

# Elektroenerģijas ražotāja uzvedības stratēģija konkurences tirgus apstākļos

Anatoly Mahnitko, Riga Technical University, Renata Varfolomejeva, Riga Technical University

**Kopsavilkums.** Elektroenerģijas konkurences tirgus ir ekonomiskā sacensība starp diviem vai vairākiem tirgus dalībniekiem (ražotājiem), kas sacenšas par elektroenerģijas ražošanu (realizāciju). Tā ir cīņa par pircēju, par noteicīšo lomu tirgū vai kādā tirgus daļā. Neskatoties uz konkurenci ražotāji arvien vairāk nosaka paaugstinātu elektroenerģijas cenu, galvenokārt lai iegūtu maksimālo peļņu no saražotas enerģijas. Tāpēc ir būtiski apskatīt ražotāja uzvedības stratēģiju, ar kādiem mehānismiem tie paaugstina cenu.

**Atslēgas vārdi:** elektroenerģijas ražotāji, konkurences tirgus, cenu pieteikumi, līdzsvara cena.

## I. IEVADS

Pamatuzdevums, kas rodas veidojot elektroenerģijas konkurences tirgu, ir elektroenerģijas sistēmas funkcionēšanas efektivitātes paaugstināšana un labvēlīgas vides radīšana, lai iesaistītu jaunas investīcijas elektroenerģētikā. Pie tam uzskata, ka konkurences vides veidošana, iespējams, novedīs pie tarifu samazināšanas. Bet, no citas puses, pastāv arī uzskats, ka atteikšanās no tarifu robežvērtības, varētu novest pie cenas pacelšanās tirgū. Abos gadījumos svarīgi zināt, kā izmainās cena, līdz ar to nepieciešama cenas prognoze. Lai to noteiktu ir jāzin tirgus dalībnieku stratēģiju [1]. Konkurences tirgus apstākļos ražotāja optimālā stratēģija ir izkropļot piedāvātās cenas pieteikumos un izmaksu funkcijas parametrus. Tas ir saistīts ar līdzsvara cenas palielināšanas vienlaikus ierobežojot komerciālo elektrostaciju (ģenerācijas) ražošanas apjomu. Valsts regulē elektroenerģijas cenu, palielinot sistēmas ģeneratoru skaitu, kurus jāpieskaita pie ekonomiski efektīvām enerģētiskajām mašīnām [2].

Lai noteiktu ražotāju stratēģiju un cenas veidošanas principu, tiek apskatīts vienkāršs uzdevums, kur tirgus dalībnieki iesniedz parametriskus pieteikumus, kuros ataino relatīvo izmaksu pieauguma lineārās raksturliķnes. Pieņem sekojošus noteikumus:

- tirgū konkurē četri dalībnieki: patērētājs un trīs elektrostacijas, divas no kurām nepieder valstij, un, kuras veidojot pieteikumu, vadās no maksimālās peļņas kritērija, bet trešā stacija ir sistēmas ģenerators un attēlo reālās pieteikuma izmaksu raksturliķnes;

- ekonomiskās raksturliķnes attēlojas ar otrās kārtas polinomu;

- netiek ievēroti enerģijas zudumi elektriskajā tīklā.

Ievērojot iepriekšpieņemtos nosacījumus, reālās stacijas izmaksu raksturliķnes, un patērētāju ienākumu raksturliķnes tiek izteiktas ar kvadrātisko funkciju polinomu:

$$C_i(P_i) = \alpha_i + \beta_i \cdot P_i + \gamma_i \cdot P_i^2, \quad i=1,2,$$

kur  $\beta_i$  un  $\gamma_i$  – parametri, kas attēlo stacijas izmaksu funkciju vai patērētāju ienākumus [4-6].

Nemainīgā izmaksu un ienākumu sastāvdaļa ( $\alpha_i$ ) netiek ievērota, tāpēc ka tā neietekmē līdzsvara cenu un optimālo slodzes sadali starp paralēli strādājošām iekārtām [2,7].

Jāatzīmē arī tas, ka augstāk apskatītā izteiksme ietver sevī izmaksu un jaudas sakarību, pareizāk būtu pierakstīt izmaksu un enerģijas sakarības. Bet, ja pieņem, ka jauda noteiktā laika intervālā nemainīsies, tad jaudu var uzskatīt kā vidējo enerģijas vērtību noteiktā laika intervālā, un tad  $C_i(P_i)$  ir jāattēlo kā izdevumus noteikta stundas laikā.

## II. MATEMĀTISKAIS MODELIS

Apskatīsim gadījumu, kad tirgū piedalās trīs elektrostacijas divas no kurām ir uzņēmumi, kas nepieder valstij. Piedaloties diviem valstij nepiederošiem uzņēmumiem, rodas konkurējošā vide ne tikai starp tiem, bet arī starp valstij piederošo uzņēmumu, sakara ar to patērētājs izvēlas elektroenerģiju pēc cenas izdevīguma kritērija.

