

Алгоритъм за работа и структура на електронна система за управление на хелиостати в инсталация на кулна централа

Иван Евстатиев

Operation algorithm and structure of an electronic system for control of heliostats in a tower station installation: *The methods for control of heliostats working in a steam power station installation with solar tower station have been analyzed in this study. An operation algorithm and structure of an electronic system for direction control of the heliostats depending on the daily sun position have been developed.*

Key words: *electronic control system, solar tower central, heliostats direction, operation algorithm.*

Един от начините за добив на електроенергия чрез използване на слънчевата енергия е чрез кулни централи. В тях елементите, приемащи слънчевата енергия, са концентрирани в малък обем, което значително намалява топлинните загуби в околната среда. Енергията на слънцето се насочва към приемащата зона чрез насочващи се слънчеви огледала – хелиостати.

Обект на изследването

При кулните централи на върха на кулата се монтира централен приемник (ЦП) [1, 3, 4, 5] (фиг.1). В него се движи работен флуид. ЦП се състои от тръби, през който циркулира флуид. Неговата повърхност е покрита с материал, имащ степен на чернота, близка до 1, за да възприема по-добре енергията на слънчевите лъчи. Слънчевите лъчи попадат на отражателните повърхности на хелиостатите и се насочват към ЦП. Ефективната площ на отражателната повърхност зависи от отклонението на лъчите от перпендикуляра относно тази повърхност.

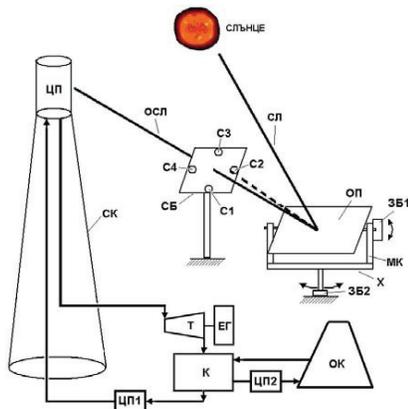
ЦП се нагрява до температури $500 \div 1000$ °С и се използва като източник на енергия. Някои от кулните централи използват за топлопленосни флуиди вода и водни пари, а други – натриеви соли, поради по-високата им топлопроводност и способност за съхранение на топлинната енергия [1].

Останалата част от инсталацията е класическа за топло-електрически централи (ТЕЦ), произвеждащи електрическа енергия от пара. Парата от централния приемник (парния котел) завърта турбина (Т), куплирана с електрически генератор (ЕГ). Отработената пара постъпва в кондензатор (К), където се охлажда от охлаждащия контур и кондензира. Полученият конденз се връща от циркулационната помпа (ЦП1) в парния котел. Чрез охлаждането на парата на изхода на турбината тя се превръща в конденз, с което силно намалява нейният обем (при атмосферно налягане обемът на парата намалява около 1600 пъти при превръщането и във вода). В резултат се получава понижено налягане на изхода на турбината и по-голяма разлика в наляганията между входа и изхода на турбината. В резултат се добива повече енергия. За кондензирането на парата се използва втори циркулационен контур. За целта се използва втора циркулационна помпа (ЦП2), която върти водата във втори циркулационен контур. В резултат се отнема енергия от отработената пара след турбината в кондензатора и парата кондензира. Охлаждащата кондензатора вода се загрява. За да се охлади отново, тя се завърта от ЦП2 през охладителната кула.

Системите използват плоски или сферични огледала, или рефлектори, имащи насочваща система. Тези устройства са известни като хелиостати. Всички хелиостати насочват светлината върху приемника на върха на кулата. В приемника може да има котел за нагряване на пара или газ [1, 3], фотоволтаик [1, 3] или пещ за стопяване на метал [2].

Хелиостатите имат за задача да насочват към централния приемник падащата върху тяхната повърхност слънчева радиация. По този начин върху централния приемник се сумира енергията от всички отражатели, което е равнозначно на

енергията от „много слънца“. Конструкцията на хелиостата съдържа плоско или параболично огледало и механична конструкция, позволяваща насочването на огледалото по две оси [4].



