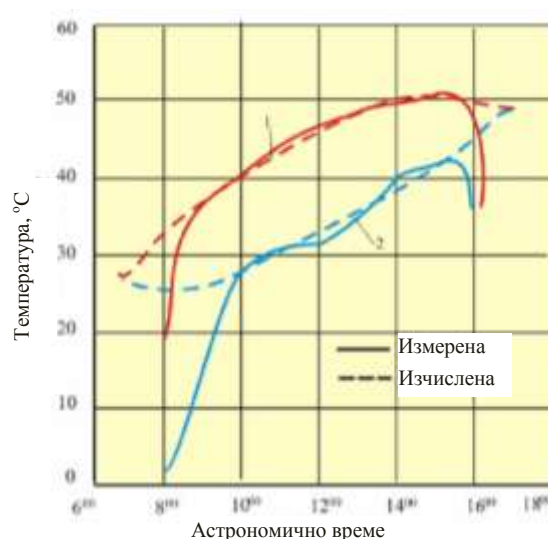
- Централите "със сгъстена пара" са най-разпространени днес. Те използват вода при температура 360°F (182°C), инжектирайки я при високи налягания в повърхностните съоръжения.
- Централите с двоен цикъл се различават от първите два вида, защото в този случай водата или парата от геотермален източник няма контакт с турбината или електрическия генератор. Използваната вода достига температури до 400°F (200°C).



Фиг. 3.10. "Централа с двоен цикъл"

Слънчеви системи за подгряване на вода

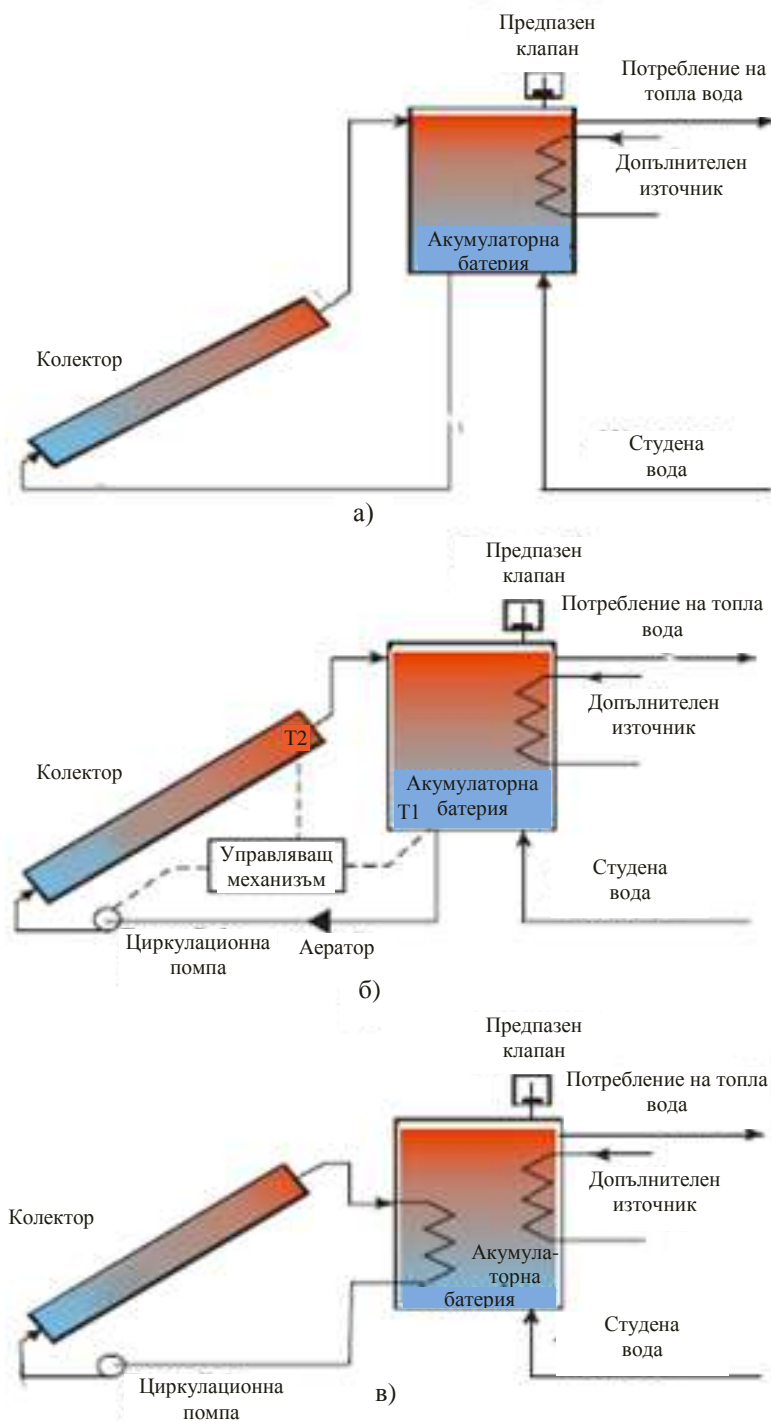
В слънчевите системи за подгряване на вода с естествена циркулация разликата между температурата на водата в и извън колектора е около 10°C , и остава постоянна през целия ден (фиг. 3.11). Дебитът на водата е $(50-60) \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Най-често срещаните слънчеви системи за подгряване на вода са показани на фиг. 3.12 и включват: плосък слънчев колектор, акумулаторна батерия (резервоар за вода), топлообменник, помпа, допълнителен източник на енергия. Разликата между схемите е именно във взаимосвързаността и подреждането на тези елементи.



Фиг. 3.11. Изменение на температурата на водата през целия ден: 1 - изход; 2 –вход

Слънчеви системи за подгряване на вода с естествена циркулация (фиг. 3.12.а.). За да се осигури надеждна циркулация на вода, батерията трябва да бъде поставена над колектора. Вътре в колектора и в резервоара се установява разлика в температурата между горната и долната част, като по този начин се създава разлика в плътността между топли и студени слоеве на водата, така че разликата в налягането осигурява циркулация на водата. Разликата в налягането зависи от разликата в температурите. Движението на водата в системата зависи от ефективната мощност, добита от колектора, което осигурява разликата в температурите. Слънчевите системи за подгряване на вода с естествена циркулация са

самонастройващи се системи - увеличаване на акумулираната енергия води до увеличаване на водния поток, циркулиращ в системата.



Фиг. 3.12. Типична схема на слънчева система за подгряване на вода:
 а – с естествена циркулация; б – с принудителна циркулация; в – с два контура.

Слънчевата водна отоплителна система с принудителна циркулация е показана на фиг. 3.12.б.

Циркулационната помпа се контролира в зависимост от разликата между температурата T2 в горната част на колектора и температурата T1 на дъното на резервоара. Температурата се контролира с диференциално реле. Помпата ще работи само когато разликата надвиши предварително определената температура. За да се изключи циркулацията на водата, е осигурен обратен еднопътен клапан.

На фиг. 3.12.в е показана схемата с принудителна циркулация с два контура. Първият контур включва колектор, помпа и топлообменник, напълнен с антифриз. Вторият контур е свързан с циркулацията на топла вода. Преносът на топлина между първия и втория контур се извършва чрез течността на топлообменника (спирали от батерията).

Поддържане на слънчеви системи за подгряване на вода

Прозрачната повърхност и абсорбиращата повърхност зависят от оптичните характеристики на използваните материали. Свойствата на спектралния коефициент на поглъщане (α), спектралния коефициент на пропускане (ϵ) и спектралния коефициент на излъчване пряко влияят на температурната ефективност на слънчевия колектор. Влошаването на тези параметри може да повлияе на дългосрочните резултати, затова подобренията на материалите трябва да имат стабилни свойства с течение на времето.

Абсорбиращата повърхност на плочата трябва да издържа на максималните температури, които са възможни по време на функционирането ѝ. Това може да бъде лесно определено, при условие, че полезна мощност $Q_u = \eta G$ е равна на нула (циркулация на вода отсъства). Температурата на течността T_M е равна на температурата на плочата. Избраният материал и боята трябва да издържат на тези температури. Съединението на стъклото с тялото трябва да се извърши без ръбове и ребра.

Топлоизолация. Изолацията в предната повърхност на колектора се осъществява от прозрачната повърхност (стъкло) и въздушна обвивка, образувана между абсорбиращата повърхност и прозрачната повърхност. Въздушното пространство трябва да е между 25 и 40 mm. Смята се, че оптимална дебелина е 28 mm. Други части на колектора – задната част и страни трябва да бъдат изолирани със слой от (5-10) cm от стъклена вата или друг изолационен материал с подобни топлинни характеристики. Стъклената вата има следните предимства:

- Тя е относително евтина;
- Има много добри изолиращи свойства $\lambda = (0,05-0,06) \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$;
- Устойчива е на температури над 100°C ;
- Лека е $\rho = (150-200) \text{ kg/m}^3$.

Недостатъци: тя губи изолационни качества, ако е влажна.

Препоръчва се да се използват панели от стъклена вата, за да е удобно за случаи, когато слънчев колектор се поставя под наклон.

