

# MODELAREA CHELTUIELILOR TOTALE PE TERMEN LUNG PENTRU OBIECTIVELE DE REȚEA

Valentin ARION, Viorica HLUSOV

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Rezumat:** În această lucrare este prezentată metodologia de calcul a cheltuielilor totale actualizate aferente obiectivelor de rețea (linii și transformatoare electrice), bazată pe aplicarea modelului static, echivalent modelului dinamic.

**Cuvinte cheie:** obiectiv de rețea, cheltuielile totale actualizate, cheltuielile cu investiția, cheltuielile operaționale, costul pierderilor de putere și energie.

## 1. Introducere

Actualmente criteriul *cheltuielilor totale actualizate minime* ( $CTA \rightarrow \min$ ) este principalul criteriu aplicat în proiectarea obiectivelor de rețea și a rețelelor electrice (de transport sau distribuție) în ansamblu.

Calculul cheltuielilor totale actualizate, tradițional, are la bază modelele economice dinamice, care presupun, în esență, însumarea cheltuielilor anuale actualizate pentru fiecare an al perioadei de studiu.

Cercetările realizate ne arată că în toate cazurile, în care evoluția în timp a parametrilor elementelor de rețea, ce au impact asupra valorii cheltuielilor, este luată în considerație prin aplicarea unor funcții matematice (ce descriu creșterea sarcinii electrice, creșterea tarifului la energia tranzitată etc.) – merită ca în locul modelelor dinamice să se utilizeze modele statice-echivalente.

Modelul static, echivalent modelului dinamic, reprezintă o descriere sintetică a procesului economic, inclusiv a factorului timp și variației unor parametri ai elementelor de rețea, fără divizarea acestuia pe intervale de timp (pe anii perioadei de studiu), însă care asigură același rezultat final ca și cel corespunzător modelului dinamic.

Un model static-echivalent oferă un șir de avantaje, precum volum redus de informații de intrare, expresii de calcul simple și compacte, de o formă clară și elegantă, și care adesea permit intuirea rezultatului final așteptat. Iată de ce, atâta timp cât un model static-echivalent oferă posibilitatea obținerii unuia și aceluiași rezultat (fără pierderea calității), ca și la aplicarea modelului dinamic, se recomandă de a utiliza modelul static-echivalent cu avantajele lui.

## 2. Modelul analitic al cheltuielilor totale pe termen lung

Cheltuielile totale actualizate, legate de realizarea unui obiectiv de rețea și funcționarea lui pe parcursul perioadei de studiu, au următoarea structură:

$$CTA = CTA_I + CTA_{E\&M} + CTA_{\Delta PW} + CTA_D, \quad (1)$$

unde componentele respective reprezintă cheltuielile cu investiția  $CTA_I$ , cu exploatarea și mentenanța  $CTA_{E\&M}$ , cu pierderile de putere și energie  $CTA_{\Delta PW}$  și cu daunele sumare datorate nelivrărilor de energie și a calității inferioare a energiei  $CTA_D$ .

În practica curentă de proiectare a liniilor și stațiilor electrice adesea toate variantele prezentate spre comparare asigură unul și același grad de siguranță în livrarea energiei către consumatori și o calitate admisibilă a energiei. În această ipoteză, componenta  $CTA_D$  poate fi exclusă din formula (1), evitând în așa fel și unele dificultăți privind calculul efectiv al daunelor.

În calculele tehnico-economice comparative ale obiectivelor de rețea trebuie să se țină seama de valoarea remanentă a instalațiilor la finele perioadei de studiu. Această valoare se deduce din cheltuielile totale, astfel pentru  $CTA$  putem scrie:

$$CTA = CTA_I + CTA_{E\&M} + CTA_{\Delta PW} - CTA_{rem}. \quad (2)$$

### Cheltuielile cu investiția

Pentru obiectivele de rețea cu tensiunea nominală de până la 110 kV inclusiv, durata de realizare a lor, de regulă, nu depășește un an și în acest caz avem –

$$CTA_I = I. \quad (3)$$

În caz contrar,  $CTA_I$  va reflecta valoarea totală actualizată a investiției eșalonate pe  $d$  ani ai perioadei de construcție:

$$CTA_I = \sum_{t=-(d-1)}^0 I_t \cdot (1+i)^{\theta-t}. \quad (4)$$

Anul de actualizare  $\theta$ , de regulă, este acceptat ca anul ce precede primul an de funcționare a obiectivului.

