

MODELUL ANALITIC AL CHELTUIELILOR ȘI VENITURILOR TOTALE PENTRU INSTALAȚIILE DE COGENERARE

V. Arion, V. Apreutesii
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Este cunoscut că cogenerarea, sau generarea combinată a energiei electrice și energiei termice în cadrul unei instalații, este cea mai eficientă tehnologie industrială de producere a energiei. Progresul tehnico-științific în acest domeniu a avansat substanțial făcând ca instalațiile de cogenerare de mică și medie putere, în special cele bazate pe arderea gazelor naturale, să capete o tot mai largă aplicare datorită eficienței tehnologice, economice și de mediu ale acestora.

Efectuarea studiilor și cercetărilor ce privesc rentabilitatea implementării instalațiilor de cogenerare necesită cunoașterea modelelor matematice pentru principalii indicatori de eficiență. Scopul acestei lucrări constă în prezentarea unei descrieri analitice compacte a cheltuielilor și veniturilor totale pentru o instalație de cogenerare pe durata ciclului de viață.

1. MODEL DINAMIC ȘI CEL STATIC ECHIVALENT ALE CHELTUIELILOR TOTALE

Cheltuielile totale anuale CT_t în caz general cuprind două componente: cheltuielile cu investiția I_t și cheltuielile de producție C_t - $CT_t = I_t + C_t$. Cheltuielile totale pentru ciclul de viață al instalațiilor (sau perioada de calcul, vezi fig. 1) vor reprezenta suma cheltuielilor anuale actualizate pe anii perioadei de calcul -

$$CTA = \sum_{t=0}^T CT_t (1+i)^{\ominus-t} \quad (2)$$

sau $CTA = I_{act} + C_{act}$,

unde $I_{act} = \sum_{t=0}^T I_t (1+i)^{\ominus-t}$, (3)

$$C_{act} = \sum_{t=1}^T C_t (1+i)^{\ominus-t} . \quad (4)$$

Notațiile din formulele (2) - (4) reprezintă:

CTA - cheltuielile totale actualizate pe perioada de calcul;

CT_t - cheltuielile totale în anul t ;

- I_t - investiția efectuată în anul t ;
- C_t - cheltuielile de producție ale anului t ;
- t - anul t al perioadei de calcul;
- I_{act} - valoarea actualizată a investiției totale;
- C_{act} - valoarea actualizată a cheltuielilor totale de producție;
- i - rata de actualizare; în continuare vom utiliza notația $a = 1 + i$;
- Θ - anul de actualizare a cheltuielilor care, de regulă, reprezintă anul ce anticipează primul an de funcționare, $\Theta = 0$;
- T - durata, în ani, de funcționare a instalației.

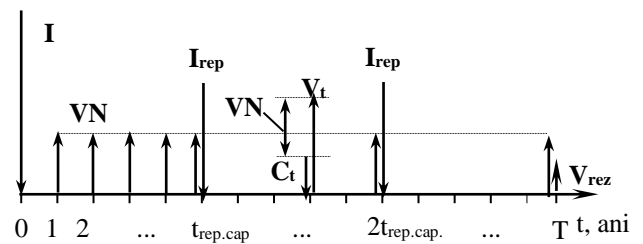


Figura 1. Fluxul cheltuielilor și veniturilor pentru o instalație de cogenerare pe perioada de calcul de T ani.

Investiția totală

Investiția totală actualizată I_{act} include costul de achiziție al instalației de cogenerare și costul reparațiilor capitale, efectuate pe parcursul perioadei de calcul -

$$I_{act} = I_0 + I_{rep} \cdot a^{-t_{rep.cap}} + I_{rep} \cdot a^{-2t_{rep.cap}} , \quad (5)$$

unde I_0 este investiția inițială, I_{rep} - costul unei reparații capitale, $t_{rep.cap}$ - resursa de funcționare a instalației, în ani, până la reparația capitală. De regulă, o instalație este supusă reparației capitale de două ori pe perioada de viață activă.