Разумно решение по отношение на критерия цена-качество може да бъде комбиниран панел изолация, състоящ се от стъклена вата с дебелина 4 cm и широк 3 cm стиропор. Стъклена вата, като по-устойчива на високи температури, се поставя веднага след абсорбираща плоча. За разлика от стъклената вата, стиропорът е по-устойчив на влага.

За подобряване на топлоизолацията на колектора се препоръчва въвеждането на тънко алуминиево фолио между изолацията и абсорбираща плоскост (абсорбер). То служи като екран с цел да отрази инфрачервената радиация, падаща на плочата. Между поглъщащата плоча и фолиото трябва да се остави въздушно пространство, което ще играе роля на допълнителен топлинен изолатор.

Херметизиране на колектора. За да се предотврати проникване на вода и прах вътре в колектора, е необходимо той да се херметизира. При ясно небе водната пара ще кондензира върху вътрешната повърхност на стъклото и това ще води до по-ниска прозрачност и ефективност. При следващия старт на колектора кондензът ще се запази, докато стъклото стане достатъчно горещо, за да се изпари. По този начин колекторът, в който има влажен въздух, ще се активира по-късно и ще спре по-рано. Ако колекторът не е херметически затворен, вътре ще проникне прах, който ще полепне както върху вътрешната повърхност на стъклото, така и върху прозрачната плоча.

Външната обвивка има функция за поддържане на устройството и гарантиране херметичността на колектора. Най-добрият материал за нея е алуминев винкел и поцинкована ламарина. Външната обвивка трябва да има висока механична якост.

Инсталирането на колектори става серийно или паралелно. При свързване в серия, водата преминава последователно през колектори, загрявайки се постепенно. Колекторите работят при различни температури, с намалена ефективност към изхода. Трябва да се има предвид създаващото се хидравлично съпротивление. Поради тази причина свързването в серия се препоръчва за системите с принудителна циркулация на водата.

Оразмеряване на слънчева система за подгряване на вода

Установено е, че ефективността на слънчевата система за подгряване на вода намалява с увеличаване разликата в температурите между повърхността и топлопоглъщата околна среда. Важно е повърхността на слънчевия колектор и обемът на резервоара за вода да се оразмерят правилно, отчитайки:

- наличната сумарна радиация върху повърхността на колектора;
- денонощното потребление на топла вода и нейната температура;
- разпределение на консумацията на вода през целия ден.

Ако слънчевата система за подгряване на вода е представена със схема с един контур и естествена циркулация, оразмеряването се отнася до следните параметри:

- оптималния ъгъл на наклон на слънчеви колектори за период март-октомври;
- стойността на средната сумарна радиация, падаща на повърхността на колектора и месечна средна сумарна радиация;
- дневната консумация на топла вода и нейното разпределение в продължение на 24 часа;
- повърхността на слънчевия колектор;
- обемът на резервоара за гореща вода;
- минималната температура на водата при по-малка слънчева радиация.

Оптималният ъгъл на наклона на слънчевия колектор се избира по такъв начин, че възможно по-голямо количество енергия да пада на повърхността на колектора. За тази цел се избира стойността на ъгъла $\Phi - \beta$, за която съотношението R_b между пряката слънчева радиация върху наклонената система и хоризонталната система е максимално.

Сумарната средна радиация, падаща върху колектора, пренебрегвайки компонента на отразената радиация, е:

$$G_{\beta} = R_b \cdot B + \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)D. \quad (3.20)$$

Ежедневна консумация на гореща вода и нейното разпределение в продължение на 24 часа. Необходимото дневно количество на топла вода и нейното разпределение в продължение на 24 часа зависи до голяма степен от специфичните характеристики на потребителя.

Повърхност на колектора. Изчисляването на енергията, необходима за подгряване на дневния обем на вода се извършва съгласно уравнението

$$E_{nec.} = C_z \cdot c_{apei} (t_{calda} - t_{rece}) = 200 \cdot 4,173 \cdot 10^3 \cdot 40 = 33,39. \quad (3.21)$$

Площта на абсорбера на слънчевия колектор е:

$$S_{col} = \frac{E_{nec}}{\eta_{col} \cdot G_{\beta med}}, \quad (3.22)$$

Където η_{col} е средната стойност на к.п.д. на колектора в рамките на параметрите на функциониране,

$G_{\beta med}$ - дневната сумарна слънчева радиация, определена като средна стойност за периода март-октомври.

Обемът на резервоара за съхранение на гореща вода е:

$$V_a = V_1 + V_2. \quad (3.23)$$

Температурата на гореща вода е:

$$t_{calda} = t_{rece} + \frac{C_{\beta}^{III} \cdot S_{col} \cdot \eta_{col}}{C_z \cdot c_{apei}} \quad (3.24)$$

Количеството на произведената топлинна енергия се определя с израза:

$$E_{III-X} = N_z \cdot G_{\beta med} \cdot S_{col} \cdot \eta_{col}. \quad (3.25)$$

Двигатели и слънчеви топлинни централи

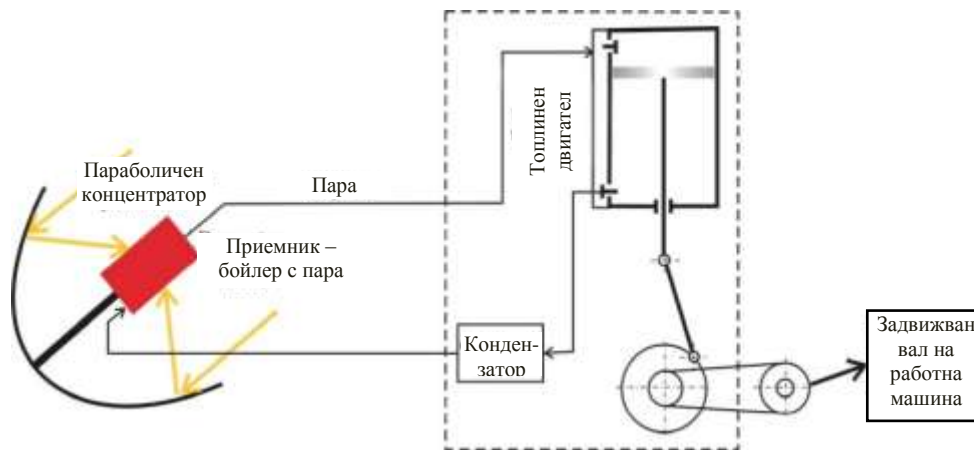
Преобразуването на слънчевата енергия в механична енергия или електроенергия е цел на много експериментални изследвания, но то има един много важен недостатък - ниска ефективност.

Топлинната енергия или топлина може да се преобразува изцяло в други форми на енергия (механична или електрическа). Ефективността на топлинния двигател, бутало или турбина, зависи от температурата на топлинния източник (температура на входа) $T_{entrance}$ и от температурата на студения източник (кондензатор), T_{exit} , между които се осъществява топлообмен. Максималната ефективност на Карно не трябва да надвишава стойността, зададена с израза:

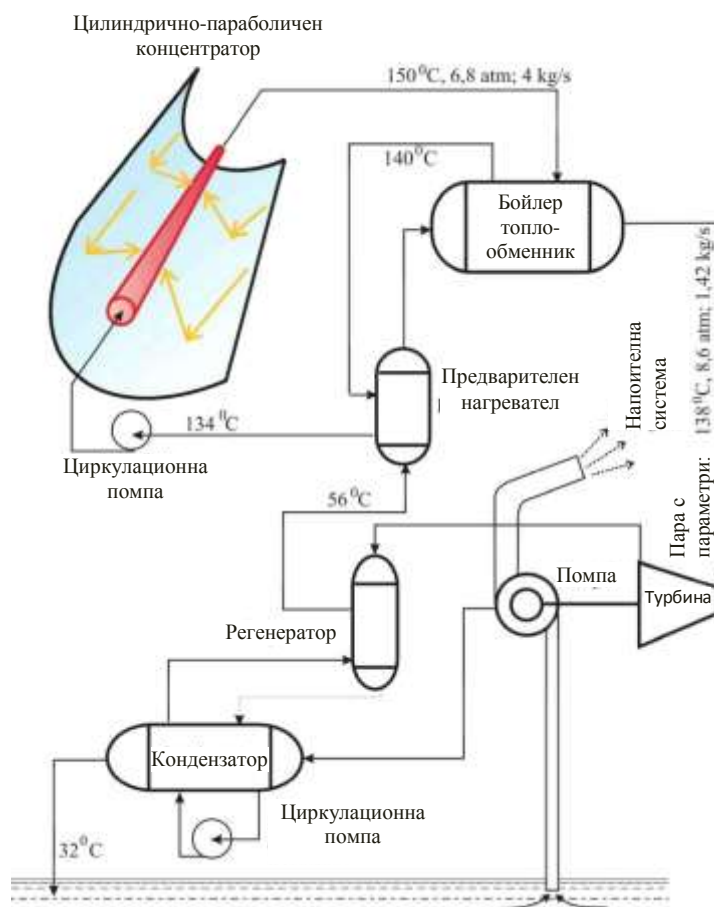
$$\eta_c = 1 - \frac{T_{ies}}{T_{in}}. \quad (3.26)$$

Истинският к.п.д., поради загубите на енергия, ще бъде около 25%. Изисква се температура да е най-малко 100°C , за да се получи водна пара. Ако температурата, получена от слънчевия колектор е по-ниска, тя може да се използва като работна за топлинен двигател, в съответствие с цикъла на Ранкин. Тук органичните вещества се използват като топлопредаваща течност с температурата на кипене, по-ниска от 100°C , като тези, използвани в хладилници и термopомпи. Такава топлинна машина ще има по-нисък добив. Например, ефективността при 85°C на парна топлинна машина, получена от плоския слънчев колектор при температура на кондензация от 30°C , няма да надвишава 15%.