### Cheltuielile de exploatare și mentenanță

Cheltuielile  $CTA_{E\&M}$  se determină prin însumarea valorilor actualizate ale cheltuielilor anuale  $E\&M$ :

$$CTA_{E\&M} = \sum_{t=1}^T C_{E\&M,t} \cdot (1+i)^{\theta-t} = \sum_{t=1}^T k_{E\&M,t} \cdot I \cdot (1+i)^{\theta-t}, \quad (5)$$

în care  $k_{E\&M,t}$  reprezintă cota anuală a cheltuielilor de exploatare și mentenanță, % din valoarea investiției.

Valoarea coeficientul  $k_{E\&M,t}$  se schimbă de la an la an, odată cu avansarea uzurii obiectivelor. Se admite că  $k_{E\&M,t}$  crește de-a lungul perioadei de exploatare, conform unei funcții exponențiale la o rată anuală  $r_{E\&M}$ :

$$k_{E\&M,t} = k_{E\&M,t_0} \cdot [1+r_{E\&M}]^{t-t_0}, \quad (6)$$

unde  $k_{E\&M,t_0}$  reprezintă o valoare cunoscută la anul de referință  $t_0$ , de regulă  $t_0=1$ .

Ținând cont de expresia (6), formula (5) poate fi transformată:

$$CTA_{E\&M} = k_{E\&M,t_0} \cdot I \cdot \sum_{t=1}^T (1+r_{E\&M})^{t-t_0} \cdot (1+i)^{\theta-t} \quad (7)$$

$$\text{sau} \quad CTA_{E\&M} = C_{E\&M,0} \cdot \bar{T}_{T,x_1}, \quad (8)$$

unde:  $C_{E\&M,0}$  reprezintă valoarea cheltuielilor anuale  $E\&M$  determinată pentru anul de referință  $t_0$ , iar mai apoi raportată la anul 0:  $C_{E\&M,0} = k_{E\&M,t_0} \cdot I \cdot (1+r_{E\&M})^{-t_0}$ ;

$$\bar{T}_{T,x_1} - \text{durata recalculată (actualizată) a perioadei de studiu, ce reflectă durata calendaristică a perioadei de calcul, rata de actualizare și dinamica cheltuielilor E\&M:} \\ \bar{T}_{T,x_1} = [1 - (1+x_1)^{-T}] / x_1; \quad (9)$$

$$x_1 - \text{o rată sintetică de recalculare a duratei perioadei de studiu:} \\ x_1 = (1+i)/(1+r_{E\&M}) - 1; \quad (10)$$

$r_{E\&M}$  - rata anuală de creștere a cheltuielilor  $E\&M$ .

### Costul pierderilor de putere și energie

Pierderile de putere și energie pentru o linie electrică sau un transformator cuprind două componente:

- pierderile variabile de putere  $\Delta P'$  și energie  $\Delta W'$ , ce depind de valoarea puterii tranzitate și
- pierderile constante de putere  $\Delta P''$  și de energie  $\Delta W''$ , ce nu depind de valoarea sarcinii.

Pierderile variabile au loc nemijlocit în conductoarele liniilor electrice sau în înfășurările transformatoarelor și ele depind de valoarea sarcinii tranzitate și de modul cum ea evoluează, iar pierderile constante, la rândul lor, reprezintă pierderile corona în LEA sau pierderile în fierul transformatoarelor, valoarea cărora nu depinde de modul cum evoluează sarcina.

Astfel, cheltuielile totale, datorate pierderilor de putere și energie pe perioada de studiu  $CTA_{\Delta PW}$  includ - cheltuielile asociate pierderilor variabile ( $CTA'_{\Delta PW}$ ) și pierderilor constante de putere și energie ( $CTA''_{\Delta PW}$ ):

$$CTA_{\Delta PW} = CTA'_{\Delta PW} + CTA''_{\Delta PW}. \quad (11)$$

La faza de proiectare a rețelelor electrice, de obicei, se admit următoarele ipoteze de calcul ale pierderilor de putere și energie și ale cheltuielilor respective:

- Conform conceptului de echivalare a variantelor comparate din punct de vedere al pierderilor de putere și energie, *pierderile de putere sunt acoperite prin instalarea de putere suplimentară la centrala electrică de referință (etalon), iar pierderile de energie – prin producerea unui volum suplimentar de energie electrică la această centrală.* Din acest punct de vedere, *costul pierderilor de putere* corespunde investițiilor necesare de extindere a capacității centralei, iar *costul pierderilor de energie* – cheltuielilor de producere a energiei electrice la centrala etalon.
- *Investițiile în centrala de referință, legate de pierderile de putere în elementele sistemului, se fac la unul și același moment de timp – în anul precedent primului an de funcționare al instalației respective (anul 0 pe axa timpului).*
- *Sarcinile electrice în noduri, de regulă, variază în timp, ele se modifică, de la un moment la altul, de la un an la altul. Dinamica sarcinii aduce la o variație a pierderilor anuale  $\Delta P'$  și  $\Delta W'$  pe parcursul perioadei de studiu.*

a) Cheltuielile aferente pierderilor variabile de putere și energie  $CTA'_{\Delta PW}$

Cheltuielile  $CTA'_{\Delta PW}$  includ – costul investiției totale de echivalare în centrala de referință, necesară acoperirii pierderilor de putere pe perioada de studiu  $CTA'_{\Delta P}$  și costul total al pierderilor de energie  $CTA'_{\Delta W}$ :

$$CTA'_{\Delta PW} = CTA'_{\Delta P} + CTA'_{\Delta W}. \quad (12)$$

Evoluția sarcinilor electrice pe parcursul perioadei de studiu provoacă o creștere a pierderilor maxime anuale:

$$\Delta P'_t = \Delta P'_{t_0} (1+r)^{2(t-t_0)}. \quad (13)$$

Puterea totală, necesar a fi instalată la centrala de referință pentru acoperirea pierderilor maxime anuale  $\Delta P'_t$  pe durata de  $T$  ani, corespunde valorii maxime a pierderilor de putere, înregistrate la ultimul an al perioadei de studiu:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{t_0} (1+r)^{2(T-t_0)}. \quad (14)$$

În aceste condiții, cheltuielile totale aferente pierderilor variabile de putere pe durata de studiu se determină:

$$CTA'_{\Delta P} = \Delta P'_{t_0} \cdot k_p \cdot c_p \quad (15)$$

unde:  $\Delta P'_{t_0}$  reprezintă pierderile variabile de putere la un an de referință  $t_0$ ,  $t_0 = 1$ ;

$k_p$  - coeficientul de creștere a pierderilor de putere de-a lungul anilor:

$$k_p = (1+r_s)^{2(T-t_0)}; \quad (16)$$

$r_s$  - rata anuală de creștere a sarcinii;

$T$  - ultimul an al perioadei de studiu;

$c_p$  - costul unitar al puterii instalate la centrala etalon.

Cheltuielile totale aferente pierderilor variabile de energie  $CTA'_{\Delta W}$ :

$$CTA'_{\Delta W}{}^{\theta-t} = \sum_{t=1}^T C'_{\Delta W,t} \cdot (1+i)^t, \quad (17)$$

unde:  $C'_{\Delta W,t}$  reprezintă cheltuielile anuale asociate pierderilor variabile de energie:

$$C'_{\Delta W,t} = c'_{w,t} \cdot \Delta W'_t$$

$$\Delta W'_t - \text{pierderile anuale de energie:} \quad \Delta W'_t = \Delta W'_{t_0} (1+r_s)^{2(t-t_0)};$$

$$c_{w,t} - \text{costul unitar ale pierderilor anuale de energie; } c_{w,t} = c_{w,t_0} \cdot (1+r_w)^{t-t_0}.$$

Expresia (17) poate fi rescrisă -

$$CTA'_{\Delta W}{}^{\theta-t} = c'_{t_0} \cdot c_{w,t_0} \cdot \sum_{t=1}^T (1+r_s)^{2(t-t_0)} (1+r_w)^{t-t_0} (1+i)^t \quad (18)$$

$$\text{sau} \quad CTA'_{\Delta W} = C'_{\Delta W,0} \cdot \bar{T}_{T,x_2}, \quad (19)$$

unde:  $C'_{\Delta W,0}$  reprezintă cheltuielile anuale asociate pierderilor variabile de energie în anul de referință  $t_0$ , raportate la anul 0;  $C'_{\Delta W,0} = c'_{t_0} \cdot c_{w,t_0} \cdot (1+i)^{-t_0}$ ;

$$\Delta W'_{t_0} - \text{valoarea pierderilor variabile de energie la anul de referință } t_0, \Delta W'_{t_0} = \Delta P'_{t_0} \cdot \tau; \quad (20)$$

$\tau$  - durata de calcul a pierderilor maxime de putere, valoare medie pe durata T;

$c_{w,t_0}$  - valoarea costului unitar al energiei la anul de referință;

