

# Garo turbinos dinaminio modelio identifikavimas pagal eksperimento duomenis

**Almantas Bandza,**  
**Albertas Nargėlas**

*Kauno technologijos universitetas,  
Elektros sistemų katedra,  
Studentų g. 48,  
LT-51367 Kaunas*

Apžvelgiami identifikavimo metodai ir garo turbinų dinaminio matematinio modelių sudarymo būdai. Pateikta elektros energetikos sistemos objektų matematinio modelių identifikavimui taikomų diskretinių modelių apžvalga. Pasiūlyta garo turbinos dinaminio matematinio modelio parametrų nustatymo naudojant eksperimento duomenis metodika. Nustatyta, kad modeliuojant pagal siūlomą identifikavimo algoritmą, garo turbinos matematinio modelio parametrams nustatyti tinkamiausias Boks–Jenkins diskretinis modelis.

**Raktažodžiai:** identifikavimas, garo turbina, matematinis modelis, pasyvusis eksperimentas

## 1. ĮVADAS

Restruktūrizuojant elektros energetikos sistemas (EES) svarstoma, kokia gali būti elektros gamybos, perdavimo ir paskirstymo atskyrimo nauda bei pasekmės, ieškoma alternatyvių finansavimo, teisinio reguliavimo ir operatyvinio valdymo sprendimų. Vienas svarbiausių restruktūrizavimo tikslų – sukurti konkurenciją tarp generavimo šaltinių ir kartu išlaikyti EES vientisumą bei patikimą darbą.

Nauji restruktūrizuotos EES darbo tikslai keičia įprastinius valdymo algoritmus. Padidėja valdymo paslaugų vaidmuo, nes daugeliu atvejų jos tampa lemiamu energijos prekybos kontraktų sudarymo veiksniumi. Restruktūrizacija ir elektros rinka yra dezintegraciniai veiksniai, galintys pakenkti EES vientisumui. Geras automatinis valdymas įgalina pristabdyti dezintegraciją ir sudaro sąlygas panaudoti visus EES pranašumus. Todėl sprendžiant restruktūrizuotų EES automatinio dažnio ir aktyviosios galios reguliavimo uždavinius, ypač daug dėmesio skiriama elektrinių agregatų valdymui.

Šiam tikslui reikalingi agregatų dinaminiai modeliai. Juos sudarant būtina:

- išnagrinėti modeliuojamo objekto savybes, kuriomis remiantis sudaromos objekto būklę aprašančios lygtys;
- atlikti eksperimentus ir pagal užfiksuotus įėjimo bei išėjimo dydžius tirti eksperimento metu gautas charakteristikas taikant parametrinę identifikaciją.

Praktikoje objekto charakteristikos dažnai identifikuojamos pagal aktyviųjų arba pasyviųjų eksperimentų duomenis. Tyrinėjant EES generavimo agregatų darbą realiomis darbo sąlygomis, aktyvūs eksperimentai būna brangūs ir pavojingi, nes gali sutrikdyti visos EES

darbą. Realios elektros energetikos sistemų galios generavimo agregatų darbui tirti naudotinas pasyvusis eksperimentas. Jų metu gaunama informacija apie nagrinėjamo objekto charakteristikas dirbant normaliu eksploatacijos režimu. Nors pasyviojo eksperimento scenarijus nėra tikslus ir efektyvus, jis pakankamas užsibrėžtam uždaviniui spręsti.

Iki šiol EES pagrindinių agregatų modelių duomenys Lietuvoje nebuvo kaupiami ir tikrinami praktiškai.

## 2. IDENTIFIKAVIMO METODŲ ANALIZĖ

Sprendžiant identifikavimo uždavinius, eksperimentiniai duomenys apdorojami sukaupus tam tikrą kiekį informacijos, o tik po to taikomos identifikavimo procedūros (neadaptuoti identifikavimo metodai) arba tiesiogiai apdorojama gaunama matavimo informacija, tikslinant identifikuojamo objekto parametrus (adaptuoti identifikavimo metodai) [1].

Geriausias rezultatas pasiekiamas kartu taikant teorinius ir eksperimentinius metodus. Eksperimentų rezultatai leidžia suprastinti objekto matematinį aprašymą, o išankstinės teorinės prielaidos palengvina matavimus. Nė vienas matematinio modelio identifikavimo metodas nėra pakankamai universalus. Atsižvelgiant į konkretaus objekto ypatumus, parenkamas jam adekvatus modelio identifikavimo algoritmas [2].