На фиг. 3.13 и фиг. 3.14 са представени схемите на слънчев топлинен двигател и слънчева помпена система.



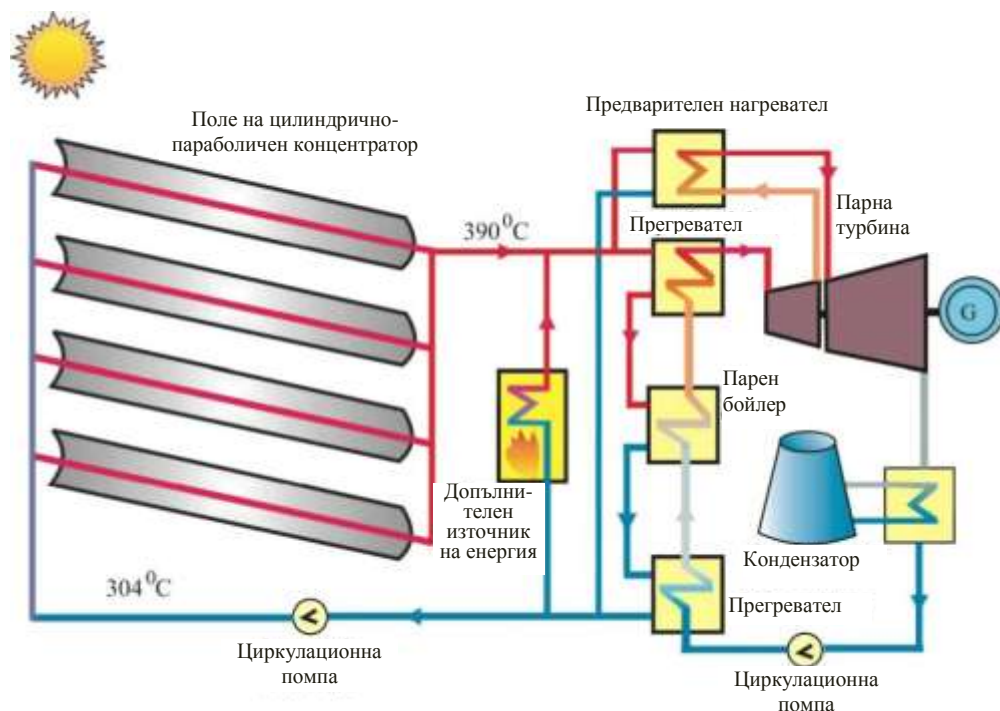
Фиг. 3.13. Схема на слънчев топлинен мотор, разработен от Augustin Mouchot и Abel Pifre през 1872 г.



Фиг. 3.14. Слънчева помпена система, разработена от Г. Александър през 1979 г.

Преобразуването на слънчевата енергия в електрическа е подобно на традиционното освобождаване на енергията на изкопаемите горива чрез изгаряне, когато тя се превръща в потенциална енергия на съгъстена пара и се загрева до $(500-600)^{\circ}\text{C}$. Парата в турбината се разширява, потенциалната енергия се превръща в кинетична и след това на свой ред се превръща в електрическа.

Изкопаемите горива се заместват със слънчева радиация, котелът - със слънчев колектор с концентратор, а другите елементи на слънчева топлоелектрическа централа остават същите, като в традиционна отоплителна система.



Фиг. 3.15. Функционална схема на слънчева електроцентрала

Основните компоненти на една слънчева топлоелектрическа централа са показани на схемата на фиг. 3.15. Полето на слънчеви колектори се състои от цилиндрично-параболични концентратори с обща площ от около $1,75 \times 10^6 \text{ m}^2$. Активната част на концентратора - рефлекторът е направен от стъкло с ниско съдържание на желязо, и е покрит със сребро в задната част. Стъклото е монтирано върху секционна метална структура, която позволява колектори да имат различни дължини. Колекторите са монтирани паралелно в редове, в посока юг-север. За да се проследява Слънцето, се използват хидравлични задвижващи механизми. Приемникът на слънчевата радиация се състои от стоманена тръба с диаметър от 70 mm, покрита със слой от избрания материал. За да се намалят загубите на енергия, приемникът се поставя във вакуумна стъклена тръба. При температура 350°C възприемащата повърхност има поглъщане, равно на 96% и производителност 19%.

3.4. Управление на енергийните потоци в соларни хибридни инсталации за топла вода

3.4.1. Моделиране енергийните процеси в соларна хибридна инсталация за производство на топла вода

Условията на климата в Република България изискват при използване на слънчеви колектори за топла вода допълнително подгръване на водата, поради което са намерили разпространение хибридните инсталации, състоящи се от слънчев колектор, конвенционален източник на енергия и резервоар за подгрятата вода (фиг. 3.16). В известните системи за управление на такива инсталации се поддържа зададената температура на водата в резервоара. При този подход не се отчитат загубите на енергия, прогнозните часови графики на слънчевата радиация и на консумацията на топла вода.

Инсталацията съдържа контур за подгръване на вода, състоящ се от слънчев колектор 1, топлообменник 2 и циркулационна помпа 3. Инсталацията включва също акумулиращ съд

за подгряваната вода 4, топлообменник 5, работещ с конвенционален източник на енергия 6, вентил 7, клапан 8 и разходомер 9.

Обосновка на използваните приближения и зависимости.

Добивът на енергия зависи от к.п.д. на колектора и за момент от време τ е

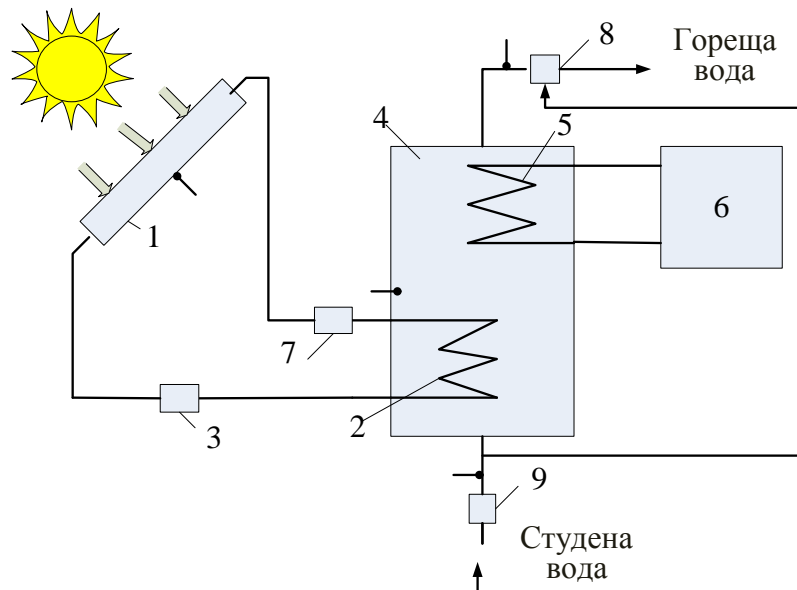
$$Q_{\text{СЛ}}(\tau) = \eta I_{\text{СЛ}}(\tau), \text{ W.m}^{-2}, \quad (3.27)$$

където $Q_{\text{СЛ}}(\tau)$ е плътността на усвояения от колектора топлинен поток, W/m^2 ;

τ - текущото време, s;

η - к.п.д. на колектора;

$I_{\text{СЛ}}(\tau)$ - интензивността на слънчевата радиация, W/m^2 .



Фиг. 3.16. Структура на хибридна инсталация за производство на топла вода

За плоски колектори к.п.д. е променлив и зависи от разликата между температурата на флуида на контура и температурата на околната среда

$$\eta = \frac{Q_{\text{СЛ}}(\tau)}{I_{\text{СЛ}}(\tau)} = \frac{I_{\text{СЛ}}(\tau) \eta_a - k[t_{\text{ФЛ}}(\tau) - t_{\text{ОС}}(\tau)]}{I_{\text{СЛ}}(\tau)}, \quad (3.28)$$

където η е трансмисионният коефициент;

η_a - абсорбционният коефициент;

k - коефициентът на топлопреминаване, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

$t_{\text{ФЛ}}(\tau)$ - температурата на флуида, K;

$t_{\text{ОС}}(\tau)$ - температурата на околната среда, K.

