

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ПРОМИШЛЕНА СИСТЕМА ОБОГАТИТЕЛНА ФАБРИКА НА "ГОРУБСО-КЪРДЖАЛИ" АД НА БАЗА СТАТИСТИЧЕСКИ ДАННИ И ИЗПОЛЗВАНЕТО Й ПРИ ПРОГНОЗИРАНЕ НА СПЕЦИФИЧНИЯ РАЗХОД

**Владимир Петков**

*Филиал -Кърджали на Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"- София, 6600 Кърджали*

**РЕЗЮМЕ.** Предлага се извеждане на аналитичен израз на енергийната характеристика на промишлена система преработваща златосъдържаща руда. Методиката се основава върху апроксимация със степенен полином на реални данни за консумираната електроенергия и количествата преработена руда, регистрирани по месеци за 18 месечен период. Аналитично се извежда постоянния разход на електроенергия и се анализира сезонното влияние върху разходната норма.

### DEFINING THE POWER CHARACTERISTIC OF THE INDUSTRIAL SYSTEM ENRICHMENT PLANT "GORUBSO-KARDZHALI" PLC BASED ON STATISTICAL DATA AND ITS USE IN PREDICTING THE SPECIFIC COST

**Vladimir Petkov**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, Branch of Kardzhali; 6600 Kardzhali*

**ABSTRACT.** It is offered derive an analytical expression of the power characteristic of industrial system processing gold ore. The methodology is basen on a polynomial approximation to the extent of actual data on electricity consumption and quantities of processed ore registered monthly for 18 month period. Analytical output constant energy consumption and analyze the seasonal influence on the consumption rate.

### Въведение

Необходимостта от правилно планиране на разхода на електроенергия и рационалното и използване в предприятия, преработващи полиметални руди, възниква поради наличие на множество енергоемки процеси. С оглед увеличаване на икономическата конкурентно-способност и намаляване на негативния ефект на индустриалната дейност върху околната среда, от европейското законодателство е приета Директива 2012/27/ЕО за енергийна ефективност която задължава всяка държава член на ЕО да представи национални индикативни цели за енергийни спестявания за големи сгради и промишлени системи. Енергийната интензивност е основен индикатор за ефективността на използване на енергията и представлява потребената енергия отнесена към единица брутен продукт. За въздействие върху показателя енергийна интензивност в рамките на една промишлена система се планират норми за разход на енергия.

В обогатителната фабрика на "Горубсо-Кърджали" АД се преработва полиметална златосъдържаща руда до гравитационен концентрат и сплав "Доре", като в процеса на преработка не се потребява друга енергия освен електрическа. Промислената система освен инсталация за преработка на руда включва и административно-битов

комплекс, сграда на химическа лаборатория, складово стопанство и машинна работилница.

Процеса на обогатяване започва с двустадийно трошене с пресяване и последващо смилане на рудата. След достигане на нужния зърнометричен състав, рудата се подава на машина за гравитационно обогатяване тип "Knelson koncentrator KC-XD30". Обогадената от концентрата руда представлява златен концентрат, който се реализира на пазара като промпродукт. Гравитационният отпадък отива в инсталация за цианидно доизвличане на златото, като крайния етап е електроекстракция и индукционно топене на златносребърна сплав "Доре". В процеса на излугване участват реактори с бъркачни механизми, сита, трансферни помпи и въздуходувка. Отпадъкът от цианидното излугване преминава през химическа деструкция на цианидите и посредством центробежни помпи се транспортира до хвостохранилище.

Нормирането на разхода на електроенергия става на месечна база, като се утвърждават две отделни норми съответно за есеннозимен и пролетнолетен сезон. При нормирането на специфичния разход, за базов продукт се използва количеството преработена руда.

В предприятия от добивната и преработвателна промишленост могат да се дефинират три вида специфичен разход: технологичен, цехов и общозаводски.

Технологичният разход включва само потребената електроенергия непосредствено за технологичния процес, като задвижване на работни машини, електролиза, енергия за топене на метали и транспорт на технологични разтвори. Към технологичния разход се отнасят и загубите свързани с механично триене, топлинни загуби в пещите и електрохимични загуби в електролизните уредби.

Цеховият разход, освен разхода на електроенергия за основния технологичен процес, включва и разходите за всички спомагателни нужди, като цехово осветление и отопление, вентилация, подемни съоръжения, компресорни уредби и електротранспорт.

Общозаводският разход се формира от разходите за технологичния процес, спомагателните разходи по цехове, разходите за административно-битови нужди, ремонтни работилници, лаборатории. Включва също и загубите в заводската електроразпределителна мрежа.