Eksploatacijos metu objekto (pvz., garo turbinų) dinaminės charakteristikos dėl įvairių priežasčių gali pasikeisti (mechaninių laisvumų atsiradimas, mechaniniai pažeidimai). Todėl atsiranda būtinybė identifikuoti objektą, t. y. surasti matematinį modelį, kuris būtų identiškasis valdomam objektui kiekvienu

jo darbo momentu. Remiantis matematinio modeliu nustatomi reguliavimo parametrai tam tikram intervalui.

Diskretinių identifikavimo metodų privalumas yra galimybė lengvai identifikuoti dinamines sistemas, kurių išėjimo kintamieji turi atsitiktinę triukšmo dedamąją [2, 3]. Tačiau identifikuoto objekto diskretinio modelio parametrai neturi fizikinės prasmės. Šio trūkumo neturi tolydaus laiko modeliai [4–6]. Tolydžių matematinių modelių parametrai nusako pagrindines objekto fizikines charakteristikas (laiko pastoviosios, stiprinimo koeficientai). Tokių tiesinių modelių identifikavimo algoritmų pagrindą sudaro tiriamų procesų išvestinės. Išvestinių skaičiavimuose neišvengiama nemažų paklaidų, kai proceso duomenys, be pagrindinio signalo, turi ir atsitiktinę dedamąją. Vienas būdų nepageidaujamiems triukšmams pašalinti yra išmatuotų verčių filtravimas.

Diskretiniai identifikavimo metodai pagrįsti mažiausių kvadratų metodu, kuris reikalauja, kad įėjimo dydis (ar dydžiai) būtų matuojamas visiškai tiksliai, t. y. įėjimo signalas negali turėti triukšmo dedamosios. Atvejį, kai matuojami įėjimo ir išėjimo signalai turi atsitiktinę triukšmo dedamąją, nagrinėja konfliuentinė analizė. Ši analizė remiasi stochastinių sistemų analizės metodais, kai pradiniai procesai kinta atsitiktinai pagal žinomą arba numanomą pasiskirstymo dėsnį. Toks parametru aprašymas išsamiausiai apibūdina realias sistemas [7].

### 3. GARO TURBINOS DINAMINIO MODELIO IDENTIFIKAVIMO ALGORITMAS

Identifikuojant objekto matematinį modelį, aprašančią įėjimo ir išėjimo signalų ryšį, svarbiausia yra nustatyti modelio parametru vektoriu  $\Theta$  ir patikrinti, ar gautas modelis atitinka realią sistemą.

Šiame darbe siūlomas naujas turbinos matematinio modelio identifikavimo algoritmas, pagal kurį procesai identifikuojami pagal eksperimento duomenis, taikant diskretinius identifikavimo metodus, o gauti modelio daugianariai  $A(z, a)$ ,  $B(z, b)$  transformuojami į tolydaus laiko modelio daugianarius  $A(s, a)$ ,  $B(s, b)$ :

$$\{A(z, a), B(z, b)\} = G(z, a, b) = G(z, \Theta_g) \rightarrow \\ \rightarrow W(s, \hat{\Theta}_g) W(s, \hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \{A(s, \hat{\alpha}), B(s, \hat{\beta})\}; \quad (1)$$

čia  $\Theta_g$  – diskretinio laiko matematinio modelio parametru vektorius.

Naudojant šį identifikavimo algoritmą surandamos tolydaus laiko modelio koeficientu vektoriaus  $\hat{\Theta}_g$  vertės, artimiausios realios turbinos modelio daugianariu koeficientu vektoriaus  $\Theta_0 = \{\alpha_{00}, \alpha_{01}, \dots, \alpha_{0n}, 1, \beta_{01}, \beta_{02}, \dots, \beta_{0m}\}$  vertėms. Atliekant diskretinį identifikavimą, naudojama iš anksto pasirinkta dis-

kretnio matematinio modelio struktūra. Keičiant pasirinkto diskretinio laiko modelio pagrindinės ir paklaidos perdavimo funkcijų daugianariu laipsnius nuo 0 iki  $k$ , kai  $k = (0, 1, 2, \dots)$ , pagal tiriamo objekto įėjimo ir išėjimo duomenis sudaroma identifikuojamų modelių aibė:

$$\bar{M}(q) \in \{M_1(q), M_2(q), \dots, M_i(q), \dots, M_n(q)\}, \quad (2)$$

$$\text{kai } M_i(q) = \{G_i(q, \hat{\Theta}_g), h_i(q, \hat{\Theta}_h)\};$$

čia  $\hat{\Theta}_g$  – diskretinio modelio pagrindinės perdavimo funkcijos daugianariu koeficientu vektorius:

$$\hat{\Theta}_g = \{\hat{a}_0, \hat{a}_j, \dots, \hat{a}_n, \hat{b}_0, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_h\}. \quad (3)$$

(3) lygtyje  $j$  ir  $h$  – diskretinio modelio pagrindinės perdavimo funkcijos daugianariu eilės numeriai.

Kiekviena aibės (2) pasirinkto diskretinio modelio pagrindinė perdavimo funkcija  $G_i(q, \hat{\Theta}_g)$  transformuojama į tolydinio laiko modelio perdavimo funkciją  $\hat{W}(s, \hat{\Theta})$ , kai  $\hat{\Theta} = \{\hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_n, \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m\}$ .

Identifikavimo rezultatai įvertinami tolydinio laiko funkcija  $X(s)$  ir  $X(z)$  ryšys operatorių  $s$  ir  $z$  užrašomas taip:

$$s \cong \frac{2}{T_0} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}. \quad (4)$$

Pažymėtina, kad tiesinės priklausomybės tarp  $G(z, a, b)$  ir  $W(s, \alpha, \beta)$  nėra. Kartais  $G(z, \Theta_g)$  funkcijos daugianarius transformavus į tolydinio laiko funkcijos  $W(s, \alpha, \beta)$  daugianarius, jų laipsniai gali skirtis.

Į identifikuotą analoginį modelį  $\hat{W}(s, \hat{\Theta})$  padavus tokį patį įėjimo signalą (pvz., turbinos reguliavimo vožtuvo santykinės eigos pokytį), kaip ir į diskretinį modelį, išėjime gaunamas modeliuojamas signalas  $\hat{y}(t)$ . Gavus naują modeliavimo rezultatą  $\hat{y}(t)$  reikia nustatyti, kaip jis atitinka išmatuotą išėjimo signalą  $y(t)$ . Surandami procesų  $y(t)$  ir  $\hat{y}(t)$  tarpusavio koreliacijos bei jų mažiausių kvadratų nuokrypio koeficientai:

$$R = \text{corr}(y(t), \hat{y}(t)) \rightarrow 1; \quad (5)$$

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} (y(t+i) - \hat{y}(t+i))^2 \rightarrow 0. \quad (6)$$

Transformavus visus diskretinių modelių aibės  $\bar{M}(q)$  narius į juos atitinkančius analoginius modelius, gaunama tolydaus laiko modelių aibė

$$M(s) \in \left\{ \hat{W}_1(s, \hat{\Theta}) \Big|_{M(q_1)}, \hat{W}_2(s, \hat{\Theta}) \Big|_{M(q_2)}, \dots, \hat{W}_n(s, \hat{\Theta}) \Big|_{M(q_n)} \right\} \quad (7)$$

ir jos modeliuojamų išėjimo signalu įvertinimo koeficientu aibės

$$\Omega = \{R(\hat{W}_1(s, \hat{\Theta})), R(\hat{W}_2(s, \hat{\Theta})), \dots, R(\hat{W}_n(s, \hat{\Theta}))\}; \quad (8)$$

$$\Sigma = \{S(\hat{W}_1(s, \hat{\Theta})), S(\hat{W}_2(s, \hat{\Theta})), \dots, S(\hat{W}_n(s, \hat{\Theta}))\}. \quad (9)$$

Minimizavus mažiausių kvadratų nuokrypio koeficientų aibę, surandamas toks analoginis matematinis modelis, kurį paveikus įėjimo signalu gaunamos mažiausios paklaidos tarp išmatuoto ir modeliuoto signalų:

$$\Sigma \rightarrow \min \rightarrow \hat{W}(s, \hat{\Theta}). \quad (10)$$

Taip identifikuojami turbinos analoginio modelio daugianarių koeficientai:

$$\hat{\Theta} = \{\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_n, \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m\}. \quad (11)$$

#### 4. DISKRETINIO MODELIO STRUKTŪROS PARINKIMAS

Svarbu išsiaiškinti, ar galima diskretiniais identifikavimo metodais norimu tikslumu nustatyti tiriamo objekto matematinio modelio parametrus, kai visi matuojami procesai yra veikiami triukšmų. Parenkant diskretinį modelį sudaromos trys artumo sąlygos, pagal kurias įvertinamas jo atitikimas bandomam objektui.

