

O PROPRIETATE IMPORTANTĂ A REȚELELOR INGINEREȘTI CU FLUXURI

V. Arion, N. Baboi, N. Butenco, V. Apreutesii,
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Pentru rețelele ingineresti cu fluxuri, economic dimensionate, indicatorii generalizați de calitate (cheltuielile totale actualizate, momentul de sarcină total al rețelei), de regulă, se dovedesc a fi funcții lineare, sau aproape lineare, de fluxul tranzitat. Aceasta servește drept bază pentru existența unei multitudini de structuri cu aceeași performanță. De aici se desprinde observația că pentru un sistem de distribuție a fluxurilor există multe soluții optime de structură. Inițial, această proprietate a rețelelor arborescente, optim-dimensionate, a fost demonstrată pentru rețelele electrice de distribuție [1].

Pornind de la similitudinea rețelelor cu curgere [2], în această lucrare se încearcă de a demonstra că proprietatea menționată cu privire la existența unei multitudini de structuri arborescente optime sau cvasi-optime are un caracter mai general și este valabilă și pentru alte tipuri de rețele ingineresti cu fluxuri, cum sunt rețelele de aprovizionare cu apă, cu gaze naturale, cu căldură etc.

1. STRUCTURA CHELTUIELILOR TOTALE ACTUALIZATE ALE REȚELEI

În proiectarea tuturor rețelelor ingineresti cu fluxuri pe larg este aplicat criteriul cheltuielilor totale actualizate minime ($CTA \rightarrow \min$) ca principalul criteriu de fundamentare a soluțiilor tehnice.

Cheltuielile totale, legate de realizarea unui obiectiv de rețea și funcționarea acestuia pe parcursul perioadei de studiu, de T ani, includ cheltuielile cu investiția și cheltuielile de exploatare:

$$CTA = I_{act} + C_{act} - W_{act} \quad (1)$$

Formulele generale de calcul ale componentelor CTA sunt:

$$I_{act} = \sum_{t=(d-1)}^0 I_t \cdot k_t, \quad C_{act} = \sum_{t=1}^T C_t \cdot k_t,$$

$$W_{act} = W_T \cdot (1+i)^{\theta-T},$$

unde I_t reprezintă investiția anului t ; C_t - cheltuielile de exploatare pentru anul t (ele nu includ cheltuielile pentru amortizarea instalațiilor); W_T - valoarea remanentă a instalațiilor la sfârșitul perioadei de studiu; indicele „act” indică asupra faptului că valorile respective sunt actualizate; d - durata de execuție; T - durata de studiu; θ , i și k_t - anul, rata și coeficientul de actualizare, $k_t = (1+i)^{\theta-t}$.

În ipoteza că structurile de rețea considerate asigură unul și același grad de siguranță, în formula (1) nu sunt luate în considerare daunele datorate întreruperilor în aprovizionarea consumatorilor.

2. MODELUL GENERALIZAT CTA(x)

Studiile arată că problema dimensionării unui obiectiv de rețea (tronson) se încadrează, în mod strict sau cu unele abateri, în următorul model tehnico-economic generalizat, ca model static, echivalent modelului dinamic (1):

$$CTA = a_0 + a_1 x + a_2 S^2 / x \rightarrow \min, \quad (2)$$

unde CTA reprezintă cheltuielile totale actualizate pentru perioada de studiu; x - variabila de optimizare (diametrul economic al conductei sau secțiunea economică a conductoarelor), S - sarcina maximă tranzitată în anul de referință, a_0 , a_1 și a_2 - constante.

Funcția obiectiv (2) este o funcție unimodală (fig.1); minimumul ei determină valoarea economică a parametrului x .