Konkurences tirgū elektrostaciju parametri tiek aprakstīti ar kvadrātiskām izdevumu raksturliķnēm:

$$C_1(P_1) = \alpha_1 + \beta_1 \cdot P_1 + \gamma_1 \cdot P_1^2;$$

$$C_2(P_2) = \alpha_2 + \beta_2 \cdot P_2 + \gamma_2 \cdot P_2^2;$$

$$C_3(P_3) = \alpha_3 + \beta_3 \cdot P_3 + \gamma_3 \cdot P_3^2.$$

No maksimālās peļņas iegūšanas viedokļa pirmās divas valstij nepiederošās elektrostacijas izmaina cenas pieteikumus, mainot tajos iekļautos koeficientus  $\beta_i$  un  $\gamma_i$ . Savukārt trešā elektrostacija (sistēmas ģenerators) pārstāv valsts intereses un nemaina īstos parametrus. Pieņemsim, ka piemērā divām valstij nepiederošām elektrostacijām uzstādīti vienādi agregāti, ar vienādām jaudas vērtībām. Divām elektrostacijām (valsts nepiederošām) uzdoti vienādi parametri:  $\beta_1 = \beta_2 = 20$ ,  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0,01$ . Šajā piemērā trešajai elektrostacijai (valstij piederošajai) pieņemti sekojoši parametri:  $\beta_2 = 20$ ,  $\gamma_2 = 0,02$ .

Slodze tiek uzdots ar ienākuma raksturliķni:

$$C_{sl} = -0,08 \cdot P_{sl}^2 + 104 \cdot P_{sl}.$$

Nosakot līdzsvara cenu, kā mērķa funkciju izmanto elektroenerģijas ražotāju un patērētāju summāro ienākuma (labklājības) funkciju, kuru, ņemot vērā maksājumu bilanci, nosaka no vienādojuma:

$$C = C_{sl}(P_{sl}) - C_1(P_1) - C_2(P_2) - C_3(P_3),$$

kur  $C_i(P_i)$ ,  $i=1,2$  – elektroenerģijas ražošanas izmaksu raksturliņķnes;  $C_{sl}(P_{sl})$  – patērētāja ienākumu funkcija neievērojot elektroenerģijas izmaksas [2].

Diferencējot Langranža funkciju var noteikt līdzsvara cenu:

$$L = C_1(P_1) + C_2(P_2) + C_3(P_3) - C_{sl}(P_{sl}) - \lambda(P_1 + P_2 + P_3 - P_{sl}).$$

Tātad vienādojuma pārveidošana apraksta ražošanas relatīvo izmaksu pieauguma vienlīdzības kritēriju un patērētāju ienākumu.

Elektroenerģētikas tīrgū enerģijas cena ir izteikta saskaņā ar relatīvas peļņas pieauguma vienlīdzības kritēriju, (kur jaudas zudumi energosistēmā netiek ievēroti):

$$c^* = \lambda = \frac{\partial C_1}{\partial P_1} = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} = \frac{\partial C_3}{\partial P_3} = \frac{\partial C_{sl}}{\partial P_{sl}}. \quad (1)$$

Vienkāršotā nosacījumā, pieļaujamās vērtības daļa tiek ierobežota ar jaudas bilances nosacījumu (neievērojot zudumus elektriskajā tīklā un caurlaides spēju ierobežojumu):

$$P_1 + P_2 + P_3 = P_{sl}. \quad (2)$$

Ievietojot kvadrātisko izmaksu raksturlielumus (1) vienādojumā, iegūsim vienādojumu, kas raksturo līdzsvara cenu:

$$c^* = 2 \cdot P_1 \cdot \gamma_1 + \beta_1 = 2 \cdot P_2 \cdot \gamma_2 + \beta_2 = 2 \cdot P_3 \cdot \gamma_3 + \beta_3 = 2 \cdot P_{sl} \cdot \gamma_{sl} + \beta_{sl}. \quad (3)$$

Ja teorētiski sadalīsim slodzi, pēc uzdotiem datiem un pārrakstīsim (3) vienādojumu (pirmā elektrostacija nemaina parametrus), tad iegūsim:

$$c^* = 2 \cdot P_1 \cdot 0,01 + 20 = 2 \cdot P_2 \cdot 0,01 + 20 = 2 \cdot P_3 \cdot 0,02 + 20 = 2 \cdot P_{sl} \cdot (-0,08) + 104. \quad (4)$$

No (4) vienādojuma, ja visas elektrostacijas nemaina savus parametrus un slodze sadalīta vienmērīgi, tad:

$$c^* = 0,02 \cdot P_1 + 20 = 0,02 \cdot P_2 + 20 = 0,04 \cdot P_3 + 20 = -0,16 \cdot P_{sl} + 104 = 24.$$

Rezultātā iegūstam slodzi:  $P_{sl}=500$ ,  $P_1=200$ ,  $P_2=200$ ,  $P_3=100$ ,  $c^*=24$ .