$\bar{T}_{T,x_2}$  - durata recalculată (actualizată) a perioadei de studiu, determinată la rata  $x_2$ :

$$\bar{T}_{T,x_2} = [1 - (1+x_2)^{-T}] / x_2; \quad (21)$$

$x_2$  - rata sintetică de recalculare a duratei perioadei de studiu:

$$x_2 = (1+i)/(1+k) - 1, \text{ unde } 1+k = (1+r_w) \cdot (1+r_s)^2; \quad (22)$$

$r_w$  - rata anuală de creștere a costului unitar al energiei;

$r_s$  - rata anuală de creștere a sarcinii pe perioada de studiu.

În final, costul total al pierderilor variabile de putere și energie pe perioada de studiu se determină:

$$CTA'_{\Delta PW \Delta P} = CTA'_{\Delta W} + CTA'_{\Delta P} = c'_{t_0} \cdot k_p \cdot c_{w,t_0} \cdot T' \cdot \bar{T}_{T,x_2}$$

$$\text{sau} \quad CTA'_{\Delta PW \Delta P} = c'_{t_0} \cdot k_p \cdot c_{w,t_0} \cdot \Delta P'_{t_0} \cdot \tau \cdot (1+k)^{t-t_0} \cdot \bar{T}_{T,x_2}$$

$$\text{sau} \quad CTA'_{\Delta PW \Delta P} = c'_{t_0} \cdot c'_{PW} \quad (23)$$

unde  $c'_{PW}$  este un indicator sintetic ce reprezintă *costul unitar sumar al pierderilor variabile de putere și energie raportat în mod echivalent numai la costul unitar al pierderilor variabile de putere*:

$$c'_{PW} = c_p \cdot k_p \cdot c_{w,t_0} \cdot (1+k)^{t-t_0} \cdot T' \cdot \bar{T}_{T,x_2}. \quad (24)$$

a) Cheltuielile aferente pierderilor constante de putere și energie  $CTA''_{\Delta PW}$

Cheltuielile  $CTA''_{\Delta PW}$  includ cheltuielile cu investițiile echivalente  $CTA''_{\Delta P}$  și cheltuielile cu pierderile de energie  $CTA''_{\Delta W}$ :

$$(25)$$

$$CTA_{\Delta PW \Delta P}'' = CTA_{\Delta W}'' + CTA''$$

Cheltuielile cu investițiile echivalente se determină:

$$CTA_{\Delta P}'' = \sum_{t_0}^T c_p \cdot (1+r_w)^{-t} \quad (26)$$

Cheltuielile cu pierderile constante de energie pe perioada de studiu:

$$CTA_{\Delta W}'' = \sum_{t=1}^T C_{\Delta W,t}'' \cdot (1+i)^{-t} = \sum_{t=1}^T \Delta W_{w,t}'' \cdot c_w \cdot (1+r_w)^{-t} \cdot (1+r_w)^{t_0} \quad (27)$$

sau  $CTA_{\Delta W}'' = C_{\Delta W,0}'' \cdot \bar{T}_{T,x_3}$  (27)

unde:  $C_{\Delta W,0}''$  reprezintă cheltuielile anuale asociate pierderilor constante de energie în anul de referință  $t_0$ , raportate la anul 0;  $C_{\Delta W,0}'' = c_w \cdot (1+r_w)^{t_0} + c_w^{-t_0}$ ;

$\Delta W_{t_0}''$  - pierderile constante de energie în anul de referință;

$\bar{T}_{T,x_3}$  - durata perioadei de studiu, recalculată la rata  $x_3$ :  $\bar{T}_{T,x_3} = [1 - (1+x_3)^{-T}] / x_3$ ; (28)

$x_3$  - rata sintetică de recalculare a duratei perioadei de studiu:  $x_3 = (1+i)/(1+r_w) - 1$ ; (29)

$r_w$  - rata anuală de creștere a costului unitar al energiei pe perioada de studiu.