Pirma artumo sąlyga užrašoma taip:

$$\begin{cases} R = \text{corr}(y(t), \hat{y}(t)) \rightarrow 1 \\ S = \sum_{i=0}^{n-1} (y(t+1) - \hat{y}(t+i))^2 \rightarrow 0; \end{cases} \quad (12)$$

čia  $y(t)$  – žinomas išėjimo signalas;  $\hat{y}(t)$  – modeliuojamas išėjimo signalas pagal identifikuatą perdavimo funkciją  $\hat{W}(s, \hat{\Theta})$ , kai žinomas įėjimo signalas  $u(t)$ ;  $R, S$ , – procesų  $y(t)$  ir  $\hat{y}(t)$  tarpusavio koreliacijos bei mažiausių kvadratų nuokrypio koeficientai.

Pagal antrą artumo sąlygą gautos perdavimo funkcijos  $\hat{W}(s, \hat{\Theta})$ , daugianarių laipsnis  $\hat{d}$  turi būti lygus arba artimas žinomos perdavimo funkcijos  $W(s, \Theta_0)$  daugianarių laipsniui  $d_0$ , t. y.  $d_0 - 1 \leq \hat{d} \leq d_0 + 1$ .

Identifikuojant analoginės perdavimo funkcijos  $\hat{W}(s, \hat{\Theta})$ , kai  $\hat{d} = d_0$ ,  $\hat{\Theta}$ , koeficientų vektoriaus nariai turi būti lygūs arba artimi žinomos perdavimo funkcijos  $W(s, \Theta_0)$ ,  $\Theta_0$  koeficientų vektoriaus nariams. Trečia artumo sąlyga nusakoma vektorių artumo koeficientu  $P$ :

$$P = \sum_{i=1}^d (\Theta_{i0} - \hat{\Theta}_i)^2 = \sum_{i=0}^{d_n} (\alpha_i - \hat{\alpha}_i)^2 + \sum_{j=0}^{d_n} (\beta_j - \hat{\beta}_j)^2. \quad (13)$$

Pagal šias tris artumo sąlygas parenkamas toks diskretinis modelis, kurio struktūra geriausiai tinka garo turbinos matematinio modelio parametrus identifikuoti remiantis elektrinėje atliktais pasyviais eksperimentais.

Identifikuoti šie diskretiniai modeliai: ARX, ARMAX, BJ. Išnagrinėtas pasirinktų matematinų

modelių identifikavimo efektyvumas, lyginant eksperimento metu gautus įėjimo ir išėjimo signalus  $u(t)$ ,  $y(t)$  ir  $ut(t)$ ,  $yt(t)$ .

Nagrinėjant ARX diskretinį modelį nustatyta, kad geriausias identifikavimo rezultatas gaunamas, kai įėjimo ir išėjimo signalai neturi atsitiktinės dedamosios. ARX modelis turbinos matematiniais modeliams identifikuoti tinkamas tik tuomet, kai naudojami įėjimo ir išėjimo signalai  $u$  ir  $y$  turi mažą triukšmo lygį standartiniam nuokrypiui. Tai galima pasiekti tik eksperimentų metu gautus matavimo duomenis išfiltravus juostiniais žemojo dažnio skaitmeniniais filtrais.

Palyginus skaičiavimus, atliktus su filtruotais ir nefiltruotais įėjimo ir išėjimo signalais, nustatyta, kad geriausi identifikavimo rezultatai gaunami, naudojant nefiltruotus ir neturinčius triukšmo dedamųjų signalus  $u(t)$  ir  $y(t)$ . Tačiau jei nors vienas signalas turi atsitiktinę dedamąją, tai labai padidėja identifikuoto analoginio modelio laipsnis. Identifikavimui naudojant filtruotus signalus, analoginio modelio laipsnis sumažėja iki reikiamos ribos. Geresni rezultatai gaunami, kai filtro laipsnis didesnis.