Elektrostacijas ienākumu var aprēķināt pēc šāda vienādojuma:

$$R_i = P_i \cdot c^* - (\gamma_i \cdot P_i^2 + \beta_i \cdot P_i), \text{ kur } i=1, 2, 3. \quad (5)$$

Pie tam triju elektrostaciju ienākumi, pēc elektroenerģijas pārdošanas, raksturoties ar šādiem vienādojumiem:

$$\begin{aligned} R_1 &= P_1 \cdot c^* - (0,01 \cdot P_1^2 + 20 \cdot P_1) = 400; \\ R_2 &= P_2 \cdot c^* - (0,01 \cdot P_2^2 + 20 \cdot P_2) = 400; \\ R_3 &= P_3 \cdot c^* - (0,02 \cdot P_3^2 + 20 \cdot P_3) = 200. \end{aligned}$$

Mainot parametrus  $\gamma_1$ ,  $\beta_1$  (mainīgos  $\gamma_1^*$ ,  $\beta_1^*$ ), izmainās abu elektrostacijas noslodze. Līdz ar to izmainās ienākumi.

Tātad izskatīsim, kādai jābūt jaudas noslogošanai  $x$  komerciālajām elektrostacijām, lai tās varētu iegūt maksimālo peļņu.

Ņemot vērā sakarības (2), (3) un (5) nav grūti atrast pirmās elektrostacijas ienākumus, aprakstīto vienādojumu atrod kā

funkciju no elektrostacijas noslodzes (pieņemts tuvinājums, kā  $\beta_1^* = \beta_1$ ):

$$\begin{aligned} R_1(x_1, c^*) &= x_1 \cdot c^* - (\gamma_1 \cdot x_1^2 + \beta_1 \cdot x_1) = \\ &= x_1 (c^* - (\gamma_1 \cdot x_1 + \beta_1)). \end{aligned}$$

Ievērojot (3), pēdējo izteiksmi var pārrakstīt, šādā veidā:

$$R_1(x_1, \gamma_1^*, \beta_1^*) = x_1 (2 \cdot x_1 \cdot \gamma_1^* + \beta_1^* - (\gamma_1 \cdot x_1 + \beta_1)) = x_1^2 (2 \cdot \gamma_1^* - \gamma_1) \quad (6)$$

kur  $\gamma_1^*$ ,  $\beta_1^*$  - ir mainīgie parametri.

Šeit noslodze  $x_1$  un relatīvā pieauguma raksturliņķnes parametri  $\gamma_1^*$ ,  $\beta_1^*$  ir saistīti ar jaudas bilances (2) nosacījumu un vienlīdzības kritēriju pie optimāla slodzes sadalījuma (3). Savukārt, slodzes lielums ir atkarīgs no izolē pieteiktiem relatīvā pieauguma raksturliņķnes parametriem. Saskaņā ar (2) un (3):

$$2 \cdot \gamma_3 \cdot (P_{sl} - (x_1 + x_2)) + \beta_3 = 2 \cdot \gamma_1^* \cdot x_1 + \beta_1^*.$$

Tā kā noslodze abām stacijām ir vienāda ( $x_1 = x_2 = x$ ), tad iepriekšējo vienādojumu var vienkāršot.

No iepriekšējā vienādojuma pēc vienlīdzības kritērija var noteikt relatīvā pieauguma slodzi:

$$\begin{aligned} P_{sl} &= \frac{2 \cdot \gamma_1^* \cdot x + 4 \cdot \gamma_3 \cdot x + \beta_1^* - \beta_3}{2 \cdot \gamma_3} = \\ &= \frac{2 \cdot x (\gamma_1^* + 2 \cdot \gamma_3) + \beta_1^* - \beta_3}{2 \cdot \gamma_3}. \end{aligned} \quad (7)$$

Ja teorētiski pieņem, ka relatīvā pieauguma raksturīgie parametri ir:  $\beta_1^* = \beta_1$ ,  $\gamma_1^* = \gamma_1$ , un pieņemot katrai stacijai noslodzi vienādu, tad var izteikt noslodzi:

$$P_{sl} = 3 \cdot x \Rightarrow x = \frac{P_{sl}}{3}.$$

Relatīvā pieauguma raksturliņķnes pirmajai elektrostacijai un slodzes vienlīdzības kritērijs dod iespēju uzrakstīt nākamo vienādojumu:

$$2 \cdot \gamma_1^* \cdot x + \beta_1^* = 2 \cdot \gamma_{sl} \cdot \left( \frac{2 \cdot (\gamma_1^* + 2 \cdot \gamma_3) \cdot x + \beta_1^* - \beta_3}{2 \cdot \gamma_3} \right) + \beta_{sl}.$$