Cheltuielile de producție

Cheltuielile anuale de producție C_t cuprind cheltuielile pentru combustibil (gaze naturale) $C_{comb,t}$, cheltuielile pentru reparațiile curente și întreținere (fără costul uleiului) $C_{i.r.,t}$ și cheltuielile pentru uleiul consumat $C_{ulei,t}$ -

$$C_t = C_{comb,t} + C_{i.r.,t} + C_{ulei,t} \quad (6)$$

Cheltuielile de producție pe durata perioadei de calcul C_{act} cuprind respectiv cele trei componente actualizate:

$$C_{act} = C_{comb,act} + C_{i.r.,act} + C_{ulei,act} \quad (7)$$

Cheltuielile cu combustibilul

Cheltuielile anuale pentru gazele naturale consumate –

$$C_{comb,t} = V_{gaze,t} \cdot T_{gaze,t} \quad (8)$$

unde $V_{gaze,t}$ reprezintă volumul de gaze consumat în anul t ; $T_{gaze,t}$ - tariful la gazele naturale în anul respectiv.

Vom considera că consumul anual de gaze nu variază de la an la an ($V_{gaze,t} = V_{gaze,0}$), pe când tariful la gaze crește conform unei funcții exponențiale de-a lungul perioadei de calcul -

$$T_{gaze,t} = T_{gaze,0} \cdot [1 + r_g]^{t-t_0} \quad (9)$$

unde $T_{gaze,0}$ constituie tariful cunoscut pentru anul t_0 (an de referință, de regulă, $t_0 = 1$); r_g - rata anuală de creștere a tarifului.

Cheltuielile totale actualizate pentru consumul de gaze pe durata de calcul de T ani, $C_{comb,act}$ -

$$C_{comb,act} = \sum_{t=1}^T C_{comb,t} \cdot a^{-t} \quad \text{sau}$$

$$C_{comb,act} = C_{comb,0} \cdot \bar{T}_{Tig} \quad (10)$$

unde $C_{comb,0} = V_{gaze,0} \cdot T_{gaze,0}$ - cheltuielile pentru combustibil în anul de referință t_0 .

În formula (10) \bar{T}_{Tig} este un indicator ce poate fi interpretat ca o *durata actualizată a perioadei de calcul*, care reflectă în mod sintetic trei factori: durata calendaristică a perioadei de calcul, rata de actualizare și dinamica tarifului la gaze -

$$\bar{T}_{Tig} = \sum_{t=1}^T b^{t-t_0} \cdot a^{-t} \quad (11)$$

unde coeficienții a și b reprezintă - $a = 1 + i$,
 $b = 1 + r_g$.

Expresia (11) de calcul a indicatorului \bar{T}_{Tig} este cea mai generală; în ea în mod explicit sunt prezenți anii perioadei de calcul (model dinamic). Vom arăta că această expresie poate fi substituită de o formulă mult mai simplă echivalent-statică. În

acest scop vom transforma puțin formula (11), prezentând-o după cum urmează -

$$\bar{T}_{Tig} = b^{-t_0} \cdot \sum_{t=1}^T A^{-t} \quad \text{unde } A = a/b. \quad (12)$$

Întrucât $\sum_{t=1}^T A^{-t} = (1 - A^{-T}) / (A - 1)$, pentru \bar{T}_{Tig} obținem următoarea expresie:

$$\bar{T}_{Tig} = b^{-t_0} \cdot (1 - A^{-T}) / (A - 1) \quad (13)$$

Cheltuielile de întreținere și reparații

Cheltuielile anuale $C_{i.r.,t}$ pot fi exprimate, ca modalitate generală, prin valoare investiției inițiale - $C_{i.r.,t} = k_{i.r.} \cdot I_0 = C_{i.r.,0}$, unde $k_{i.r.}$ reprezintă un coeficient de corelație. În acest caz pentru cheltuielile pe perioada de T ani calendaristici obținem -

$$C_{i.r.,act} = \sum_{t=1}^T C_{i.r.,0} \cdot a^{-t} \quad (14)$$

$$\text{sau } C_{i.r.,act} = C_{i.r.,0} \cdot \bar{T}_{Ti} \quad (14')$$

unde \bar{T}_{Ti} reprezintă durata de calcul actualizată [2],
 $\bar{T}_{Ti} = (1 - a^{-T}) / i$.