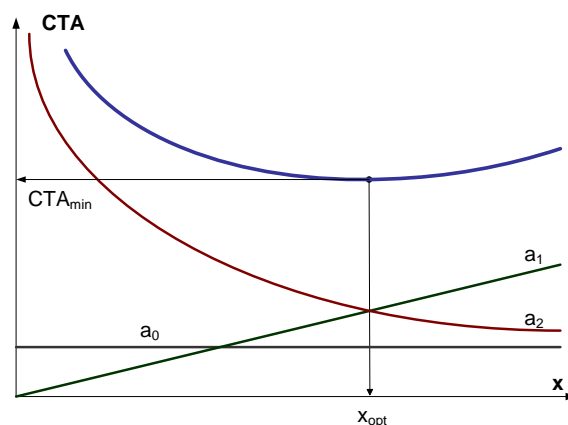


Figura 1. Funcția CTA pentru un tronson de rețea.

La abateri importante ale lui x față de soluția optimă x_{opt} , valoarea CTA variază lent.

Aplicând pentru modelul (2) condiția de optima-litate ($\delta CTA/\delta x = 0$), obținem soluția optimă:

$$x_{opt} = S \sqrt{a_2/a_1} \quad (3)$$

și valoarea minimă a cheltuielilor totale:

$$CTA_{min} = a_0 + a_3 \cdot S, \quad (4)$$

unde $a_3 = 2\sqrt{a_1 \cdot a_2}$.

3. REȚEAUA IDEALIZATĂ CU FLUXURI

În cele ce urmează vom considera modele idealizate de rețea, în ipoteza aprovizionării unui set de consumatori cu o distribuție uniformă pe o suprafață dată (fig. 2).

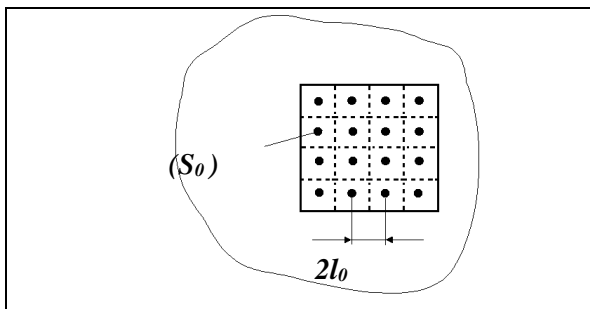


Figura 2. Distribuția uniformă a nodurilor de consum.

În fig.2 S_0 reprezintă sarcina maximă anuală a unui nod de consum, iar $2l_0$ - distanța dintre două noduri vecine. Pentru toate nodurile considerate sarcina și regimul de consum sunt aceleași.

Rețelele cu fluxuri țin de vehicularea unui agent de lucru de la sursă spre consumatori și care, după caz, prezintă apă, vapori, gaze, electricitate etc. Curgerea fluidelor (lichide, gaze) poate fi izotermă (apa, gazele naturale) sau neizotermă (căldura, frigul, aburul). Vehicularea agentului de lucru urmărește transportul de masă sau de masă și energie de la sursă la consumatori.

În fig.3 sunt prezentate câteva exemple de structuri elementare ale rețelelor cu fluxuri.

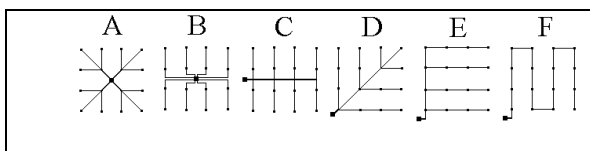


Figura 3. Modele idealizate de rețea.

3. O PROPRIETATE IMPORTANTĂ A REȚELELOR CU FLUXURI

După cum rezultă din (4), cheltuielile totale actualizate pentru o rețea, economic dimensionată, reprezintă o funcție liniară de fluxul tranzitat S (fig.4) - $CTA_{min} = a_0 + a_3 \cdot S$.

Liniaritatea acestei funcții servește drept bază teoretică pentru următoarea proprietate structurală a unei rețele idealizate: pentru o rețea arborescentă, economic dimensionată, poate fi identificată o multitudine de configurații, mult diferite ca structură, ca posibilitate de extindere, etc. - însă practic cu aceleași cheltuieli totale minime.