Pēc dažiem iepriekšējā vienādojuma pārveidojumiem iegūstam  $x_f=x$  parametru, kuru pārrakstam ar sistēmas raksturlielumu un slodzes parametru palīdzību:

$$x = \frac{(\gamma_{sl} \cdot (\beta_1^* - \beta_3) - \gamma_3 \cdot (\beta_1^* - \beta_{sl}))}{2 \cdot [\gamma_1^* (\gamma_3 - \gamma_{sl}) - 2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_{sl}]}. \quad (8)$$

Apskatīsim optimālo stratēģiju, regulējot tikai vienu parametru  $\gamma_1^*$ , kur ( $\gamma_1^* = \gamma_1$ ). Saskaņā ar (6), (8) valstij nepiederošās elektrostacijas ienākumi ir vienādi:

$$\begin{aligned} R_1(\gamma_1^*) &= \left( \frac{(\gamma_{sl} \cdot (\beta_1^* - \beta_3) - \gamma_3 \cdot (\beta_1^* - \beta_{sl}))}{2 \cdot [\gamma_1^* (\gamma_3 - \gamma_{sl}) - 2 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_{sl}]} \right)^2 \times \\ &\quad \times (2 \cdot \gamma_1^* - \gamma_1) \end{aligned}$$

Diferencējot  $R_1(\gamma_1^*)$  pēc  $\gamma_1^*$ , un, pielīdzinot šo atvasinājumu nullei, iegūstam:

$$\gamma_{1opt}^* = \gamma_1 - \left( \frac{2 \cdot \gamma_{sl} \cdot \gamma_3}{\gamma_3 - \gamma_{sl}} \right). \quad (9)$$

Tā kā  $\gamma_{sl} < 0$ , tad par optimālo stratēģiju valstij nepiederošai elektrostacijai var uzskatīt  $\gamma_1$  koeficienta palielinājumu.

Ievietojot (9) vienādojumā (8), saskaņā ar optimālo stratēģiju, iegūstam valstij nepiederošās elektrostacijas noslodzi aprakstošo izteiksmi:

$$x = \frac{\gamma_{sl} \cdot (\beta_1^* - \beta_3) - \gamma_3 \cdot (\beta_1^* - \beta_{sl})}{2 \cdot [\gamma_1 \cdot (\gamma_3 - \gamma_{sl}) - 4 \cdot \gamma_3 \cdot \gamma_{sl}]}. \quad (10)$$

Saskaņā ar vienlīdzības kritēriju ir iespējams aprēķināt elektroenerģijas cenu:

$$c^* = 2 \cdot \left( \gamma_1 - \frac{2 \cdot \gamma_{sl} \cdot \gamma_3}{\gamma_3 - \gamma_{sl}} \right) \cdot x + \beta_1.$$

Kā arī valsts elektrostacijas jaudu un slodzi:

$$P_3 = \frac{c^* - \beta_3}{2 \cdot \gamma_3}; \quad P_{sl} = \frac{c^* - \beta_{sl}}{2 \cdot \gamma_{sl}}. \quad (11)$$

Visi dati tiek doti relatīvajās vienībās. Apskatītajā piemērā, kur parametri  $\gamma_2, \gamma_{sl}, \beta_1, \beta_2, \beta_{sl}$  ir nemainīgi, iegūstam  $\gamma_1^* = 0,042$  (gandrīz divreiz lielāks, nekā teorētiskais lielums);  $x = 113,51$ ,  $c^* = 29,35$ ;  $P_2 = 233,775$ ,  $P_{sl} = 466,56$ . Stacijas ienākumi ir:  $R_1 = 952,9$ ,  $R_2 = 1093,015$ .

Šādā veidā, valstij nepiederošā elektrostacija, paaugstinot elektroenerģijas cenu, samazina savu enerģijas ražošanu un palielina savus ienākumus par aptuveni 550 vienībām. Valstij piederošās elektrostacijas, ienākumi arī palielinās un tie palielinās pat vairāk nekā valstij nepiederošai elektrostacijai (800 vien.). No augstākminētā seko, ka gan valstij nepiederošie, gan valstij piederošie enerģētiskie uzņēmumi ir ieinteresēti attīstīt elektroenerģijas konkurences attiecības.

Vienīgais, kurš zaudē ir patērētājs, tāpēc ka palielinoties cenai, viņa ienākumu samazinājums ir pat lielāks, nekā summārais ražotāju ienākumu palielinājums. Samazinās arī tā saucamā labklājības funkcija (patērētāju un ražotāju summārais ekonomiskais efekts).