Възможно най-точното определяне на прогнозния специфичен разход на електроенергия за разглежданата промишлена система е удобно чрез извеждане аналитичния израз на енергийната характеристика.

Енергийните характеристики представляват зависимостта на подадената към консуматора мощност  $P$  (или специфичния разход на електроенергия  $\omega$ ) от произведената за определено време продукция  $A$ , т.е.

$$P = bA^q + P_{\text{пост}} \quad (1)$$

където  $b$  и  $q$  са постоянни при определени условия величини, характеризиращи параметрите на енергийната характеристика;  $P_{\text{пост}}$  – постоянните загуби на мощност (загубите на празен ход).

В зависимост от стойността на степенния показател  $q$ , енергийните характеристики могат да бъдат: праволинейни, вдлъбнати и изпъкнали.

Като се разделят двете части на уравнение (1) на произведената продукция  $A$ , се получава уравнението на енергийната характеристика за специфичния разход на електроенергия:

$$W = \frac{P}{A} = bA^{q-1} + \frac{P_{\text{пост}}}{A} \quad (2)$$

Извеждането на аналитичния израз на енергийната характеристика за група консуматори или цяла промишлена система може да стане по изчислителен или експериментален метод.

При изчислителния метод по теоретични формули, изразяващи зависимостта на консумираната мощност от производителността, се определя енергийната характеристика на всеки агрегат участващ в производствения процес и чрез последващо сумиране на ординатите на всяка характеристика се получава общата характеристика

на предприятието. В този случай постоянната съставка на потребената мощност също се определя аналитично.

При експерименталния метод енергийната характеристика се получава чрез математическа обработка на данни от проведени измервания на разхода на електроенергия и произведената продукция за определен период от време. Не са редки случаите, когато се използва и комбинация от двата метода за построяване на енергийната характеристика.

За Обогабителна фабрика "Горубсо-Кърджали" чисто изчислителен метод не е приложим поради променливия характер на физикохимичните свойства на постъпващата руда. След детайлна статистическа обработка на данни за потребената електроенергия и количествата преработена руда за 18 поредни месеца и използване методите на апроксимацията е предложено решение на задачата за извеждане на аналитичния израз на енергийните характеристики за цялата промишлена система и само за производствената част (изключени са енергийните разходи за административно-битова част и спомагателни дейности).

## Решение на основната задача

В таблица 1 е дадена функцията  $P = P(A)$  в емпиричен вид. В колона 2 и колона 3 са приведени съответно средночасовата производителност по преработена руда и средночасовата активна електрическа мощност, консумирана от цялата промишлена система.

Таблица 1

Месец, година	A, t/час	P, MW
1	2	3
Януари, 2012 г.	6,788	0,832
Февруари, 2012 г.	7,734	0,941
Март, 2012 г.	4,739	0,586
Април, 2012 г.	8,632	0,684
Май, 2012 г.	7,210	0,738
Юни, 2012 г.	8,413	0,786
Юли, 2012 г.	8,856	0,736
Август, 2012 г.	8,801	0,724
Септември, 2012 г.	9,094	0,737
Октомври, 2012 г.	7,910	0,629
Ноември, 2012 г.	8,135	0,722
Декември, 2012 г.	6,653	0,725
Януари, 2013 г.	7,120	0,808
Февруари, 2013 г.	8,009	0,904
Март, 2013 г.	7,809	0,848
Април, 2013 г.	7,278	0,827
Май, 2013 г.	6,605	0,787
Юни, 2013 г.	8,401	0,785

Поставя се задачата да се определи такава апроксимираща крива, която да минава по възможност най-близко до емпирично определените точки с посочените координати ( $A_i$ ,  $P_i$ ). За да определим

коэффициентите  $b$  и  $P_{\text{пост}}$  в уравнение (1) може да се използва метода на най-малките квадрати.