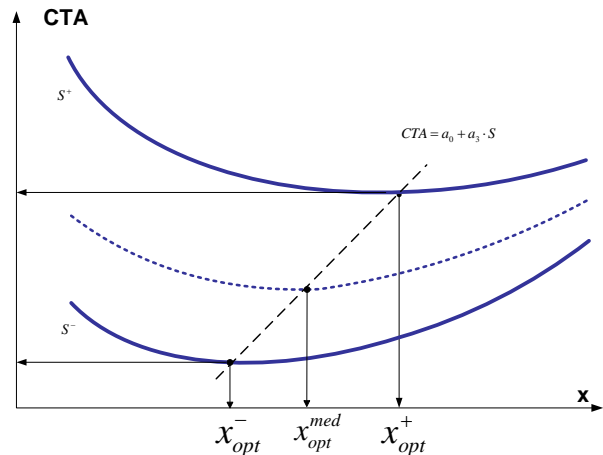


Figura 4. Soluțiile optime de dimensionare a unui tronson, ce corespund diferitor valori ale fluxului transportat.

În fig. 5 și 6 sunt prezentate exemple care ilustrează proprietatea expusă mai sus. În fig.4 avem două scheme ce alimentează același set de noduri de consum.

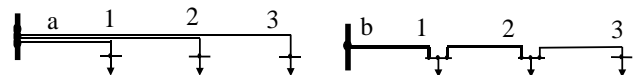


Figura 5. Două variante de structură cu aceleași cheltuieli totale actualizate minime.

Prima schemă (fig.5,a) este radială, pe când a doua (fig.5,b) - magistrală. De și aceste două structuri sunt diferite ca arhitectură, fiind economic dimensionate, pentru ele rezultă aceleași cheltuieli totale actualizate.

În fig.6, pentru o rețea cu 30 de noduri, sunt prezentate două variante de structură cu aceleași cheltuieli totale.

Să revenim la modelele structurale A...F din fig.3. Toate aceste modele au o performanță diferită, însă pentru fiecare din ele poate exista un număr

mare de structuri, cu abateri mai mari sau mai mici de la "prototip", care vor avea unul și același cost

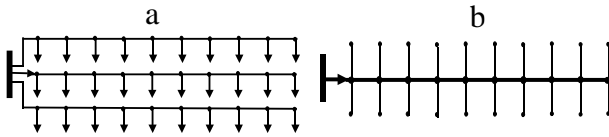


Figura 6. Două structuri cu același cost minim ce alimentează un set de 30 noduri de consum.

(CTA) minim - una și aceeași performanță. Apropos, de menționat, ca dacă în modelul C sursa ar fi amplasată în centru, ca și în B, - cele două modele ar avea aceeași performanță.

Este important ca proiectantul să cunoască această proprietate și să nu pretindă a găsi o unică soluție economică, întrucât ele pot fi mai multe.

O proprietate importantă a rețelelor cu fluxuri: pentru o rețea economic dimensionată există o multitudine de configurații practic cu aceleași cheltuieli totale minime.

4. VALIDAREA PROPRIETĂȚII IDENTIFICATE

În cele ce urmează se demonstrează faptul că pentru diverse tipuri de rețele ingineresti cu fluxuri, funcția $CTA_{min}(S)$ se încadrează, în mod strict sau cu unele abateri, în modelul generalizat (4) și respectiv proprietatea identificată mai sus este valabilă și pentru ele.

Rețele electrice

Costul investiției

Valoarea investiției pentru elementele rețelei poate fi găsită în cataloagele de prețuri ale producătorului. Însă investiția pentru un tronson în studiu, este prezentată, de regulă, ca funcție liniară de parametrul principal al tronsonului x (secțiunea conductoarelor electrice):

$$I = (k_0 + k'_s \cdot x) \cdot L \quad (5)$$

sau

$$I = k_s \cdot x \cdot L, \quad (6)$$

unde k_0 reprezintă costul specific ce nu depinde de parametrul x ; k' și k_s - costul unui km linie electrică (conductă) cu secțiunea transversală unitară (1 mm^2); L - lungimea tronsonului.