Aprēķinu rezultāti apkopoti 1. tabulā

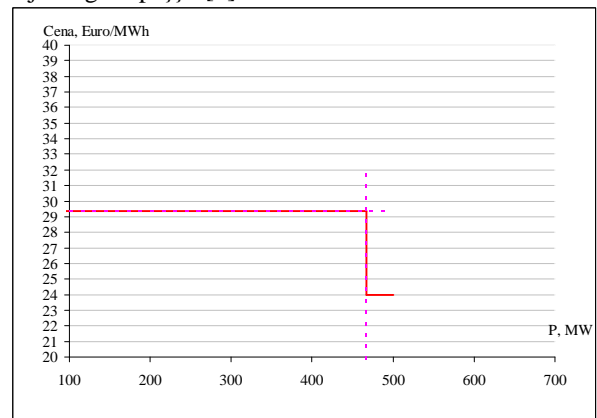
1. TABULA

UZDEVUMA DATU APKOPOJUMS

Elektrostaciju tipi	$P_{teor}, MW$	$c^*_{teor}, Euro/MWh$	$P_{konkurences}, MW$	$c^*, Euro/MWh$
1 (komerciālā)	200	24	116,39	29,351
2 (komerciālā)	200	24	116,39	29,351
3 (cena atbilst reālajai)	100	24	233,775	29,351

1. attēlā parādīts, kā mainās pieprasījuma raksturlīkne, mainoties elektroenerģijas cenai. Pēc aprēķinātajiem datiem redzam, ka stacijas līdzsvara cena pieauga, tas ir 29,351 €/MWh, līdz ar to patērētājs nevar sevi pilnīgi nodrošināt ar nepieciešamo elektrību, jo trūkst naudas. Tādēļ var secināt, kā konkurences tirgus dažos gadījumos palielina cenu

patērētājiem, kam ir negatīva ietekme. Mūsu gadījumā, nevar attēlot piedāvājuma raksturlīkni, jo ģeneratoriem pēc sākumā uzstādītājiem un aprēķinātajiem datiem, līkne būs taisne. Tomēr ir skaidri saprotams, kā cenas pieaugums palielina stacijas iegūto peļņu [5].



1. att. Līdzsvara cenas iegūšana no iegūtiem rezultātiem

### III. VALSTIJ NEPIEDEROŠĀS ELEKTROSTACIJAS CENAS PIETEIKUMI

Lai gūtu maksimālo peļņu pirmajai elektrostacijai savā cenas pieteikumā ir jāuzrāda tāda jauda, lai atbilstošais relatīvais pieaugums būtu vienāds ar sagaidāmo cenu  $c(P) = c^* = 30$ . Protams, pirmā elektrostacija nezina elektroenerģijas tirgus cenu. Līdz ar to optimālo rezultātu var noteikt tikai mainot parametrus pēc kārtas.

Lai veidotu cenu pieteikumus, jāzina kādas ir relatīvā pieauguma raksturīgo parametru robežvērtības patērētājiem un valsts enerģētiskajiem uzņēmumiem. Līdz ar to (11) vienādojuma nosacījums varētu būt galvenais, lai novērtētu stacijas noslodzes vērtību:

$$x = \frac{c^* - \beta_1}{2 \cdot \left( \gamma_1 - \frac{2 \cdot \gamma_{sl} \cdot \gamma_3}{\gamma_3 - \gamma_{sl}} \right)}$$

Gadījumā, ja elektroenerģijas cena izsoles rezultātā tiks uzstādīta noteiktā līmeni, piemēram, 25 vien., bet relatīvā pieauguma raksturīgie parametri ir zināmi (doti tādi paši, kā sākumā nosacījumā), tad:

$$x = \frac{25 - 20}{2 \cdot \left( 0,01 + \frac{2 \cdot 0,08 \cdot 0,02}{0,02 + 0,08} \right)} = 59,524$$

Lai iegūtu šādu jaudu, ir jāparāda robežvērtības relatīvajam pieaugumam:

$$\gamma_1^* = \frac{c^* - \beta_1}{2 \cdot x} = \frac{25 - 20}{2 \cdot 59,524} \approx 0,042$$

Interesanti atzīmēt to, ka neskatoties uz samazināto cenas līmeni (25 attiecībā pret 29,351), optimālais robežvērtības novērtējums gandrīz neizmainās.

Patērētāju nezināmo parametru novērtējums var būt izdarīts bāzējoties uz izsoles bāzes diviem laika momentiem ar dažādām slodzēm. Cenas un slodzes jaudas informācija tiek uzskatīta par zināmu, (cenas vienlīdzības kritērijs un relatīvais pieaugums). Atrisinot divus nelineārus vienādojumus ar diviem nezināmajiem, var noteikt nezināmos slodzes parametrus.