Ако изберем апроксимиращ полином от втора степен т.е.  $q=2$ , ще получим функцията:

$$P(A) = 0,041A^2 - 0,594A + 2,896 \quad (3)$$

Ако апроксимираме с линейна функция,  $q=1$ , получаваме:

$$P(A) = 0,01536A + 0,6486 \quad (4)$$

За разглежданата промишлена система средночасовата производителност се изменя в интервала от 4,739 до 9,094 t/час. Ще изчислим средноквадратичното отклонение  $S$  на  $P_i$  реално спрямо  $P_i$  прогнозно за съответните стойности на аргумента  $A_i$  в интервала (4,739; 9,094) по формула:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{i \text{ реално}} - P_{i \text{ прогн}})^2} \quad (5)$$

При апроксимиране с функция (3),  $S=0,1357$ , а при апроксимиране с функция (4),  $S=0,0845$

Ако от таблица 1 разделим данните на сезонен принцип и изведем аналитичните функции за двата периода, за есенно-зимен период ще получим:

$$\text{При } q=2, P(A) = -0,128A^2 - 1,922A - 6,320, S=0,2455; \quad (6)$$

$$\text{при } q=1, P(A) = 0,077A + 0,2472, S=0,0706, \quad (7)$$

а за пролетно-летен период:

$$\text{при } q=2, P(A) = -0,02949A^2 + 0,656A - 2,652, S=0,1805; \quad (8)$$

$$\text{при } q=1, P(A) = -0,022A + 0,922, S=0,0514. \quad (9)$$

От получените данни за средноквадратичните отклонения на реалните стойности  $P_i$  от прогнозните стойности стигаме до заключение, че може с достатъчно голяма точност да използваме апроксимация с линейна функция.

Съществуването на линейна връзка и степента на линейна свързаност между  $P_i$  и  $A_i$  може да се покаже чрез коефициента на корелация на Пирсън:

$$r_{AP} = \frac{COV_{AP}}{\sigma_A \sigma_P} \quad (10)$$

където:

$$COV_{AP} = \frac{\sum (A_i - A_{\text{ср}})(P_i - P_{\text{ср}})}{\sqrt{\sum (A_i - A_{\text{ср}})^2 \sum (P_i - P_{\text{ср}})^2}} \quad (11)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - A_{\text{ср}})^2} \quad (12)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{\text{ср}})^2} \quad (13)$$

След заместване на данните от таблица 1 във формули (11), (12) и (13) получаваме следните коефициенти на корелация:

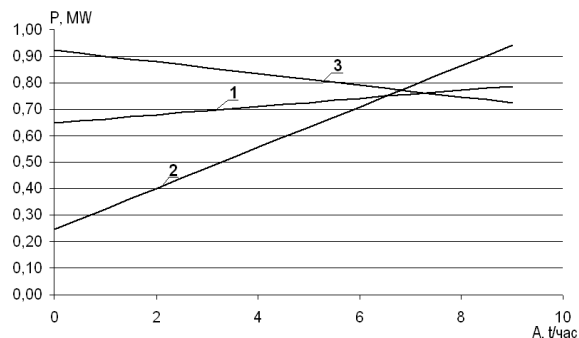
$$r_{AP} = 0,75 \text{ – за есенно-зимен период}$$

$$r_{AP} = -0,32 \text{ – за пролетно-летен период}$$

$$r_{AP} = 0,19 \text{ – общо за целия 18 месечен период}$$

Вижда се, че коефициентите на линейна корелация особено при апроксимация на сезонните данни се отличават значително от 0.

На фиг. 1 са показани графиките на апроксимиращите линейни функции зададени с формулите (4), (7) и (9).



Фиг.1 Графики на апроксимиращите функции  $P=P(A)$ , за цялата промишлена система по сезони и общо за 18 месечен период

Графика 1 изразява зависимостта  $P(A)$  за 18 месечен изследван период, графика 2 – за есенно-зимен период, а графика 3 - за пролетно-летен период.

За прогнозиране на общозаводския специфичен разход на електроенергия трябва да бъде известна зависимостта  $W = W(A)$ . Тази зависимост се получава, като двете страни на уравненията (4), (7) и (9) разделим на средночасовата производителност  $A$ . При което получаваме аналитичния вид на енергийните характеристики на разглежданата промишлена система за специфичния разход.

За 18 месечен период:

$$W(A) = 0,01536 + 0,6486/A \quad (14)$$

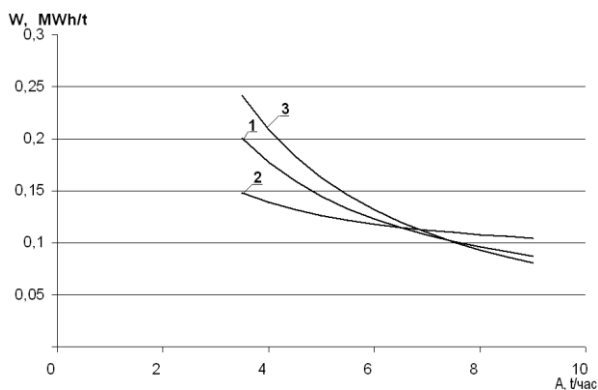
За есенно-зимен период:

$$W(A) = 0,077 + 0,2472/A \quad (15)$$

За пролетно-летен период:

$$W(A) = -0,022 + 0,922/A \quad (16)$$

На фиг. 2 са показани графиките на уравненията (14), (15) и (16).