Cheltuielile de exploatare

Cheltuielile anuale de exploatare C_{ex} cuprind: cheltuielile cu personalul, cheltuielile pentru întreținere și reparații curente - $C_{i.r.}$ precum și costul pierderilor de energie C_{π} :

$$C_{ex} = C_{i.r.} + C_{\pi},$$

unde

$$C_{i.r.} = p_{i.r.} \cdot I, \quad C_{\pi} = \Delta W \cdot C_w.$$

În formulele de mai sus avem: $p_{i.r.}$ - cota anuală pentru întreținere și reparații, ΔW - pierderile de energie în linie, C_w - costul unui kWh pierderi de energie.

Prezentând componentele de mai sus în structura CTA, pentru un tronson în cele din urmă obținem [3]:

$$CTA = b_0 + b_1 F + b_2 S^2 / F, \quad (7)$$

unde F reprezintă secțiunea conductoarelor, iar b_0 , b_1 și b_2 sunt constante: $b_0 = \Delta P'' C_{PWT}''$; $b_1 = k_s L E$; $b_2 = 3 \rho \cdot L \cdot C'_{PW0}$.

În expresiile de mai sus $\Delta P''$ reprezintă pierderile constante de putere în tronsonul dat; C_{PWT}'' - costul specific al pierderilor constante de putere și energie, readus în mod echivalent la costul specific al pierderilor constante de putere; k_s - investiția specifică; L - lungimea tronsonului; E - coeficient, ρ - rezistivitatea materialului conductor; C'_{PW0} - costul specific sumat al pierderilor variabile de putere și energie readus în mod echivalent numai la costul specific al pierderilor variabile de putere.

Din cele expuse rezultă, că pentru un tronson al unei linii electrice, dependențele $CTA(F)$ și $CTA_{min}(S)$ în totalitate corespund modelelor generalizate (2) și (4) - fapt ce confirmă valabilitatea proprietății identificate pentru rețelele electrice.

Rețele de conducte

Pentru rețelele de conducte cheltuielile cu investiția se determină, ca și pentru rețelele electrice - cu formula (6).

Cât privește cheltuielile de exploatare - le vom specifica pentru următoarele două cazuri: rețele cu curgere izotermică și cu curgere neizotermică [4,5].

a) Curgere izotermă

Cheltuielile anuale de exploatare C_{ex} includ cheltuielile de întreținere și reparații $C_{i.r.}$ (ce se calculează ca și mai sus) și cheltuielile necesare debitării (pompării) mediului fluid - $C_{ex} = C_{i.r.} + C_{deb}$, unde pentru C_{deb} avem [6]:

$$C_{deb} = c \cdot (S^3 / d^{5.25}). \quad (8)$$

În formula (8) S reprezintă debitul pentru tronsonul dat, d - diametrul conductei, c - coeficient.

Expresia de calcul a cheltuielilor totale pentru perioada de studiu de T ani obține forma:

$$CTA = c_0 + c_1 \cdot d + c_2 \cdot S^3 / d^{5.25}. \quad (9)$$

Din condiția de optimalitate ($\partial CTA / \partial d = 0$) pentru diametrul economic rezultă:

$$d_{opt} = c_3 \cdot S^{0.48}, \quad (10)$$

iar pentru CTA_{min} (calculat în pentru d_{opt}) avem:

$$CTA_{min} = c_0 + c_4 \cdot S^{0.48}. \quad (11)$$

În formulele (9)-(11) c_0, c_1, \dots, c_4 - sunt constante.

b) curgere neizotermă

Pentru cazul considerat CTA va include o nouă componentă ce va ține cont de pierderile de căldură în mediul ambiant ($e_3 \cdot d^{0.75}$). În cele din urmă formula de calcul a CTA devine:

$$CTA = e_0 + e_1 \cdot d + e_2 \cdot S^3 / d^{5.25} + e_3 \cdot d^{0.75}. \quad (12)$$

Din condiția de optimalitate ($\partial CTA / \partial d = 0$) pentru diametrul economic rezultă:

$$d_{opt} \cong e_4 \cdot S^{0.5}, \quad (13)$$

iar pentru CTA_{min} avem:

$$CTA_{min} = e_0 + e_5 \cdot S^{0.5} + e_6 \cdot S^{0.37},$$

sau

$$CTA_{min} \cong e_0 + e_7 \cdot S^{0.48}. \quad (14)$$

În formulele (12)-(14) e_0, e_1, \dots, e_7 - sunt constante.