Фиг. 1. Структура на инсталацията на кулна централа за производство на електрическа енергия с пара СК – стойка на кулата; ЦП – централен приемник (парен котел); Т – турбина; ЕГ – електрически генератор; К – кондензатор; ОК – охладителна кула; ЦП1 и ЦП2 – циркуляционни помпи; СЛ и ОСЛ – съответно преки и отразени слънчеви лъчи; Х – хелиостат; МК – механична конструкция на хелиостата; ОП – отражателна повърхност на хелиостата; ЗБ1 – задвижващ блок за вертикалното отклонение на отражателна повърхност на хелиостата; ЗБ2 - задвижващ блок за хоризонталното отклонение на отражателна повърхност на хелиостата; СБ – сензорен блок за определяне на посоката на насочване на отразения лъч; С1, С2, С3 и С4 – сензори.

Насочването се извършва със задвижващите блокове ЗБ1 и ЗБ2. Принципите на насочване на отражателните повърхности на хелиостите са два:

-изчисляване от програмен продукт, инсталиран на персонален компютър, на ъглите по хоризонтала и вертикала на всеки хелиостат. Изчисляването е функция от географската ширина на обекта, астрономическата дата и от местоположението на хелиостата относно кулата. Предимството на този метод е отсъствието на сензорни блокове за всеки хелиостат. Освен това системата може да се използва с малък капацитет и през нощта[1]. В този случай се използва отразена енергия от луната. Недостатък на този принцип е сложността на изчислителния процес и наличието на сензори за измерване на ъгъла на завъртане на хелиостата по 2 оси;

-локално автоматично следене на насочения лъч на всеки хелиостат. За тази цел се използва сензорен блок СБ (фиг.1) с четири сензора, чувствителни към инфрачервено излъчване на светлинния спектър. Този блок се поставя на пътя на отразените лъчи, така че отразеният лъч да сочи ЦП на кулната централа. Когато всички 4 сензора са осветени равномерно, се приема, че лъчът е насочен правилно, т.е. той попада между сензорите. При по-голяма осветеност на някои от сензорите системата компенсира отклонението.

Такава система изисква периодично първоначално позициониране на хелиостата преди изгрев слънце (всеки месец или по-често) в зависимост от географската ширина на обекта и от местоположението на хелиостата относно кулата.

Предимство на този принцип е голямата точност на насочване на отразените от хелиостата лъчи, отсъствието на сензори за определянето на ъглите на завъртане на хелиостата и отсъствието на сложен изчислителен процес.

Цел на изследването е да се разработи алгоритъм за работа и структура на електронна система за управление на хелиостати в инсталация на кулна централа.

Моделiranje на процеса

Получената от ЦП енергия се определя от:

- ефективната площ на отражателната повърхност, зависеща от отклонението на лъчите от перпендикуляра относно тази повърхност;
- отражателните свойства на повърхността;
- свойствата на приемната повърхност на ЦП;
- загубите на енергия в околната среда от ЦП и тръбните комуникации.

При моделирането на енергийните процеси се приема че цялата отразена от хелиостатите енергия попада върху повърхността на ЦП. Мощността на енергийния поток се изразява с

$$N_{\text{ЦП}} = E_{\text{сл}} \alpha_{\text{ЦП}} \sum_1^n (F_i \cdot \cos \beta_i^{\text{сл}} \cdot \tau_i^{\text{оп}}), \quad W, \quad (1)$$

- където
- $E_{\text{сл}}$ е интензитетът на слънчевата радиация, $W \cdot m^{-2}$;
 - $\alpha_{\text{ЦП}}$ - абсорбционен коефициент на централния приемник;
 - n - брой хелиостати;
 - F_i - площите на отражателните повърхности на хелиостатите, m^2 ;
 - $\beta_i^{\text{сл}}$ - ъгълът на отклонението на лъчите от перпендикуляра относно отражателната повърхност, rad ;
 - $\tau_i^{\text{оп}}$ - коефициентът на светлинните загуби при отражение.