Analoģiski var aprēķināt relatīvā pieauguma raksturīgos parametrus valstij piederošajai elektrostacijai, tāpēc ka slodzi var noteikt kā slodzes jaudas starpību ar valstij nepiederošo elektrostaciju, bet cena ir vienāda visiem trim tirgus dalībniekiem.

Peļņas gūšanas efektivitātes palielinājumu var iegūt ne tikai palielinot relatīvā pieauguma robežvērtību, bet arī mainot parametru  $\beta^*1$  un pieteikto maksimālās jaudas vērtību. Visi atzīmētie pieteikumi noved pie cenas celšanās, kas savukārt noved pie elektroenerģijas ražotāja peļņas palielināšanās (2. tab.).

2. TABULA

PEĻŅAS PALIEĻINĀŠANĀS ATKARĪBĀ NO PARAMETRU IEROBEŽOJUMIEM

$\gamma^*_1, \gamma^*_2$	$\beta^*_1, \beta^*_2$	$P_1, P_2$	$P_3$	$R_1, R_2$	$R_3$	$c^*$	Piezīmes
0,01	20	200	100	400	200	24	Teorētiskie
0,042	20	116,3 9	233,7 8	952,9	1093	29,35	$R_1$ izmainās
0,01	20	116,3 9	233,7 8	952,9	1093	29,35	$P$ ierobežojums
0,01	27	66,22	314,0 5	324,4 6	1962, 732	32,56	Izmainās $\beta^*_1$

Pirmās elektrostācijas peļņas izmaiņas rezultāti tiek attēloti 3. tabulā. Kā redzams no tabulas, palielinot izmaksas parametrus palielinās stacijas ienākumi, noteiktam gadījumam. Līknei ir paraboliska forma.

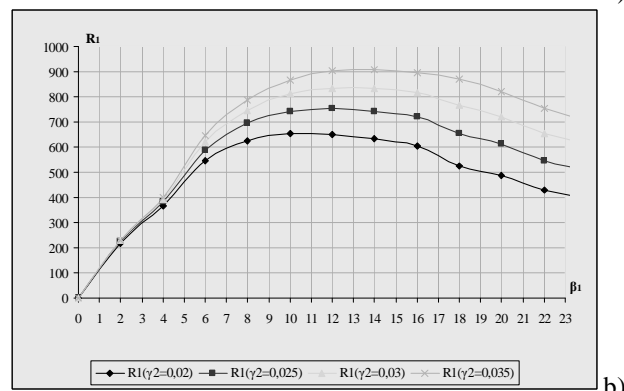
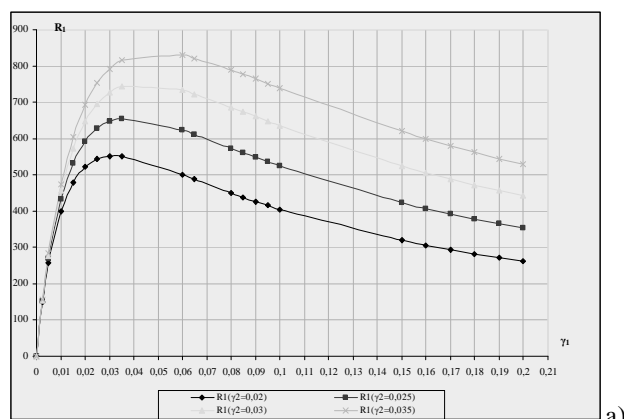
3. TABULA

PIRMĀS ELEKTROSTACIJAS PEĻŅAS IZMAIŅA, MAINOTIES  $\gamma^*_1$  UN  $\beta^*_1$  PARAMETRIEM

$\gamma^*_1$	$\beta^*_1$	$R_1(\gamma^*_2=0,02)$	$R_1(\gamma^*_2=0,025)$	$R_1(\gamma^*_2=0,03)$	$R_1(\gamma^*_2=0,035)$
0	0	0	0	0	0
0,0025	2	148,204159	151,70148	154,10226	155,852
0,005	4	257,706355	269,22255	277,3343	283,3549
0,01	6	400	432,31056	456,0758	474,2716
0,015	8	479,130828	532,083895	572,4175	604,1026
0,02	10	521,893491	592,58264	648	692,4852
0,025	12	542,936288	627,98149	696,28525	752,1341
0,03	14	550,676379	646,97540	725,92593	791,5143
0,035	16	550,144798	655,07326	742,63758	816,39669
0,06	18	500,189036	623,52719	732,96399	829,7856
0,065	20	487,448188	611,55588	722,63441	821,60795
0,08	22	450	573,62123	686,678201	789,2257
0,085	24	438,132807	560,9659	673,9802	777,00416
0,09	26	426,6595	548,49988	661,22449	764,46183
0,095	28	415,599231	536,28861	648,5224	751,75329