Фиг.2 Графики на енергийните функции  $W=W(A)$ , за цялата промишлена система по сезони и общо за 18 месечен период

Графика 1 изразява зависимостта  $W(A)$  за 18 месечен изследван период, графика 2 – за есенно-зимен период, а графика 3 - за пролетно-летен период.

Прогнозирането на разходната норма за даден месец от есенно-зимния период става, като количеството преработена руда, зададено по план, разделим на броя на часовете в месеца и получената средночасова планова производителност заместим в уравнение (15).

Аналогично за пролетно-летния период използваме уравнение (16). Уравнение (14) и съответно графика 1 ни дават осреднена представа за специфичния разход в  $MWh/t$  в зависимост от изменението на средночасовата производителност за цялата промишлена система. Прогнозирането по уравнение (14) би довело до по-голяма неточност, тъй като данните са статистически изгладени и не отразяват коректно тежестта на влиянието на всеки сезон.

Използвайки гореописаната методика може да се изведат и аналитичните изрази на  $W(A)$  за цеховия специфичен разход.

В таблица 2 е дадена функцията  $P = P(A)$  в емпиричен вид, като в колона 2 и колона 3 са приведени съответно средночасовата производителност по преработена руда и средночасовата активна електрическа мощност потребявана само от производствената част на промишлената система.

За 18 месечен период получаваме следните уравнения:

$$P(A) = 0,025A + 0,529 \quad (17)$$

$$W(A) = 0,025 + 0,529/A \quad (18)$$

Таблица 2

Месец, година	A, t/час	P, MW
1	2	3
Януари, 2012 г.	6,788	0,750
Февруари, 2012 г.	7,734	0,858
Март, 2012 г.	4,739	0,531
Април, 2012 г.	8,632	0,652
Май, 2012 г.	7,210	0,716
Юни, 2012 г.	8,413	0,766
Юли, 2012 г.	8,856	0,717
Август, 2012 г.	8,801	0,704
Септември, 2012 г.	9,094	0,718
Октомври, 2012 г.	7,910	0,606
Ноември, 2012 г.	8,135	0,667
Декември, 2012 г.	6,653	0,648
Януари, 2013 г.	7,120	0,734
Февруари, 2013 г.	8,009	0,824
Март, 2013 г.	7,809	0,784
Април, 2013 г.	7,278	0,793
Май, 2013 г.	6,605	0,767
Юни, 2013 г.	8,401	0,754

За есенно-зимен период:

$$P(A) = 0,074A + 0,198 \quad (19)$$

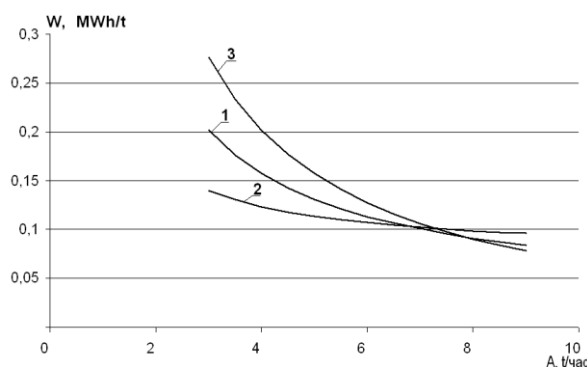
$$W(A) = 0,074 + 0,198/A \quad (20)$$

За пролетно-летен период:

$$P(A) = -0,0212A + 0,89 \quad (21)$$

$$W(A) = -0,0212 + 0,89/A \quad (22)$$

На фиг. 3 са показани графиките на уравненията (18), (20) и (22).



Фиг.3 Графики на енергийните функции  $W=W(A)$ , за производствената част на промишлената система по сезони и общо за 18 месечен период

Графика 1 изразява зависимостта  $W(A)$  за 18 месечен изследван период, графика 2 – за есенно-зимен период, а графика 3 - за пролетно-летен период.

Сравнявайки графиките от фиг. 2 с тези от фиг. 3 се вижда, че зависимостта на специфичния разход от производителността в интервала е по-силно изразена при графиките за цеховия разход в сравнение с общозаводския. Това се дължи на факта, че общозаводският разход включва и съставка, зависеща силно от температурата на околната среда, а именно потребяваната електроенергия за отопление на всички спомагателни звена. Този факт може нагледно да се покаже, като се сравнят средномесечните температури за гр. Кърджали и средночасовата потребявана активна мощност от спомагателните звена за разглеждания 18 месечен период. Данните са показани в таблица 3.