Отразяващите свойства на повърхностите зависят от качествата на повърхността и от нейната замърсеност или запрашеност. Произведението на площта на отражателната повърхност и косинуса на ъгъла на отклонение от перпендикуляра ($F_i \cdot \cos \beta_i^{\text{сл}}$) представлява ефективната повърхност, приемаща слънчевата радиация.

Енергийният баланс на инсталацията е

$$E_{\text{ЦП}} + E_{\text{кон}} = E_{\text{пара}} + E_{\text{заг}}, \quad J, \quad (2)$$

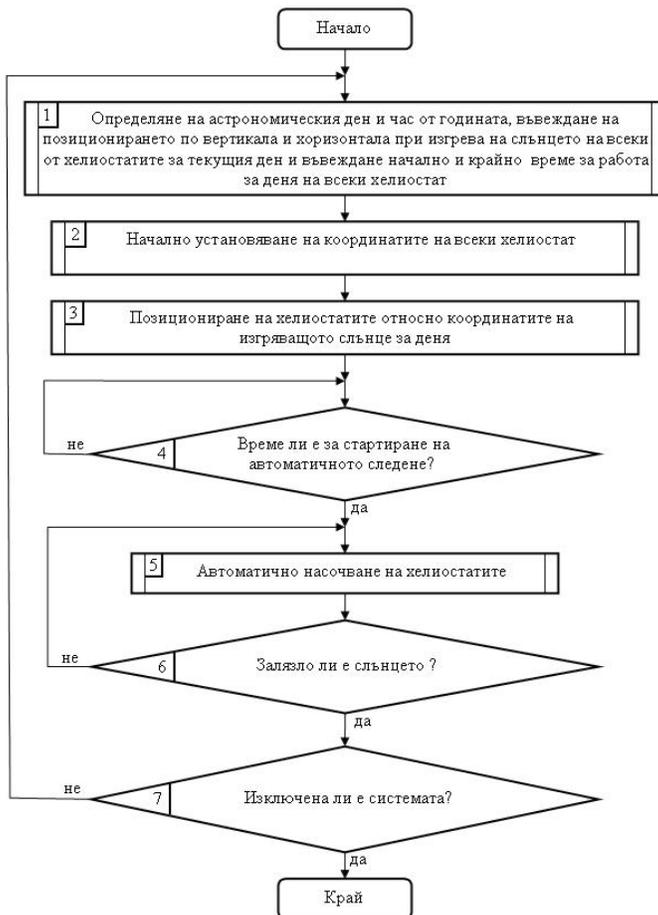
- където
- $E_{\text{ЦП}}$ е енергията от слънчевата радиация, постъпваща на централния приемник, J ;
 - $E_{\text{кон}}$ - енергията на конденза, J ;
 - $E_{\text{пара}}$ - енергията на парата, J ;
 - $E_{\text{заг}}$ - енергията, излъчена в околната среда чрез топлообмен, J .

Алгоритъм за работа на електронна система за управление на хелиостати

Алгоритъмът за работа е показан на фиг.2. След включването на системата в блок 1 се определя астрономическия ден и час от текущата година и се въвеждат координатите за позициониране на всеки хелиостат за изгряването на слънцето в текущия ден от годината. Въвежда се също астрономическото време за започване и спиране на автоматичното насочване на хелиостата от контролера. Координатите на позиционирането може да се изчисляват за всеки хелиостат в зависимост от географската ширина, местоположението на хелиостата относно кулата и Севера, разстояние до кулата по хоризонта, разстояние до кулата по вертикала и астрономическия ден от годината. Възможно е и насочване на всеки от контролерите от оператор чрез клавиатурата. След въвеждането на данните в блок 1 през първата година на експлоатация те се запомнят от системата и за следващите години се въвеждат автоматично.

Въвеждането на стартово време за автоматично насочване на слънчевите лъчи е свързано с това, че някой от хелиостатите може да попадне в сянка и към него да няма предварително насочен лъч след изгрев слънце. Това може да доведе до отклонение на насочването на някои хелиостати и да намали ефекта от тяхната

работа. След залез слънце наличието на автоматично насочване би въртяло излишно хелиостатите, което е свързано с износване на системата и с разход на енергия. Това изисква след залез слънце хелиостатът да се фиксира.