3. TABULAS TURPINĀJUMS

0,1	30	404,958678	524,37574	635,95578	738,99661
0,15	32	319,526627	423,97052	524,89585	620,80259
0,16	34	306,25	407,72929	506,25	600,25
0,17	36	293,971179	392,57681	488,71345	580,77456
0,18	38	282,59167	378,42528	472,21892	562,33573
0,19	40	272,023375	365,1919	456,69730	544,8834
0,2	42	262,187872	352,8	442,08064	528,36325



2. att. Pirmās elektrostācijas peļņas izmaiņa atkarībā a) no  $\gamma^*_1$  un  $\gamma^*_2$  parametriem, b) no  $\beta^*_1$  un  $\gamma^*_2$  parametriem

Piemērs apraksta to, ka valstij nepiederošais enerģētiskais uzņēmums maina savus izdevumu parametrus, lai iegūtu maksimāli iespējamo peļņu. Parasti izskata tādus matemātiskus modeļus, kuros pieņemts, ka relatīvā pieauguma parametri nav zināmi, šādos gadījumos par optimālo stratēģiju uzskata „bez mērīšanas vadības enerģosistēmu”.

Šādā gadījumā, ja izmaina elektrostācijas slodzi, tad izmainās sistēmas relatīvais pieaugums, līdz ar to izmainās arī elektroenerģijas cena. Galvenais ir cenas palielinājums, kas dod lielāku peļņas ieguvumu. Viena no iespējamajām sasniegt šo mērķi ir elektroenerģijas ražošanas samazinājums. Līdz ar to valstij piederošajām elektrostacijām ir jāpalielina savu ražošanas apjomus, bet šāds palielinājums ietekmē relatīvo pieaugumu, šie parametri palielinās un līdz ar to palielinās elektroenerģijas cena. 2. attēlā ir parādīta ienākuma atkarība, valsts nepiederošai elektrostacijai, no  $\gamma_1$  parametra pie dažādām  $\gamma_2$  parametra vērtībām. Peļņai ir skaidri redzams maksimums, kad  $\gamma_2$  parametrs ir vislielākais.

Saskaņā ar (2) elektroenerģijas cena tirgū ir izteikta proporcionāli  $\gamma_1$ , bet sistēma ir līdzīga rakstura  $P_1(\gamma_1)$ , vienlīdzības cenas atkarībai no parametra  $\gamma_1$  ir nenoteikts raksturs. Pie tam, parasti, robežlielums tiek noteikts ar valstij piederošajai elektrostacijai ekonomiski raksturīgajiem parametriem. No tā izriet, ka optimālā stratēģija no ekonomiskuma viedokļa ir saglabāt valsts īpašumā elektrostacijas, kas dod maksimālo peļņu un stabilizēt elektroenerģijas cenu konkurences tirgū enerģētikā [3].

#### IV. RELATĪVĀ JAUDA ĢENERĒJOŠĀS ENERGOKOMPĀNIJAS KOMERCIĀLAI DAĻAI

Var iedomāties situāciju, kad tirgus stratēģija valsts nepiederošai elektrostacijai lielā mērā būs atkarīga no elektrostacijas lieluma vai nozīmes. Lai pētītu šo parādību, tika apskatīts apvienotas energosistēmas gadījums. Energosistēma sastāv no  $n+1$  paralēli strādājošām (ar vienādām ekonomiskajām raksturlīknēm) elektrostacijām, pie tam  $n$  no tām pieder valstij. Analīze parāda, kā pie relatīvi lielām valstij piederošo elektrostaciju jaudām, valsts nepiederošām elektrostacijām ir izdevīgi mainīt savus pieauguma parametrus (vadīt biznesu ar „manīšanās”).

#### V. PILNĪGI KOMERCIĀLA APVIENOTA ENERGO SISTĒMA

Šajā gadījumā energosistēma sastāv no divām sistēmām, pie tam abi ir valstij nepiederoši un to uzvedība bāzējas uz optimālo peļņas gūšanas faktoru. Aprēķinu rezultāti ir parādīti 4. tabulā, kur stratēģija „1” ir „bez mānīšanas”, bet „2” – konkurences tirgus stratēģija.

4. TABULA

DIVU STRATĒGIJU APKOPOTIE DATI

Stratēģija	$\gamma_{1opt}$	$\gamma_{2opt}$	$P_1, P_2$	$P_3$	$R_1, R_2$	$R_3$	$c^*$
1	0,01	0,01	200	100	400	200	24
2	0,042	0,042	116,39	233,78	952,9	1093	29,35

Ir skaidri redzams, ka izsoles rezultātā, pēc noteikta slodzes raksturīgo parametru skaita izmaiņām, kurus apskata izolē, tirgus līdzsvarojas,  $\gamma_1 = \gamma_2$ , un šie parametri ir lielāki nekā patiesie parametri. Līdz ar to elektroenerģijas cena palielinās gandrīz par 20%.