Cheltuielile de ulei

Producătorii de instalații de cogenerare, bazate pe utilizarea motoarelor cu ardere internă, pentru consumul anual de ulei tot mai frecvent aplică expresia -

$V_{ulei,t} = W_{el,t} \cdot k_{ulei}$, unde $V_{ulei,t}$ este volumul de ulei consumat în anul t , $W_{el,t}$ - volumul energiei electrice produse în acest an; vom presupune că $W_{el,t} = W_{el,0} = \text{const}$. Consumul de ulei pentru anul t_0 va constitui $V_{ulei,0} = W_{el,0} \cdot k_{ulei}$. Cunoscând volumul uleiului consumat $V_{ulei,t}$ și prețul de procurare a acestuia $C_{ulei,t}$ putem determina cheltuielile anuale pentru ulei - $C_{ulei,t} = V_{ulei,t} \cdot C_{ulei,t}$. Vom considera că prețul $C_{ulei,t}$ crește exponențial la o rată anuală r_u - $C_{ulei,t} = C_{ulei,0} \cdot [1 + r_u]^{t-t_0}$. Pentru aceste condiții cheltuielile totale pentru ulei pe perioada de calcul se determină cu formula -

$$C_{ulei,act} = \sum_{t=1}^T C_{ulei,t} \cdot a^{-t} \quad (15)$$

$$\text{sau } C_{ulei,act} = C_{ulei,0} \cdot \bar{T}_{Tiu} \quad (15')$$

unde $C_{ulei,0} = V_{ulei,0} \cdot c_{ulei,0}$ - cheltuielile pentru ulei în anul de referință.

Notând $c = 1 + r_u$ și $B = a/c$ pentru \bar{T}_{Tiu} putem scrie:

$$\bar{T}_{Tiu} = \sum_{t=t_0}^{t_f} c^{t-t_0} \cdot a^{-t} \quad \text{sau}$$

$$\boxed{\bar{T}_{Tiu} = c^{-t_0} \cdot (1 - B^{-T}) / (B - 1)} \quad (16)$$

În final, pentru cheltuielile totale de producție pe perioada de calcul (formula (7)), rezultă -

$$\boxed{C_{act} = C_{comb,0} \cdot \bar{T}_{Tig} + C_{i.r.,0} \cdot \bar{T}_{Ti} + C_{ulei,0} \cdot \bar{T}_{Tiu}} \quad (17)$$

De menționat, că în cazul neglijării factorului timp, dinamicii tarifului la gaze și dinamicii costului uleiului - în formula (17) duratele actualizate \bar{T} se transformă în durata calendaristică T.

2. VENITURILE TOTALE

Veniturile anuale V_t cuprind veniturile în urma realizării energiei electrice și energiei termice produse în instalația de cogenerare:

$$V_t = V_{el,t} + V_{th,t} \quad (18)$$

Veniturile totale actualizate (VTA) reprezintă suma veniturilor anuale pe perioada de calcul luând în considerație factorul timp -

$$VTA = \sum_{t=1}^T V_t \cdot a^{\ominus-t} \quad (19)$$

$$\text{sau } VTA = VTA_{el} + VTA_{th} \quad (19')$$

Veniturile cu energia electrică

Veniturile anuale în urma realizării energiei electrice -

$$V_{el,t} = W_{el,t} \cdot T_{el,t} \quad (20)$$

unde $W_{el,t}$ reprezintă volumul de energie electrică produsă în anul t; $T_{el,t}$ - tariful la energia electrică în anul respectiv.

După cum s-a menționat anterior, vom considera, că volumul anual de energie electrică produsă nu variază de la an la an ($W_{el} = W_{el,0}$), pe când tariful la energia electrică crește conform unei funcții exponențiale de-a lungul perioadei de calcul la o rată r_{el} - $T_{el,t} = T_{el,0} \cdot [1 + r_{el}]^{t-t_0}$, unde $T_{el,0}$ constituie tariful la energia electrică cunoscut pentru anul t_0 ; r_{el} - rata anuală de creștere a tarifului.