Фиг.2.Алгоритъм за работа на електронна система за управление на хелиостат

В блок 2 всеки от хелиостатите се позиционира относно началото на координатната система. Това е необходимо на стъпковите двигатели, за да могат те да започнат броенето от началото на координатната система. За целта се използват крайни изключватели. Съответното задвижване се завърта до получаване на сигнал от крайния изключвател. Тази манипулация трябва да се извърши при залезло слънце, за да не се получи случайно нагриване на случайни обекти или заслепяване.

Следва позициониране на всеки от хелиостатите на позиция, която насочва първите слънчеви лъчи към централния приемник (блок 3). С това хелиостатите са готови за работа при изгряването на слънцето.

В блок 4 се следи, време ли е за включване на автоматичното следене на слънцето от всеки хелиостат. Това време е различно за всеки хелиостат. Някои

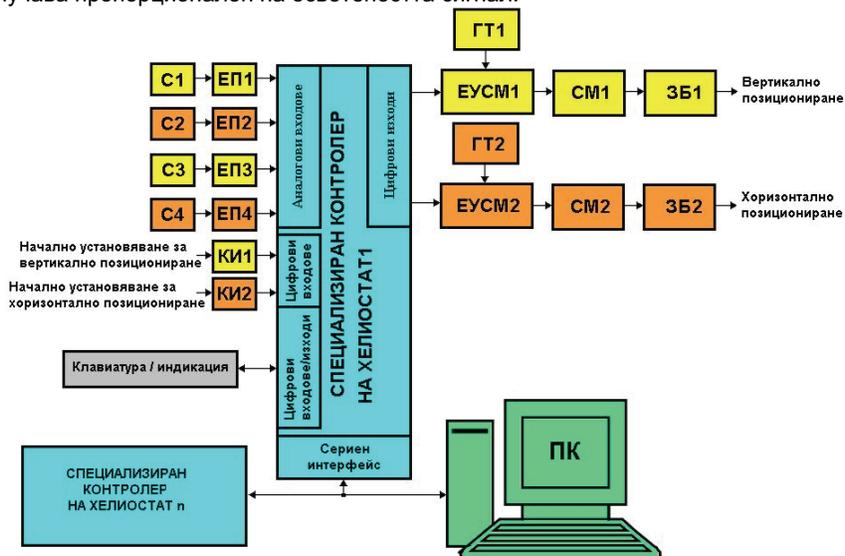
хелиостати може да са в сянка известно време, други може да са на по-ниско място и т.н. Необходимо е автоматичното следене да се включи само при стабилно отразен слънчев лъч, за да не се получи погрешно насочване на хелиостата. При погрешно насочване е необходимо ръчно въвеждане на хелиостата в необходимата посока. Трябва да са отбележи, че сензорите за следене на отразения слънчев лъч (ОСЛ) трябва да са чувствителни към инфрачервени лъчи, за да може системата да следи слънцето и при облачно време.

В блок 5 се извършва автоматичното насочване на всеки от хелиостатите, което продължава до залязването на слънцето. Това се установява с проверка в блок 6. Астрономическото време на залязване на слънцето за всеки хелиостат се задава от персоналният компютър (ПК) в блок 1.

След залез слънце се проверява, изключена ли е системата (блок 7). Ако не е, цикълът се затваря преди блок 1. При изключена система работата се прекратява.

Автоматичното насочване на хелиостатите (подпрограмата в блок 5) се изпълнява като се следи дали отразения лъч не огрява някой от сензорите (С1, С2, С3 и С4). Ако сензорът е огрят, хелиостатът се завърта в съответната посока.

Структурата на електронна системата за управление на хелиостати е показана на фиг.3. Сензорите С1, С2, С3 и С4 са свързани към електронните преобразуватели ЕП1 ÷ ЕП4. Изходите на електронните преобразуватели са включени към аналоговите входове на контролера. В зависимост от осветяването на сензорите се получава пропорционален на осветеността сигнал.