* * *

Dacă pentru modelul generalizat considerat al unui tronson economic dimensionat avem următoarea dependență a cheltuielilor totale minime de fluxul transportat:

$$CTA_{min} = a_0 + a_3 \cdot S,$$

atunci pentru o linie electrică rezultă:

$$CTA_{min} = b_0 + b_3 \cdot S,$$

iar pentru o conductă cu curgere izotermică avem:

$$CTA_{min} = c_4 + c_5 \cdot S^{0.48}.$$

și cu curgere neizotermică:

$$CTA_{min} \cong e_5 + e_8 \cdot S^{0.48}.$$

Observații și concluzii ce privesc rețelele arborescente cu fluxuri, cu tronsoane economic dimensionate:

1. Indiferent de natura agentului de lucru, transportat de la sursă spre consumatori, cheltuielile totale cresc odată cu creșterea volumul agentului de lucru vehiculat ($CTA_{min}(S)$). Pentru un tronson linie

electrică această dependență reprezintă o funcție liniară pe când pentru conducte atât cu curgere izotermă (apă, gaze) cât și neizotermă (apă caldă, abur) este o funcție exponențială.

2. Pentru o rețea electrică poate exista o multitudine de variante de structură, cu aceleași cheltuieli minime totale, și care se deosebesc printr-un șir de legături (tronsoane) cu sarcini ce pot cuprinde valori de la cele mai mici (o singură sarcină nodală elementară S_0) și până la cele mai mari ($n \cdot S_0$).

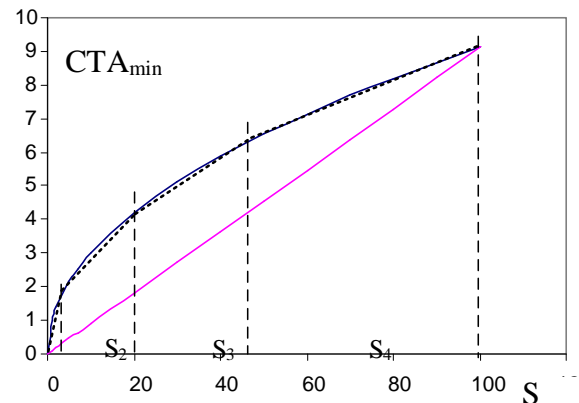


Figura 7. Liniarizarea funcției $CTA_{min}(S)$

3. Neliniaritatea funcției $CTA_{min}(S)$ - caracteristică rețelelor cu curgere izotermă și neizotermă - face ca numărul de structuri cu aceleași costuri minime să fie mai mic. În fig.7 funcția $CTA_{min}(S)$ este liniarizată pe intervale (vezi S_1, \dots, S_4). Toate structurile alternative ce se deosebesc doar prin tronsoanele cu sarcini cuprinse în cadrul unui interval au aceleași cheltuieli totale minime.

Bibliografie

1. Arion V., Bejan A., Cojocari A. Indicatori generalizați de calitate a structurilor arborescente Meridian Ingineresc, nr.2, 2001.
2. Bejan A. Shape and Structure, from Engineering to Nature. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
3. Arion V., Codreanu S. Bazele calculului tehnico-economic al sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice. UTM, Chisinau, 1998.
4. Conduce pentru agenții termici. Îndreptar, Coordonator Aureliu Leca. Editura Tehnica, 1986.
5. Dinculescu C., Burducea C., Leca A. Rețele termice și hidropneumatice. Editura didactică și pedagogică, București, 1968.
6. Sokolov E.Ia. Teploficacia i teplovyje seti. Moskva, Energoizdat, 1982.