În final, obținem:

$$CTA_{\Delta PW \Delta P}'' = CTA_{\Delta W}'' + CTA_{\Delta P}'' = \sum_{t_0}^T c_p + \sum_{t_0}^T \Delta W_{w,t}'' \cdot c_{w,t} \cdot (1+r_w)^{-t} \cdot (1+r_w)^{t_0} \cdot \bar{T}_{T,x_3} \quad \text{sau}$$

$$CTA_{\Delta PW}'' = c_{t_0}'' + \Delta P_{t_0}'' \cdot T_f \cdot c_{w,t_0} \cdot (1+r_w)^{-t_0} \cdot \bar{T}_{T,x_3}$$

$$CTA_{\Delta PW}'' = c_{t_0}'' \cdot c_{PW}'' \quad (30)$$

unde:  $\Delta P_{t_0}''$  reprezintă valoarea de referință a pierderilor constante de putere în obiectivul de rețea;

$T_f$  - durata anuală de funcționare a obiectivului;

$c_{PW}''$  - costul unitar al pierderilor  $\Delta P''$  și  $\Delta W''$ , raportat în mod echivalent la costul unitar al pierderilor de putere  $\Delta P''$ :

$$c_{PW}'' = c_p + T_f \cdot c_{w,t_0} \cdot (1+r_w)^{-t_0} \cdot \bar{T}_{T,x_3} \quad (31)$$

În final, cheltuielile totale actualizate  $CTA_{\Delta PW}$ , datorate pierderilor sumare de putere și energie (constante și variabile) pe durata de studiu:

$$CTA_{\Delta PW} = CTA_{\Delta PW}' + CTA_{\Delta PW}'' = \Delta P_{t_0}' \cdot c_{PW}' + c_{t_0}'' \cdot c_{PW}'' \quad (32)$$

#### Valoarea remanentă a obiectivelor

Datorită uzurii fizice și morale valoarea fondurilor (instalațiilor) pe parcursul duratei de viață se micșorează, pornind de la valoarea inițială  $I$  și până la valoarea reziduală  $V_{rez}$ . Acest fenomen este cunoscut ca deprecierea fondurilor.

Valoarea remanentă  $W_t$ , reprezintă valoarea fondurilor la un moment de timp  $t$  al perioadei de viață.

În calculele tehnico-economice comparative ale obiectivelor de rețea trebuie să se țină seama de valorile remanente ale instalațiilor la finele perioadei de studiu. Valoarea remanentă actualizată se determină cu expresia

$$CTA_{rem} = W_T \cdot (1+i)^{\theta-T} \quad \text{sau} \quad (33)$$

$$CTA_{rem} = \alpha_{rem} \cdot I,$$

unde:  $W_T$  reprezintă valoarea remanentă a obiectivului la sfârșitul perioadei de studiu (anul  $T$ ):

$$W_T = I - \sum_{t=1}^T C_{am,t}; \quad (34)$$

$I$  - valoarea inițială a fondurilor;

$C_{am,t}$  - cota anuală de amortizare, care în ipoteza amortizării uniforme se determină:

$$C_{am,t} = (I - V_{rez}) / T_{sn} \quad \text{sau}$$

$$C_{am,t} = I / T_{sn}, \quad \text{la neglijarea valorii reziduale}; \quad (35)$$

$$\alpha_{rem} - \text{coeficient, } \alpha_{rem} = (1 - T/T_{sn}) \cdot (1+i)^{-T}. \quad (36)$$

În final, modelul dinamic de calcul al CTA se transformă în următorul model static-echivalent:

$$CTA = I \cdot E_{\Sigma} \Delta P \quad \overset{\cdot}{c}_0 \cdot \overset{\cdot}{P} \Delta P \quad \overset{\cdot}{c}_0 \cdot \overset{\cdot}{P} W \quad (37)$$

unde:  $E_{\Sigma}$  reprezintă un coeficient:

$$E_{\Sigma} = 1 + k_{O\&M,t_0} \cdot \bar{T}_{T,x1} - \text{rem}. \quad (38)$$

### Concluzii

Modelele dinamice de calcul a cheltuielilor totale actualizate pe termen lung, aferente obiectivelor de rețea, pot fi substituite cu modelele statice-echivalente, în care factorul timp, evoluția sarcinii, evoluția costului unitar al energiei și a alor factori, specifici problemei, sunt integrați în durata recalculată a perioadei de studiu.

Integrarea în modelul static a tuturor parametrilor variabili face ca problemele complexe considerate, precum și modul de soluționare a lor să se simplifice semnificativ.

### Bibliografie

1. V. Arion, S. Codreanu, *Bazele calculului tehnico-economic al sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice*. Editura UTM, Chișinău, 1998.
2. V. Arion, V. Hlusov, C. Gherman, *Substitution of dynamic models by equivalent-static ones in energy projects long-run cost assessment*, 6<sup>th</sup> International Conference on Electrical and Power Engineering, EPE-2010, 28-30 October 2010 - Iași, Romania.