Фиг.3. Структура на електронна система за управление на хелиостат
 С1, С2, С3 и С4 - сензори (фототранзистори или фотодиоди); ЕП1, ЕП2, ЕП3 и ЕП4 – електронни преобразуватели на сензорите; КИ1, КИ2 – крайни изключватели за начално установяване на вертикалното и хоризонталното позициониране; ЕУСМ1, ЕУСМ2 - електронни устройства за задвижване на стъпкови мотори; ГТ1, ГТ2 – генератори на ток; СМ1, СМ2 – стъпкови мотори; ЗБ1, ЗБ2 – задвижващите блокове на стъпковите мотори.

Позиционирането по вертикала и хоризонтала се извършва от задвижващите блокове (ЗБ1 и ЗБ2). Те се задвижват от стъпкови мотори (СМ1 и СМ2). Управлението на моторите е чрез електронните устройства за стъпкови мотори

(ЕУСМ1 и ЕУСМ2). Захранването им е чрез генератори на ток (ГТ1 и ГТ2). Чрез генератора на ток в двигателя се поддържа номиналният ток. При по-високи скорости на превключване на стъпките на моторите се увеличава индуктивното им съпротивление. Генераторът на ток компенсира този момент чрез увеличаване на захранващото напрежение.

Началното установяване на координатите на всеки хелиостат се осъществява от крайните изключватели КИ1 и КИ2. След получаването на сигнал от краен изключвател броячът на стъпките на съответния мотор се нулира. По този начин се установява началото на координатната система.

За ръчно управление на контролера и за въвеждане на параметри се използва клавиатура / индикация.

Персоналният компютър (ПК) има за задача да определя астрономическия ден и час и да изпраща на всеки от контролерите началните координати за насочване на лъча преди изгрев слънце. Освен това ПК сверява часовниците на контролерите и задава за всеки хелиостат времето на старта и спирането на автоматичното насочване, съответно при изгрев и залез слънце.

Втора задача на ПК е поддържане на база данни за координатите на движение на всеки от хелиостатите. Освен това чрез ПК всеки от хелиостатите може да се превключи от автоматичен в ръчен режим или обратно и да се позиционира. Това се налага при извършване на ремонтни дейности.

Резултати и изводи

В публикацията са изследвани и анализирани методите за управление на хелиостати, работещи в инсталация за производство на електрическа енергия с пара, получена в слънчеви кулни централи.

Разработена е структура на инсталацията на кулна централа за производство на електрическа енергия с пара, използваща за насочване на хелиостатите сензорен блок за определяне на посоката на отразения лъч

Разработен е алгоритъм за работа и структура на електронна система за управление на насочването на хелиостатите в зависимост от дневното и годишно движение на слънцето по неговата орбита.

Предложената електронна системата за управление на хелиостат комбинира локално автоматично следене на насочения лъч на всеки хелиостат, обучение на базата на следенето на лъча и координатно управление след запомнянето на позициите на насочване на всеки хелиостат след първата година на работа. Това позволява да се реализира надеждно управление на хелиостатите.

Литература

[1] Концентриране на слънчевата енергия – ключови технологии на 21 век. Енергия, сп. 2011, година III, бр.2, април.

(<http://energia.elmedia.net/bg/2011-2> , Посетен на 23.08.2011г.)

[2] Орлов А. Автоматическо управление солнечной пещью. Оптико-електронная система. Журнал "Електроника", 3/2001.

[3] <http://e-vestnik.bg/6411> , Посетен на 23.08.2011г.

[4] <http://ru.wikipedia.org/wiki/Гелиостат> , Посетен на 23.08.2011г.

[5] <http://xn--e1akm.com/eko-tehnologii-opazvane/145-naj-visoka-slancheva-kula-ispania.html> , Посетен на 23.08.2011г.

За контакти:

Доц. д-р Иван Евстатиев, Катедра "Електроника", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888-772, e-mail: ievstatiev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.