#### VI. SECINĀJUMI

1. Konkurences tirgus aspekti elektroenerģētikā neizbēgami paaugstinās patērētājiem cenu par elektroenerģiju;
2. Komerציālā ražotāja optimālā stratēģija ir tā, pie kuras parametri ir palielināti, kas apraksta izmaksu raksturlīknes;
3. Pie relatīvi lielām valstij piederošo staciju jaudas, valstij nepiederošai elektrostacijai ir izdevīgi parādīt patieso izmaksu

raksturīgos parametrus, no maksimālās peļņas gūšanas viedokļa.

#### LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Ерохин П.М., Обоскалов В.П. *Ценовые заявки на конкурентном рынке электрической энергии*. – Вестник УГТУ-УПИ «Энергосистема: управление, качество, конкуренция», 2004, №12 (42) (Екатеренбург).
- [2] Обоскалов В.П., Черных Ф.Ю. *Стратегия производителя при формировании ценовой заявки в условиях конкурентного рынка электроэнергии*. – «Электричество», 2008, №7 (Екатеренбург).
- [3] Makkonen S., Lahdelma R. *Analysis of Power Pools in the Deregulated Energy Market through Simulation* // Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1999.
- [4] Motto A.L., Galiana F.D., Conej A.J., Arroy J.M. *Network-constrained multiperiod auction for a pool-based electricity market*. – IEEE Trans. Power Systems, Aug. 2002, vol. 17.
- [5] Mohammadi M., Gharehpetian G.B. *Modelling the Strategic Bidding in Competitive Electricity Markets Based on Fuzzy Logic* // Electrical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2007.
- [6] Ross Baldick, *Electricity Market Equilibrium Models: The Effect of Parameterization* - IEEE Trans. Power Systems. Vol. 17.pp. 1170-1176. Nov.2002.
- [7] Zimmerman R.D., Bernard J.C., Thomas R.J., Schylze W. *Energy Auctions and Market Power: An Experimental Examination* // Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1999.



**Anatoly Mahnitko** graduated from Mechanics and Mathematics Faculty of Kiev State University. In 1972 received scientific degree of technical sciences (Dr.Sc.Eng.) in the Riga Technical University. He has been working in RTU from 1972 as a senior lecturer, assistant, Associate Professor and Professor of Power Engineering Institute. His research interests include Electrical Power System mathematical simulation and optimization.  
Address: Kronvalda blv., 1, LV-1010, Riga, Latvia  
Phone: +371 67089938,  
E-mail: mahno@eef.rtu.lv



**Renata Varfolomejeva** received B.Sc. and M.Sc. degrees in electrical engineering from the Riga Technical University, Riga, Latvia, in 2007 and 2009, respectively. She is an PhD student at Riga Technical University, Power Engineering Institute, Riga, Latvia. Now she is working at the research of energy market optimization.  
E-mail: renata.varfolomejeva@inbox.lv

**Anatoly Mahnitko, Renata Varfolomeyeva. The power producer behaviour strategy in the competitive electrical market.**

Electricity prices are set by the marginal costs of production and electricity consumption to consumers. Each producer has set a lower power price below which they would not sell electricity. By contrast, each customer has a top of power price, above which for them are not profitable to buy and consume electricity. Basically, then is normal circumstance, when is sufficient competition in the electricity market the price describes the low price of expensive power station. Another way, then are capacity deficits situation and where competition is weak, the price of electricity characterizing consumers buying ability. So if the station is the actual energy producer, its production volume increasing will increase total power station's profit. But, if the power station is working as an independent producer, the production minimization will increase incomes and the equilibrium price.

**Анатолий Махнитко, Рената Варфоломеева. Стратегия поведения производителя электроэнергии в условиях конкурентного рынка.**

Цены на электроэнергию устанавливаются предельными издержками производства и выгодой потребителя потреблять электроэнергию. У каждого производителя есть допустимая наименьшая цена мощности, ниже которой он не будет продавать электроэнергию. В отличие от этого, каждый клиент имеет наибольшую цену, выше которой ему не выгодно покупать и потреблять электроэнергию. В основном, в нормальных условиях, когда присутствует достаточная конкуренция цена рынка электроэнергии описывает допустимую цену дорогих станций, которые находятся в работе системы. С другой стороны, в условиях дефицита мощности, когда присутствует условие слабой конкуренции, цена на электроэнергию характеризует покупающую способность потребителя и его допустимую цену.

Так что, если станция является непосредственным производителем энергии, увеличение объема производства приведет к увеличению общей прибыли. Но если станция работает как независимый производитель, сокращение производства обусловливается ростом доходов и повышением равновесной цены.