Veniturile totale actualizate în urma realizării energiei electrice pe durata de T ani, $VTA_{el,act}$ -

$$VTA_{el} = \sum_{t=1}^T V_{el,t} \cdot a^{\ominus-t} \quad \text{sau}$$

$$\boxed{VTA_{el} = V_{el,0} \cdot \bar{T}_{Tiel}} \quad (21)$$

unde $V_{el,0} = W_{el,0} \cdot T_{el,0}$ - veniturile în urma realizării energiei electrice în anul de referință t_0 ($t_0=1$); \bar{T}_{Tiel} - reprezintă o durată de timp, ce ia în considerație: durata calendaristică T, rata de actualizare și dinamica tarifului la energia electrică-

$$\bar{T}_{Tiel} = \sum_{t=1}^T d^{t-t_0} \cdot a^{\ominus-t} \quad (22)$$

unde $a = 1 + i$, $d = 1 + r_{el}$.

Relația (22) poate fi substituită de o expresie echivalent-statică:

$$\boxed{\bar{T}_{Tiel} = d^{-t_0} \cdot (1 - C^{-T}) / (C - 1)} \quad (23)$$

unde $C = a/d$.

Veniturile cu energia termică

În mod similar vom exprima venitul anual obținut din livrarea energiei termice -

$V_{th,t} = W_{th,t} \cdot T_{th,t}$, unde $W_{th,t}$ este volumul de energie termică produs în anul t; $T_{th,t}$ - tariful la energia termică în anul respectiv; vom accepta $W_{th,t} = W_{th,0} = \text{const}$ și că tariful la energia termică crește exponențial la o rată anuală r_{th} .

În aceste condiții veniturile totale în urma realizării energiei termice pe perioada de calcul -

$$VTA_{th,act} = \sum_{t=1}^T V_{th,t} \cdot a^{-t} \quad \text{sau}$$

$$\boxed{VTA_{th,act} = V_{th,0} \cdot \bar{T}_{Tith}} \quad (24)$$

unde $V_{th,0} = W_{th,0} \cdot T_{th,0}$ - veniturile în anul t_0 .

Durata \bar{T}_{Tith} în (24) se determină cu formula -

$$\boxed{\bar{T}_{Tith} = e^{-t_0} \cdot (1 - D^{-T}) / (D - 1)} \quad (25)$$

unde sunt aplicate notațiile: $e = 1 + r_{th}$ și $D = a/e$.

Pentru veniturile totale pe perioada de calcul (formula (19')), în cele din urmă rezultă o expresie simplă și clară:

$$\boxed{VTA = V_{el,0} \cdot \bar{T}_{Tiel} + V_{th,0} \cdot \bar{T}_{Tith}} \quad (26)$$

3. CALCUL NUMERIC

Vom ilustra aplicarea modelelor propuse pentru un proiect de implementare a instalațiilor de cogenerare. Proiectul include patru agregate de cogenerare, fiecare cu puterea de 6 megawați, dotate cu motoare cu ardere internă de tip *Cat G16CM34*, pe gaze naturale, producție a faimoasei firme americane Caterpillar. Datele inițiale folosite în efectuarea calculelor sunt prezentate în tab.1 și tab.2.