Приема се, че температурата на флуида в слънчевия колектор е еднаква. За моделиране на температурния режим на акумулацията се използват зависимостите за топлопроводност, конвективен топлообмен при естествена вентилация около плоска стена и енергийния баланс на входяща и изходяща вода. Приема се, че температурата на стената вътре в съда е равна на тази на водата. Това е допустимо поради добрата изолация на съда. Критериалното уравнение на Нуселт за определяне на средната стойност на коефициента на естествен конвективен топлообмен е

$$\text{Nu}_m = C(\text{Gr.Pr})_m^n, \quad (3.29)$$

където Nu_m е критерият на Нуселт;
 C, n - коефициентите;
 Gr - критерият на Грасхоф;
 Pr - критерият на Прандтл.

Коефициентите C и n зависят от режимите на движение на флуида, т.е. от $(Gr.Pr)$ и се задават таблично. Прилагането на тази зависимост за плоска стена към цилиндрична повърхност, каквито са най-често акумулиращите съдове за подгряваща вода, е възможно поради сравнително големите им диаметри. Критерият на Грасхоф се определя с израза

$$Gr = Ga \cdot \beta \cdot \Delta t, \quad (3.30)$$

където Gr е критерият на Грасхоф;
 Ga - критерият на Галилей;
 β - коефициентът на топлинно разширение, K^{-1} ;
 Δt - разликата между температурите на стената и въздуха, K .

За изчисляването на критерия на Галилей се използва израза

$$Ga = \frac{gl^3}{\nu^2}, \quad (3.31)$$

където Ga - критерият на Галилей;
 g - земното ускорение, m/s^2 ;
 l - определящият линейен размер, m ;
 ν - коефициентът на кинематичен вискозитет на въздуха, m^2/s .

Отчитайки формула (3.29) за коефициента на естествен конвективен топлообмен и зависимостта му от състоянието на параметрите на водата, стената и въздуха в даден момент от време, се получава

$$\alpha(\tau) = \frac{\lambda \cdot Nu_m}{l}, \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (3.32)$$

където $\alpha(\tau)$ е коефициентът на естествен конвективен топлообмен между външната стена и околната среда, за даден момент от астрономическото време $W/(m^2 \cdot K)$;
 λ - коефициентът на топлопроводност на флуида, $W/(m^2 \cdot K)$.

Топлинната мощност, отдавана чрез естествената конвекция, се определя с израза

$$N_{\text{конв}}(\tau) = k_{\text{съд}}(\tau) F \Delta T, \quad W, \quad (3.33)$$

$$k_{\text{съд}}(\tau) = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{стена}}}{\lambda_{\text{стена}}} + \frac{\delta_{\text{изол}}}{\lambda_{\text{изол}}} + \frac{1}{\alpha(\tau)}}, \quad W/(m^2 \cdot K), \quad (3.34)$$

където $N_{\text{конв}}(\tau)$ е топлинната мощност, отдавана чрез естествената конвекция от съда в околната среда, W ;
 $k_{\text{съд}}(\tau)$ - коефициентът на топлопреминаване, $W/(m^2 \cdot K)$;
 F - повърхността на съда, m^2 ;

ΔT - разликата между температурите на стената и въздуха, K ;
 $\delta_{\text{стена}}, \delta_{\text{изол}}$ - дебелините, съответно на стената на съда и на изолацията, m ;
 $\lambda_{\text{стена}}, \lambda_{\text{изол}}$ - коефициентите на топлопроводност, съответно на стената и на изолацията, W/(m².K) .

Моделиране на процеса

За оценка на енергията, постъпващата от слънцето, се използва прогнозният часов график на слънчевата радиация и к.п.д. на колектора. Слънчевата енергия, постъпваща за период от време 0... τ , се изчислява с

$$E_{\text{СЛ}}^{\text{ПЕР}} = \int_0^{\tau} N_{\text{СЛ}}(\tau) d\tau, \text{ J} \quad (3.35)$$

където $N_{\text{СЛ}}(\tau)$ е моментната стойност на топлинната мощност, получавана от слънчевата радиация, W .

$$N_{\text{СЛ}}(\tau) = \eta F_c E_{\text{СЛ}}(\tau), \text{ W} , \quad (3.36)$$

където F_c е повърхността на колектора, m² .

Часовият график на консумация на топла вода се разглежда като разход на приведена консумирана енергия. Консумацията на енергия за време 0... τ , $E_{\text{КОНС}}^{\text{ПЕР}}$ се определя аналогично на (3.35), където текущата мощност е

$$N_{\text{КОНС}}(\tau) = B_v(\tau) \rho_v c_v [T_{\text{СЪД}}(\tau) - T_{\text{СТ}}], \text{ W} , \quad (3.37)$$

където $B_v(\tau)$ е дебитът на консумираната топла вода на изхода на съда, m³/s ;

ρ_v - плътността на водата, kg / m³ ;

c_v - специфичният топлинен капацитет на водата, J/.kg..K ;

$T_{\text{СЪД}}(\tau), T_{\text{СТ}}$ - съответно, температурите на водата в съда и на студената вода на входа в съда, K .

Моделът на процеса производство на топла вода в хибридна инсталация, съдържаща слънчев колектор и конвенционален източник на енергия, следва да отчете натрупването на енергия в акумулиращия съд, загубите в резултат на излъчването в околната среда и консумацията на топла вода. Тези съставки на енергийния баланс зависят от параметрите на процеса и времето

$$E_{\text{СЛ}}^{\text{ПЕР}} + E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{ПЕР}} + E_{\text{СЪД}} + E_{\text{СТ}} - E_{\text{КОНВ}}^{\text{ПЕР}} - E_{\text{КОНС}}^{\text{ПЕР}} = 0, \text{ J} , \quad (3.38)$$

където $E_{\text{СЛ}}^{\text{ПЕР}}$ е енергията, внесена от слънчевата радиация, J ;

$E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{ПЕР}}$ - енергията, внесена от конвенционалния източник, J ;

$E_{\text{СЪД}}$ - енергията, акумулирана от водата в съда, J ;

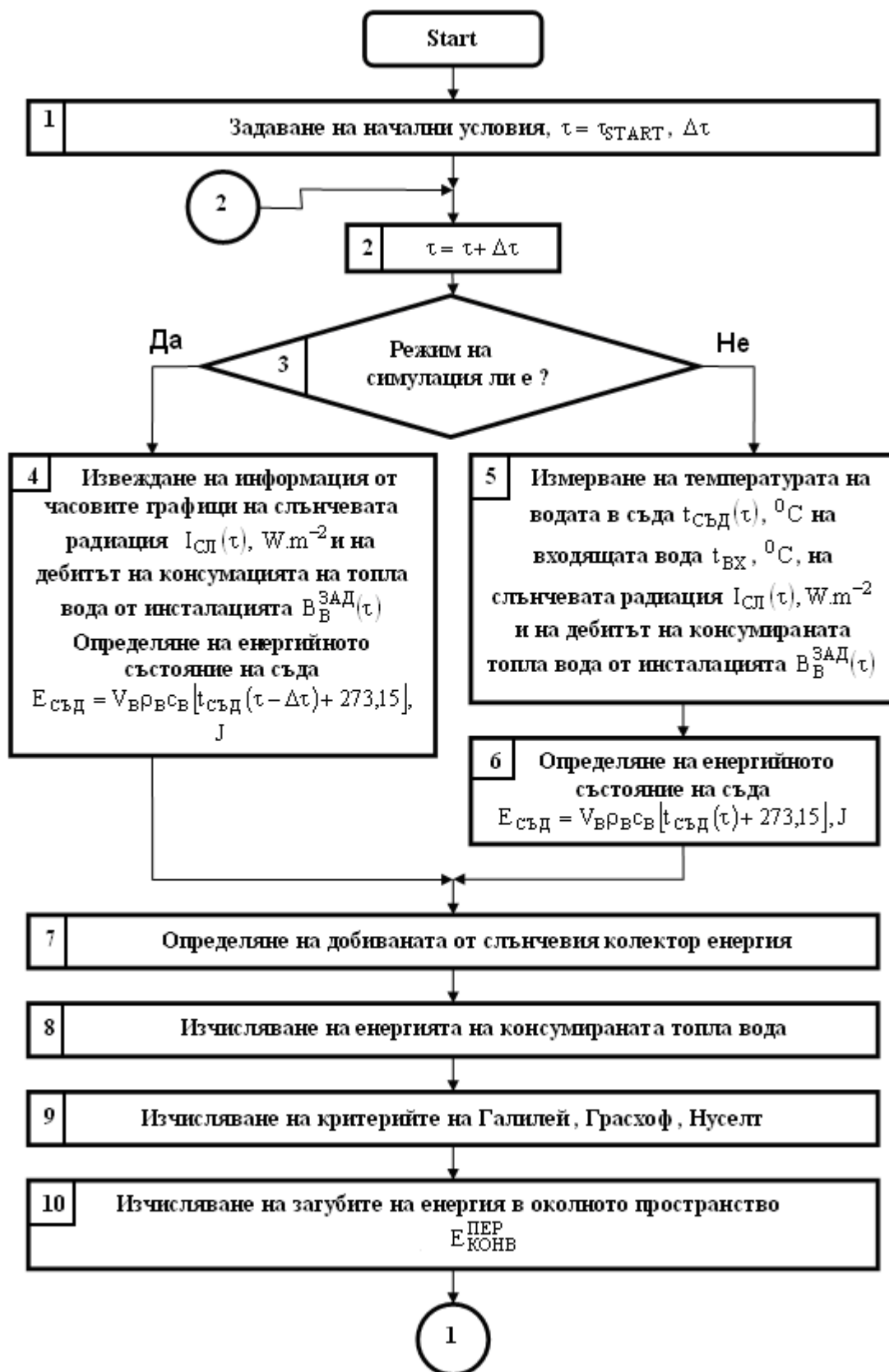
$E_{\text{СТ}}$ - енергията на студената вода, J ;