Таблица 3

Месец, година	Тср. °C	P, MW
1	2	3
Януари, 2012 г.	-0,3	0,082
Февруари, 2012 г.	-0,7	0,083
Март, 2012 г.	7,1	0,055
Април, 2012 г.	13,2	0,033
Май, 2012 г.	16,2	0,022
Юни, 2012 г.	22,7	0,020
Юли, 2012 г.	26,6	0,019
Август, 2012 г.	25	0,020
Септември, 2012 г.	20,6	0,019
Октомври, 2012 г.	16,4	0,023
Ноември, 2012 г.	9,5	0,056
Декември, 2012 г.	2,5	0,077
Януари, 2013 г.	3,1	0,074
Февруари, 2013 г.	5,4	0,080
Март, 2013 г.	8,1	0,063
Април, 2013 г.	13,3	0,034
Май, 2013 г.	18,8	0,019
Юни, 2013 г.	20,4	0,031

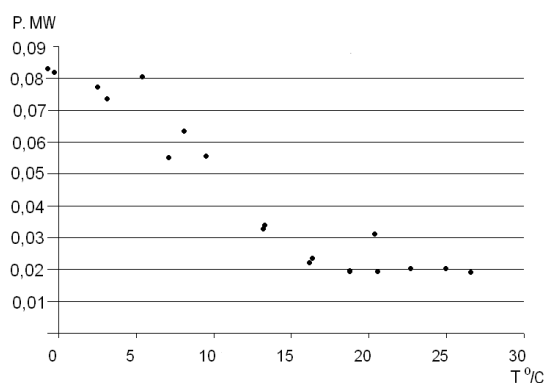
На фиг. 4 в декартова координатна система са нанесени точките с координати Тср.і, Рі, от където се вижда, че приблизително при средна температура на околната среда от 17°C, средночасовата консумирана мощност започва да остава постоянна. По тази причина стойностите от таблица 3 могат да се разделят на два интервала. Първият интервал обхваща всички точки с абсциси по-малки от 17°C, а вторият – с абсциси над 17°C. Двата интервала се апроксимират със следните линейни функции:

За интервал до 17°C

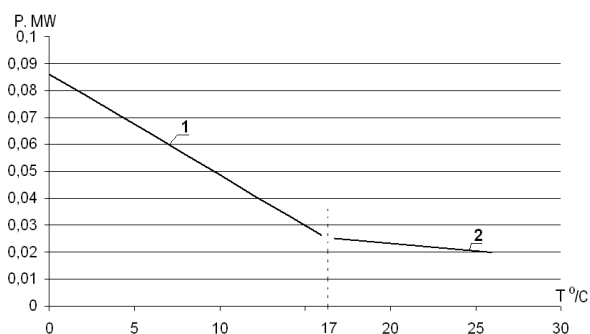
$$P(T) = -0,00375T + 0,086 \quad (23)$$

За интервал над 17°C

$$P(T) = -0,0005T + 0,0327 \quad (24)$$



Фиг.4 График на емпирично зададената функция P=P(T)



Фиг.5 График на апроксимиращите функции P=P(T)

По формули (23) и (24) може, според очакваната средномесечна температура за регион Кърджали, да се изчисли ориентировъчно консумацията на електроенергия от спомагателните стопанства.

След заместване на  $T=17^{\circ}\text{C}$  в уравнение (24), за средночасовия електрически товар получаваме:

$$P(17) = 0,0242 \text{ MW} \quad (25)$$

За един месец консумираната активна енергия ще бъде:

$$E = 0,0242 \text{ MW} \times 744 \text{ h} = 18,0048 \text{ MWh} \quad (26)$$

В спомагателните стопанства не се използва електрическа енергия за охлаждане на работните помещения, по тази причина може да приемем, че уравнение (26) дава стойността на абсолютна постоянна съставка на консумираната активна електрическа енергия, която е независима от месеца в годината.

## Литература

- Данков Е.Е., 1991. Електроснабдяване на минните предприятия, С., Техника.  
 Мишов П.П., 1992. Електроснабдяване на минното производство, С.  
 Белых Б.П., 1971. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях, М., Недра.  
 Кудрин Б.И. Електроснабжение, оперативное и планируемое нормирование расхода электроэнергии, энергосбережение, Московский энергетический университет.