Tabelul 1. Informațiile puse la baza calculului economico-financiar

Parametri	Unități	Valori
Numărul de unități generatoare	Unități	4
Puterea electrică a unei unități	kW	5 950
Puterea termică a unei unități	kW	6 700
Puterea electrică folosită	%	100.00
Puterea termică folosită	%	100.00
Investiția inițială pentru o unitate cogeneratoare, I	\$	3 500 000
Investiția în reparația capitală, I _{rep}	\$	612 500
Consum gaze pe oră, v	m ³ /h	1 510.0
Consum ulei pe oră, v	g/kWh	0.31
Durata anuală de funcționare, T _f	h/an	8 000
Resursa până la prima reparație capitală	h	42 000
Anul primei reparații capitale	an	5.0
Anul celei de-a doua reparație capitală	an	10.0
Durata de calcul	ani	16
Tariful mediu de achiz. a gazelor pe perioada de studiu, T _{gaze}	\$/m ³	100
Rata de creștere a tarifului de achiz. a gazelor pe perioada de studiu, r _g	%	5.00
Preț de livrare al energiei termice	\$/Gcal	18
Rata de creștere a tarifului la ET pe perioada de studiu, r _h	%	4.00
Tarif mediu la EE din rețeaua publică pe perioadă de studiu	c\$/kWh	6.00
Rata de creștere a tarifului la EE pe perioada de studiu, r _{el}	%	4.00
Costul uleiului	\$/l	2,31
Rata de creștere a costului uleiului pe perioada de studiu, r _u	%	5.00
Rata de actualizare, i	%	10.00
Cheltuielile de întreținere și reparații, C _{ir}	\$/an	70 000
Valoarea fondurilor la sfârșitul perioadei de viață	%	1.00

Calculul CTA

Investiția necesară reparațiilor capitale la finele anilor 5 și 10 constituie - $I_{rep} = 4\,900$ mii \$.

Investiția totală actualizată -

$$I_{act} = 14 \cdot 10^6 + 2,45 \cdot 10^6 \cdot 0,62 + 2,45 \cdot 10^6 \cdot 0,38 = 16,45 \cdot 10^6 \$.$$

Din calculele efectuate în baza modelului dinamic rezultă:

$$C_{comb,act} = 48,54 \cdot 10^6 \$, \quad C_{i,r,act} = 532,42 \cdot 10^3 \$,$$

$$C_{ulei,act} = 1,52 \cdot 10^6 \$.$$

Tabelul 2. Parametrii tehnici

Parametri/Indicatori	Unități	Valori
Capacitatea de producție:		
• energie electrică, P _{el}	kW	23 800
• energie termică, P _{th}	kW	26 800
Volumul anual de producție		
• energie electrică, W _{el}	MWh/an	190 400
• energie termică, W _{th}	Gcal/an	184 352
Consum gaze, v	m ³ /h	6 040
	m ³ /an	48 320 000
Consum ulei anual	l/an	65 582
Durata anuală de funcționare, T _f	h/an	8 000
Durata de viață, T _{viață}	ani	15

În final, $C_{act} = 50,59 \cdot 10^6 \$$ și $CTA = 67 \cdot 10^6 \$$.

Calculul CTA prin aplicarea modelului static echivalent:

Cheltuielile cu combustibilul conform (10) -

$$C_{comb,act} = 48,32 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10,09 = 48,75 \cdot 10^6 \$,$$

unde $\bar{T}_{Tig} = 1,05^{-1} \cdot (1 - 1,05^{-15}) / (1,05 - 1) = 10,09$ ani.

Cheltuielile de întreținere și reparații (formula (14)) -

$$C_{i,r,act} = 70 \cdot 10^3 \cdot 7,61 = 532,7 \cdot 10^3 \$.$$

Cheltuielile cu uleiul conform (15') și (16) -

$$C_{ulei,act} = 65,58 \cdot 10^3 \cdot 2,31 \cdot 10,09 = 1,53 \cdot 10^6 \$.$$

Ca rezultat:

$$C_{act} = 50,81 \cdot 10^6 \$ \quad \text{și} \quad CTA = 67,26 \cdot 10^6 \$.$$

CONCLUZII

Modelul dinamic al cheltuielilor și veniturilor totale pe perioada ciclului de viață a instalației de cogenerare poate fi substituit de un model static echivalent, compact și simplu, aplicat în studii și cercetări ale eficienței utilizării tehnologiei de cogenerare.

Bibliografie

1. V. Arion. *Strategii și politici energetice (Uniunea Europeană și Republica Moldova)*. Editura Universul. Chișinău, 2004.

2. V. Arion, S. Codreanu. *Bazele calculului tehnico-economic al sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice*. Editura UTM. Chișinău, 1998.

Recomandat spre publicare: 10.09.04