$E_{\text{КОНВ}}^{\text{ПЕР}}$ - загуби на енергия чрез конвективен топлообмен, J ;

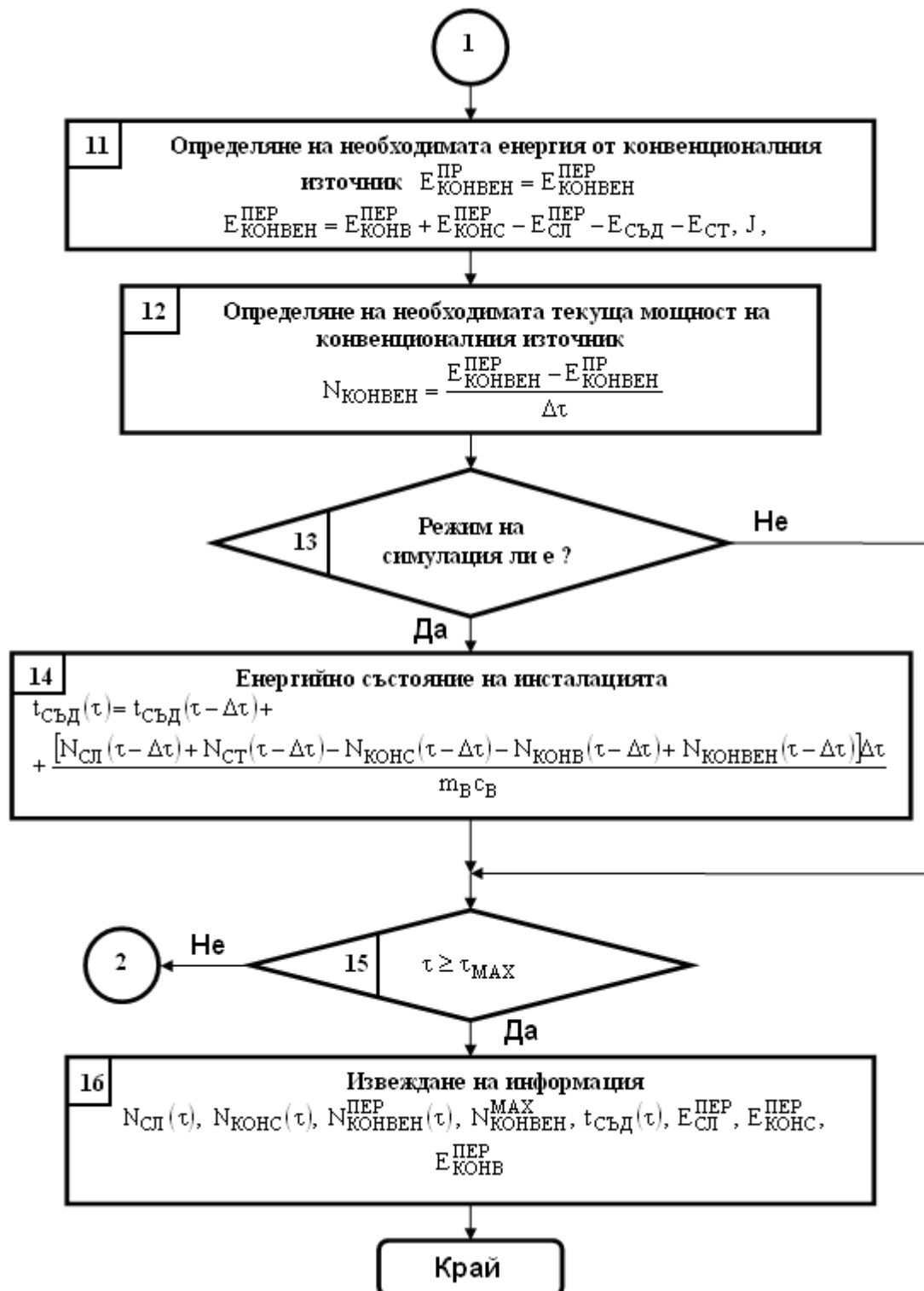
$E_{\text{КОНС}}^{\text{ПЕР}}$ - енергията, консумирана от потребителя за даден период от време, J .

За моделирането е приложен метод на крайните разлики. За целта времето се разделя на малки интервали и за всеки интервал от време се изчислява постъпването на енергия от слънчевия колектор и от конвенционалния източник на енергия, консумацията на топла вода

и загубите в околната среда. В резултат на изчисленията от модела се получава стойността на температурата на водата в съда във функция на времето. Алгоритъмът е показан на фиг.3.17а и фиг.3.17. б.



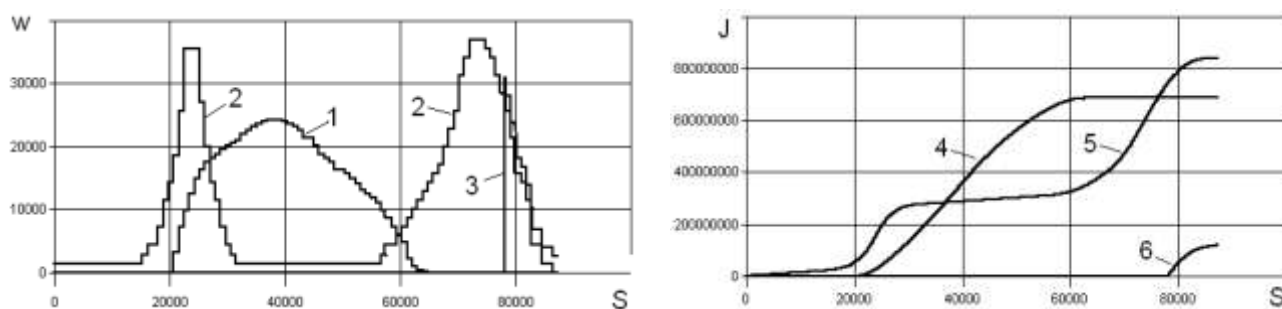
Фиг. 3.17. а. Алгоритъм на модела на производството на топла вода



Фиг. 3.17. б. Продължение на алгоритъма на модела на производството на топла вода (m_B - масата на водата, kg)

В блок 1 се задават началните условия. Блокове 2 и 15 организират изменението на времето. В блок 3 се определя начинът на събиране на информация за състоянието на процеса. При режим на симулация (блок 4) информацията се извежда от прогнозните часови графики на слънчевата радиация и консумацията на топла вода. В блокове 5 и 6 тя се взема от показанията на сензорите. Следва изчисляване на получената от Слънцето енергия (блок 7) и определяне на енергията на консумираната топла вода (блок 8). За изчисляване на загубите в околното пространство (блок 10) се определят критериите на подобие (блок 9). В блок 11 и 12 съответно, чрез енергийния баланс, се изчисляват необходимата енергия от конвенционалния източник и текущата му мощност. В режим на симулация (блок 14) се определя енергийното състояние на инсталацията – температурата на водата. След завършване на изчислителния процес се извежда информация за изменението на параметрите на процеса в зависимост от времето.

На фиг.3.18 са показани графичните зависимости на измененията на мощностите и на енергийните потоци във времето, изчислени с модела.



Фиг. 3.18. Графични зависимости на мощностите и на енергийните потоци във времето:

1 – моментна стойност на топлинната мощност, получавана от слънчевата радиация, W ; 2 - топлинна мощност на консумираната топла вода, W ; 3 – мощност на конвенционалния източник на енергия, W ; 4 – енергия, получена от слънчевия колектор, J ; 5 – енергия на консумираната вода, J ; 6 – енергия, въвеждана от конвенционалния източник, J .

Моделът е приложим за оценка на енергийното състояние на инсталацията в режим на реално време и в режим на симулация. В режим на реално време се използват текущите стойности на процеса, а в режим на симулация – прогнозните часови графики на слънчевата радиация и на консумацията на топла вода. Разчитайки на тази информация, с модела може да се изследва, колко е минималното количество на енергия от конвенционалния източник, необходимо за поддържане на параметрите на топлата вода.

Възможността на разработеният модел да оценява текущото състояние на процеса и да го симулира чрез прогнозните часови графики на слънчевата радиация и на консумацията на топла вода го прави подходящ за използване в електронните системи за управление с цел намаляване разхода на енергия от конвенционалния източник.

3.4.2. Управление на енергийните потоци в хибридна соларна инсталация за топла вода

При управлението на хибридни инсталации за производство на топла вода, базирани на слънчеви колектори, енергията на слънцето постъпва през определени периоди на деня. За да се използва ефективно инсталацията, е необходимо да се знае предварително, каква ще бъде енергията, получена от слънчевата радиация за даден ден от годината. Тази информация се взема от статистически изследвания или от съществуващите разработени модели, с които за даден ден от годината, чрез симулация, може да се определи енергията, получена от слънчевата радиация.

Инсталацията трябва да осигури необходимото количество топла вода в определени периоди от денонощието, съгласно часовия график на консумация. За да се покрият нуждите

от топлата вода, е необходимо допълнително използване на конвенционален източник на енергия. За премахване на необходимостта от инсталиране на конвенционалния източник на енергия с голяма мощност, е необходимо предварителното подгръвяване на водата и акумулиране на енергия в нея. Необходимо е да се реши, до каква стойност трябва да се повиши температурата на водата и кога да се включи конвенционалния източник на енергия. При загряването на водата до по-висока температура се повишават загубите на енергия. Известни са системи, в които с помощта на енергията от конвенционалния източник се поддържа определена зададена температура на водата. Такъв подход води до по-големи загуби, тъй като не през всички часове от денонощието е необходимо да се поддържа голям резерв на акумулирана топлинна енергия.

Критерии за управление

За управлението на инсталацията се предлагат следните критерии:

-осигуряване на топла вода за потребителя с необходим дебит и температура, съгласно часовия график за консумация;

-намаляване на разхода на енергия от конвенционалния източник чрез отчитане на прогнозните часови графики на слънчевата радиация и на консумацията на топла вода.

Теоретична обосновка

За постигането на тези критерии е необходимо да се отчетат обемът на съда за топла вода, температурата за подгръвяване на водата и времето на включване на конвенционалния източник на енергия.

С отчитането на енергийния баланс на инсталацията и на графиките на добиваната слънчева енергия и консумацията на топлата вода, енергията, внесена от конвенционалния източник, се определя с израза

$$E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{ПЕР}} = \frac{1}{3600} \left[\int_0^{\tau} N_{\text{КОНС}}(\tau) d\tau + \int_0^{\tau} N_{\text{КОНВ}}(\tau) d\tau - \int_0^{\tau} N_{\text{СЛ}}(\tau) d\tau - E_{\text{СЪД}} - \int_0^{\tau} N_{\text{СТ}}(\tau) d\tau \right], \text{Wh} \quad (3.39)$$

където $E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{ПЕР}}$ е енергията, внесена от конвенционалния източник за време $\Delta\tau$, Wh ;

$N_{\text{КОНС}}(\tau)$ - топлинната мощност, получена от топлата вода, W ;

$N_{\text{КОНВ}}(\tau)$ - топлинната мощност, отдавана от съда чрез конвективен топлообмен, W ;

$N_{\text{СЛ}}(\tau)$ - топлинната мощност, получена чрез слънчевата радиация, W ;

$E_{\text{СЪД}}$ - енергията, акумулирана в съда, Wh ;

$N_{\text{СТ}}(\tau)$ - топлинната мощност, постъпваща със студената вода, W ;

τ - текущото време, s .

Необходимата текуща топлинна мощност, получавана от конвенционалния източник на енергия, се определя с израза

$$N_{\text{КОНВЕН}}(\tau) = \frac{E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{ПЕР}}(\tau) - E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{ПЕР}}(\tau - \Delta\tau)}{\Delta\tau}, \text{ W} . \quad (3.40)$$

Текущата топлинна мощност, консумирана от потребителя, е

$$N_{\text{КОНС}}(\tau) = G_{\text{В}} c_{\text{В}} (t_{\text{СЪД}} - t_{\text{ВХ}}), \text{ W} , \quad (3.41)$$

където $G_{\text{В}}$ е масовият дебит на водата, kg/s ;

$c_{\text{В}}$ - специфичният топлинен капацитет на водата, J/(kg.K);

$t_{\text{СЪД}}, t_{\text{ВХ}}$ - съответно температурите на водата на изхода и входа на съда, °C.

За намаляване на енергията, внесена от конвенционалния източник, е необходимо да се намалят загубите на енергия в околната среда. Те зависят от разликата на температурите между съда и околната среда, и от време τ

$$E_{\text{КОНВ}} = \frac{1}{3600} F_{\text{СЪД}} k_{\text{СЪД}} \int_0^{\tau} [t_{\text{СЪД}}(\tau) - t_{\text{ОС}}(\tau)] d\tau, \text{ Wh} , \quad (3.42)$$

където $F_{\text{СЪД}}$ е повърхността на съда, m²;

$k_{с\ddot{y}д}$ - коефициентът на топлопредаване, $W/(m^2.K)$;

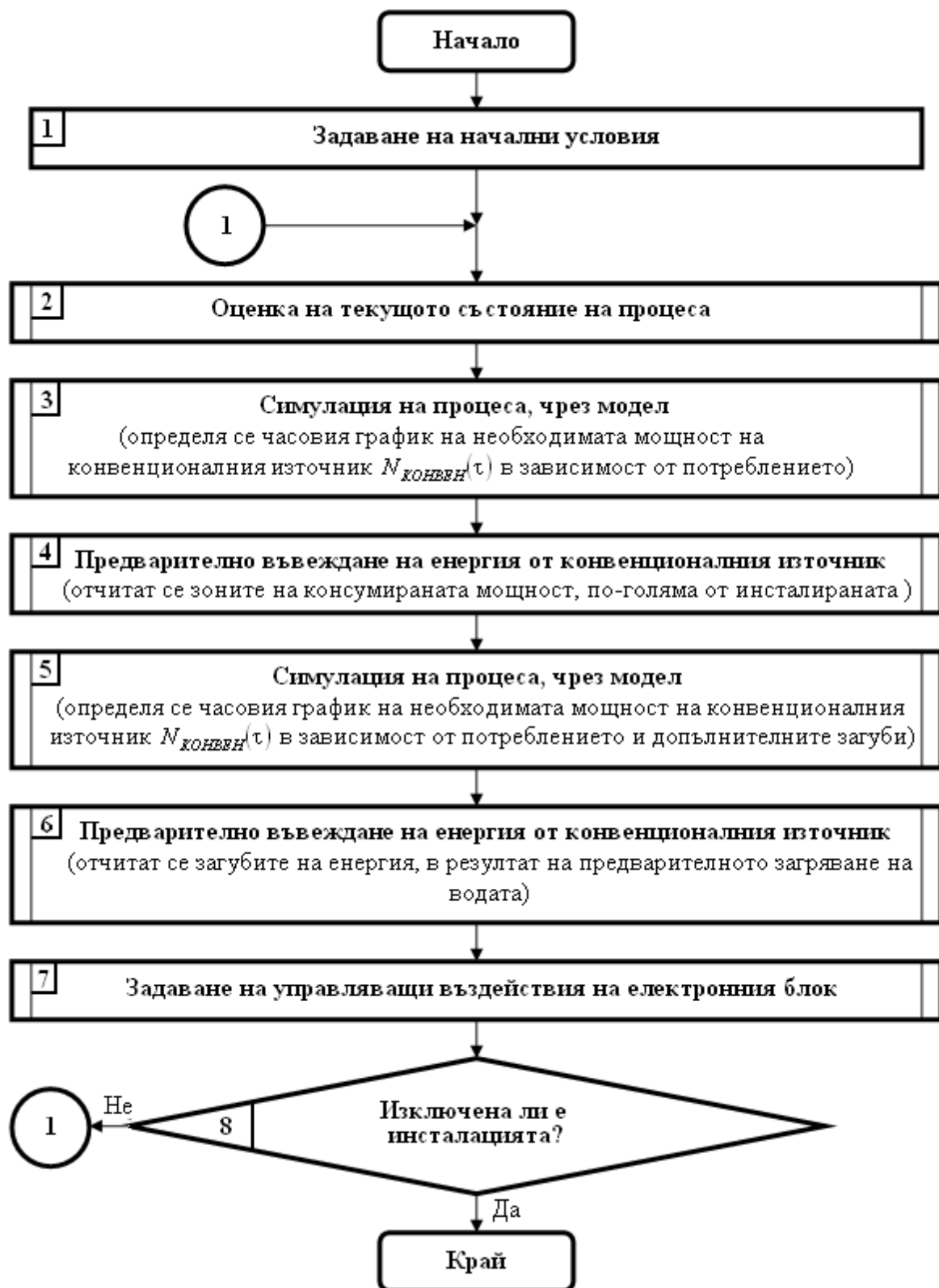
$t_{oc}(\tau)$ - температурата на околната среда, $^{\circ}C$.

При по-висока температура на водата в съда загубите са по-големи и обратно. От тук следва, че за намаляването на разходите на енергия от конвенционалния източник, е необходимо нейното подаване да става непосредствено преди консумацията на водата. Най-добре е тази енергия да се подава непосредствено по-време на консумацията на топлата вода. За постигането на това условие при големи дебита на консумираната вода е необходима голяма инсталирана мощност на източника на конвенционална енергия, което не винаги е възможно. Това налага използването на източник с по-малка мощност и загряване на водата непосредствено преди консумация. В периодите на големи консумации на топла вода се налага конвенционалния източник да се включва с изпреварване на консумацията, като моментът на включването му се определя от системата за управление. По този начин водата се нагрява предварително най-малко и следователно загубите в околната среда са най-малки.

Алгоритъм за работа

При разработването на алгоритъма за управление на енергийните потоци, изпълняващ критериите за управление, се използва модел, описващ процеса в инсталацията въз основа на информацията от сензорите и от денонощните часови графики на слънчевата радиация и на консумацията на топла вода. Алгоритъмът за управление на енергийните потоци в инсталацията е показан на фиг. 3.19.

След задаване на началните условия (блок 1), в блок 2 се извършва оценка на текущото състояние на процеса. За целта от сензорите се събира информация за процеса и се изчисляват топлинната мощност, внасяна от слънчевата радиация (фиг. 3.21 графика - $N_{сл}(\tau)$), загубите на енергия от конвективния топлообмен, топлинната мощност, консумирана с топлата вода от потребителя (фиг. 3.21. графика - $N_{конс}(\tau)$), акумулираната енергия в съда с вода и мощността на конвенционалния източник при неговата работа. В блок 3, чрез модел, се извършва симулация на процеса за следващи периоди от време. Симулацията се извършва, като енергийните потоци от слънчевата радиация се определят от прогнозната крива за този период, а консумацията на енергия се взема от прогнозния часови график за консумация на топла вода за периода. В резултат на симулацията се получава часовият график на необходимата за въвеждане от конвенционалния източник на енергия (графика - $N_{конвен}(\tau)$). В блок 4 се отчитат зоните, в които консумираната мощност е по-голяма от максималната на конвенционалния източник на енергия (графика $N_{конвен}(\tau)$ – зони 1 и 4). Енергията от тези зони се въвежда предварително (графика $N_{конвен}(\tau)$ - зони 2 и 5). Площите от графика на въвежданата предварително допълнителна енергия (зони 2 и 5), трябва да са равни на площите на зони 1 и 4.

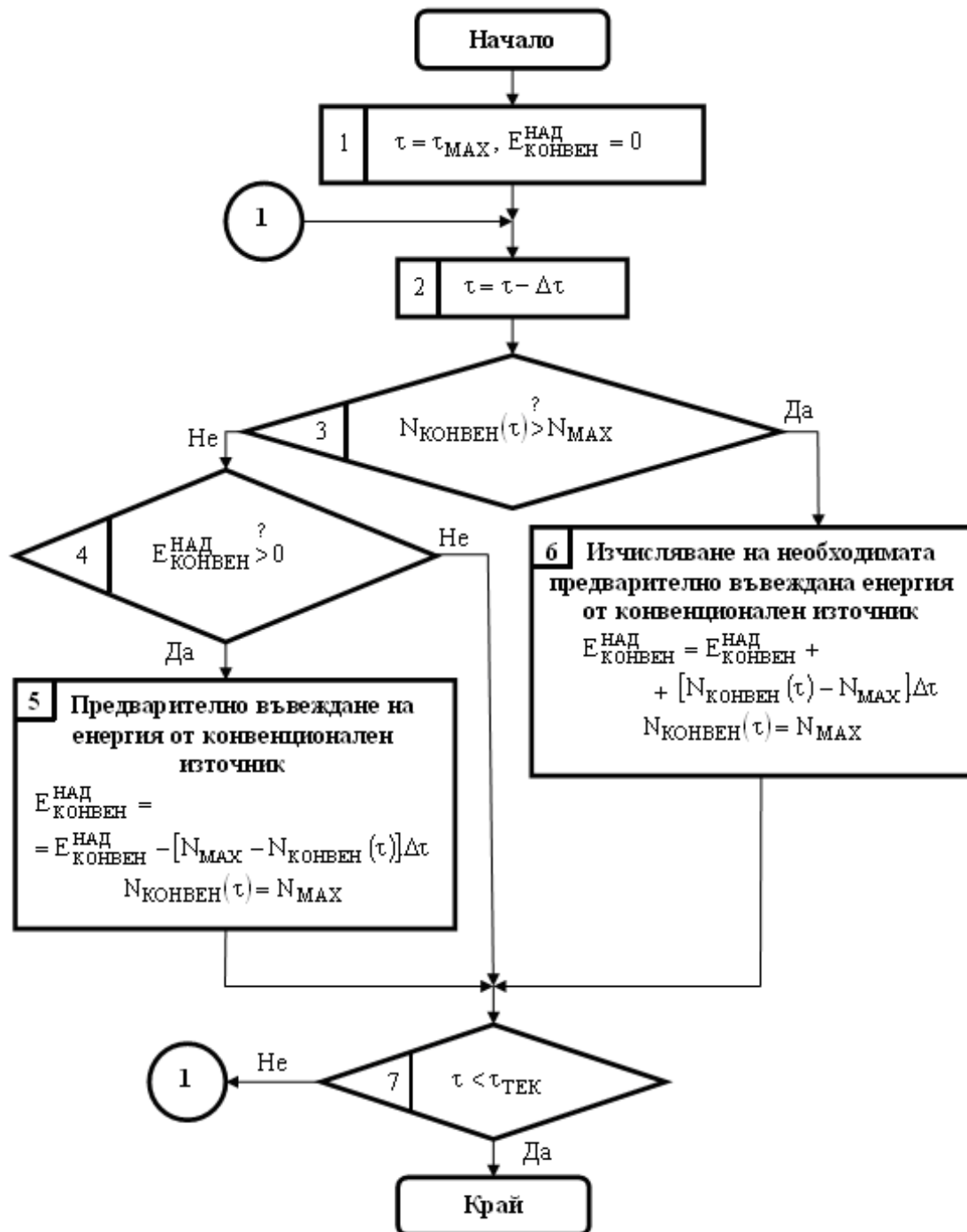


Фиг. 3.19. Алгоритъм за управление на енергийните потоци в хибридна инсталация за производство на топла вода

В блок 5 отново се извършва симулация на процеса, като се отчита предварителното въвеждане на конвенционална енергия (зони 2 и 5). Предварителното загряване на водата води до увеличаване на загубите към околната среда. При новата симулация те се отчитат. В блок 6 се въвежда допълнително подгряване на топлата вода от конвенционалния източник

(зони 3 и 6), което компенсира тези загуби. Следва задаване на управляващи въздействия към електронния блок, за предварително включване на конвенционалния източник на енергия. След проверка в блок 8, „изключена ли е инсталацията?“, цикълът се затваря преди блок 2.

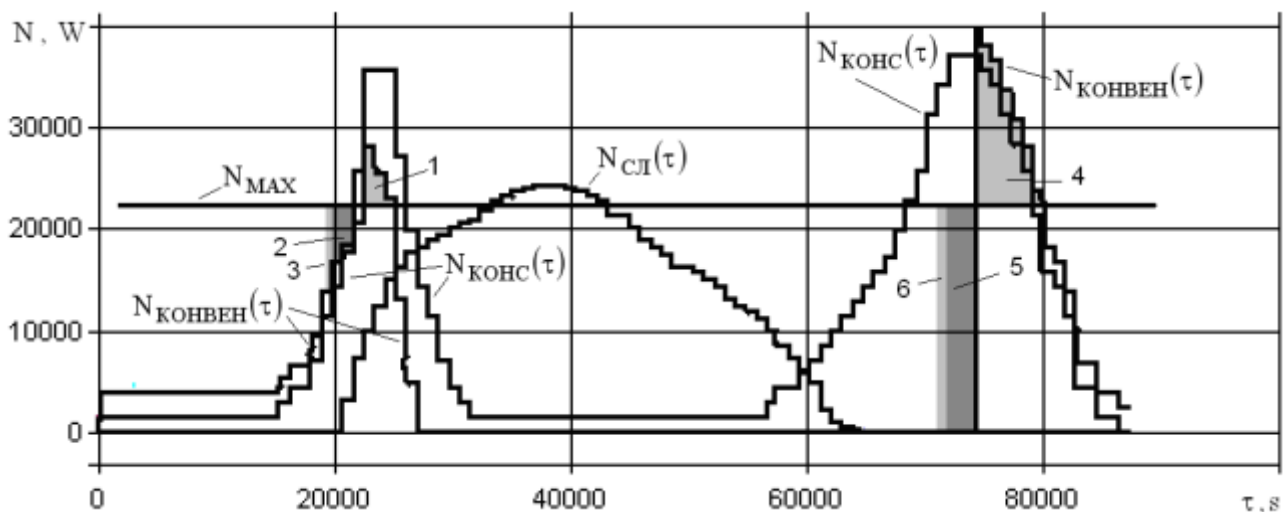
На фиг.3.20. е показан алгоритъмът на подпрограмата за предварително въвеждане на енергия от конвенционален източник, с отчитане на зоните, изискващи мощност на конвенционалния източник на енергия, по-голяма от максималната.



Фиг. 3.20. Алгоритъм за предварително въвеждане на енергия от конвенционален източник

Подпрограмата започва със задаване на текущото време, равно на максималното за денонощието, или друг период от време. Нулира се стойността на определяното количество

енергия при мощности на конвенционалния източник, по-големи от инсталираната (блок 1). Отчитайки виртуалното време в обратна посока, се определя текущата мощност, необходима за предварителното подгриване на водата от конвенционалния източник. Блокове 2 и 7 управляват изменението на времето. В блок 7 $\tau_{ТЕК}$ е астрономическото време. В блок 3 се проверява, дали изчислената от модела текуща мощност на конвенционалния източник е по-голяма от инсталираната. Ако тя не е по-голяма, се преминава към блок 4. В него се проверява, дали предварително въвежданата енергия е по-голяма от "0". Ако не е по-голяма, в блок 5 се намалява количеството на предварително въвежданата енергия и се задава максимална стойност на текущата мощност на конвенционалния източник на енергия (фиг.3.21. зони 1, 2 и 3). Ако $E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{НАД}} = 0$, тогава текущата мощност на конвенционалния източник не се променя и се преминава към блок 7. Когато текущата мощност на конвенционалния източник е по-голяма от инсталираната, в блок 6 се увеличава съдържанието на $E_{\text{КОНВЕН}}^{\text{НАД}}$, като се задава максимална стойност на мощността на конвенционалния източник. С това се увеличава необходимата енергия от зони 1 и 4, която трябва да се въведе предварително (фиг. 3.21. с зони 2, 5, 3 и 6).



Фиг. 3.21. Графики на енергийните потоци в инсталацията

1, 4 – зони с мощност на конвенционалния източник на енергия, по-голяма от максималната (N_{MAX}); 2, 5 – зони на въведена предварително енергия от конвенционалния източник за компенсиране на мощностите, по-големи от максималната; 3, 6 – зони на въведена предварително енергия от конвенционалния източник, за компенсиране на загубите на енергия в резултат на по-високата температура на предварително подгрята вода

Използван е програмен продукт, разработен на базата на модела на процеса и визуализиращ работата на електронната система. На фиг.3.22 е показано главното меню за въвеждане на стойностите на параметрите за задаване на графиките за изчертаване.

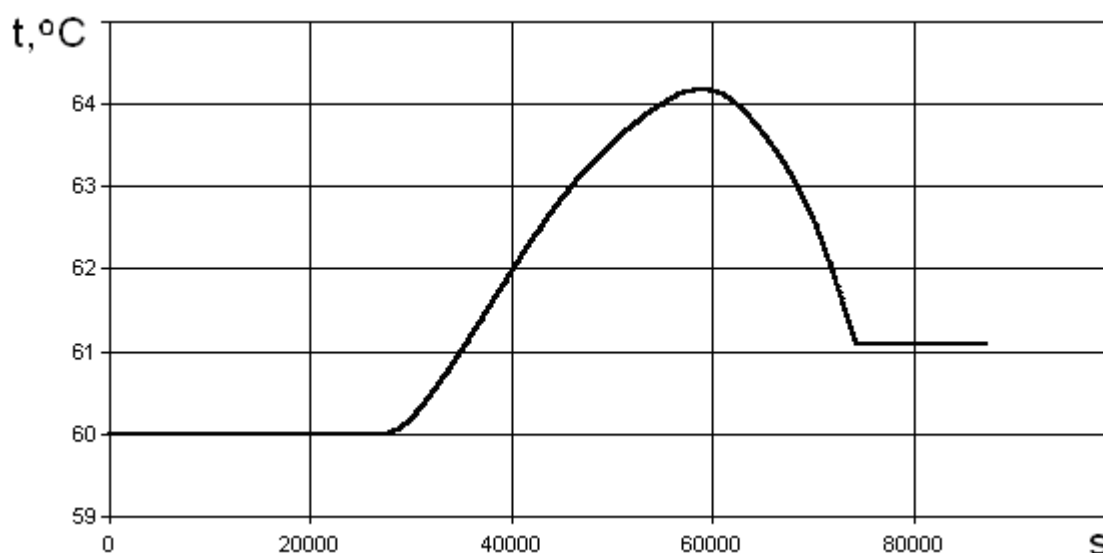
На фиг.3.23. е показано изчисленото от модела изменение на температурата на водата във времето, а на фиг.3.24. са показани измененията на енергийните потоци.

Parameter	Value	Parameter	Value
dtTau	10	Nju(v)	0.9
k	0.26	I	2
v	2.3e-005	Beta	1.0002
a	0.95	C	0.54
tSyd	60	pr	0.69
dtKol	7	Landa	0.032
tOS	18	DeltaStena	0.005
tZadOut	50	LandaStena	45
tSt	16	DeltaIzol	0.03
RoB	1000	LandaIzol	0.037
cB	4190	F	50
tWh	16	VB	25

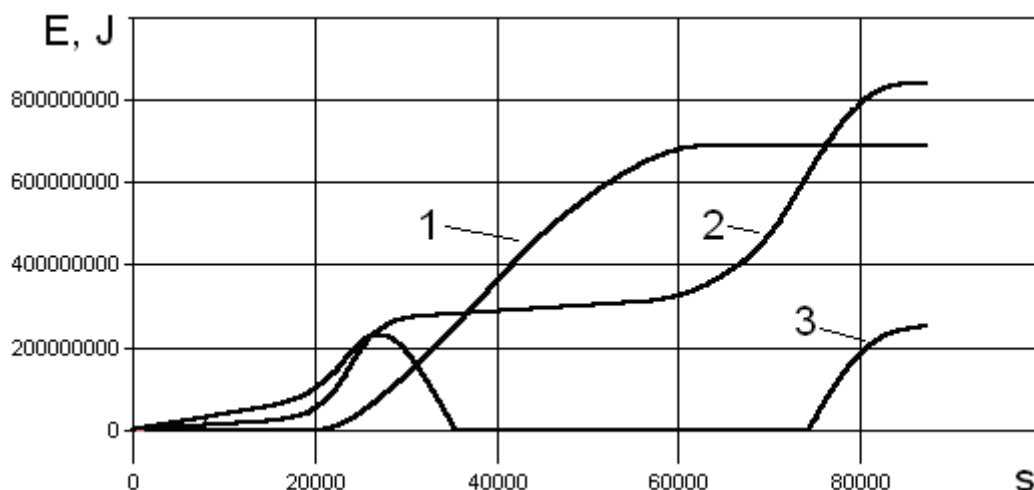
Checkbox	Status
NSI	<input checked="" type="checkbox"/>
NKons	<input checked="" type="checkbox"/>
NKonwen	<input checked="" type="checkbox"/>
tSyd	<input type="checkbox"/>
EPerSI	<input type="checkbox"/>
EPerKons	<input type="checkbox"/>
EPerKonw	<input type="checkbox"/>

Фиг. 3.22. Главно меню.

При постъпване на енергия от слънчевия колектор, температурата на водата се увеличава. С увеличаване на разхода на вода, температурата в съда намалява, отдавайки акумулираната в нея енергия.



Фиг. 3.23. Изменение на температурата на водата



Фиг. 3.24. Изменение на енергийните потоци:

1 – енергия, получена от слънчевия колектор; 2 – енергия на консумираната топла вода;
3 – енергия, въвеждана от конвенционалния източник.

От графиките на фиг. 3.24 следва, че когато постъпилата енергия е по-голяма от консумираната, конвенционалният източник на енергия не се включва. В зоните, при които енергията на консумираната вода става по-голяма от постъпилата в съда, се включва конвенционалният източник на енергия. От съвместното разглеждане на графиките от фиг.3.23. и фиг.3.24. следва, че при малък разход на топла вода температурата на водата в съда се изменя слабо.

Тест за самооценка

- Използването на повърхностни материали, за прозрачна и абсорбираща плоча на слънчева система за подгряване на вода зависи от:
 - Спектралния коефициент на поглъщане;
 - Спектралния коефициент на излъчване;
 - Спектралния коефициент на предаване.
 Отговор: а, б, в
- Действието на топлинния слънчев колектор зависи главно от:
 - Прозрачната повърхност и въздушния слой, който се образува между прозрачната и абсорбиращата повърхност;
 - Използваната дебелина на стъклената вата;
 - Температурата на флуида, използван в устройството и използваната боя.
 Отговор: а
- Оразмеряване на слънчевата инсталация се основава на:
 - Попадналата на повърхността на колектора сумарна слънчева радиация;
 - Денонощното потребление на топла вода и нейната температура;
 - Използваните материали и техните характеристики;
 Отговор: а, б.

Тест за оценяване

- Дефинирайте термина геотермална енергия!
- Опишете видовете геотермални електроцентрали!
- Обяснете действието на слънчеви водоподгряващи системи с естествена циркулация и с принудителна циркулация!