Palyginus visų matematinų modelių identifikavimo rezultatus nustatyta, kad triukšmo signalų tarpusavio ryšius geriausiai aprašo Bokso ir Jenkinso (BJ) matematinis modelis. Labai svarbu, kad BJ modelis be pagalbinių priemonių (filtravimo) nustato reikiamos analoginės perdavimo funkcijos laipsnį.

Gerai rezultatai su ARMAX modeliu gaunami triukšmo signalus filtruojant skaitmeniniais filtrais.

Blogiausiai triukšmo signalų tarpusavio ryšius aprašo ARX diskretinis modelis. Taikant šiuos modelius, geri identifikavimo rezultatai pasiekiami, kai modelis aprašomas didelio laipsnio daugianariais.

#### 5. GARO TURBINOS MATEMATINIS MODELIS

Vilniaus elektrinėje, tyrinėjant pirmą energetinį bloką, buvo atlikta daugiau kaip 50 pasyviųjų eksperimentų.

Šiame darbe nagrinėjamas turbinos darbas paleidimo metu, kai turbina dirba kondensaciniu režimu.

Kondensaciniu režimu dirbančios turbinos servovariklio darbą gali sąlygoti tik šie du veiksniai: turbinos greičio reguliatorius ir turbinos valdymo mechanizmas (rankinis turbinos valdymas).

Pagrindiniai garo turbinos rodikliai, nusakantys jos dinaminį darbą, – tai servovariklio stūmoklio eiga ir generatoriaus aktyvioji galia. Pirmasis parametras apibūdina į turbiną tiekiamo garo kiekį, antrasis – turbinos sukimo momentą. Šių turbinos parametrų tarpusavio priklausomybę vadinsime turbinos darbo charakteristika. Turbinos sukimo momento (generatoriaus galios) reakcija į servovariklio stūmoklio eigą (servovariklio stūmoklio padėties pasikeitimo

mą) parodo turbinos jautrumą tiekiamo garo kiekiui.

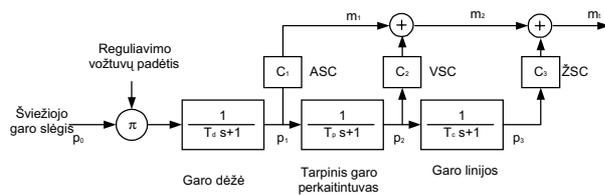
Nagrinėjant eksperimento metu gautus duomenis, pastebėta, kad turbinos išvystomas sukimo momentas ne visuomet vienodai reagavo į cilindrių reguliavimo vožtuvų servovariklio stūmoklio padėtį. Toks turbinos darbo režimų pasikeitimas paaiškinamas tuo, kad skirtingais laiko intervalais į turbiną tiekiamo garo parametrai (šviežiojo garo slėgis ir temperatūra) buvo skirtingi.

Eksperimento metu buvo matuojamas tik vienas į turbiną tiekiamo garo parametro kitimas – garo kiekio, kuris proporcingas servovariklio stūmoklio eigai. Kiti garo parametrai (slėgis ir temperatūra) ir jų kaita nežinoma. Nustačius servovariklio stūmoklio eigos ir turbinos sukimosi momento ryšį galima geriau suprasti, kaip eksperimento metu keitėsi kiti vidiniai garo parametrai (slėgis ir temperatūra).

1 paveiksle pateiktas matematinis modelis, aprašantis garo turbiną su vienu tarpiniu garo perkaitintuvu, trimis slėginiais cilindrais, taip pat įvertinantis garo linijas, jungiančias vidutinio ir žemo slėgio cilindrus.

Šio modelio perdavimo funkcijos visa matematinė išraiška Laplaso transformacijoje, kaip santykinio suminio reguliavimo vožtuvo padėties pokyčio ir išvystomo garo turbinos santykinio momento pokyčio ryšys, aprašoma perdavimo funkcija:

$$W_T = \frac{m_t(s)}{h(s)} = \frac{c_2(T_c \cdot s + 1) + c_3 + c_1(T_p \cdot s + 1)(T_c \cdot s + 1)}{(T_d \cdot s + 1)(T_p \cdot s + 1)(T_c \cdot s + 1)}. \quad (14)$$



1 pav. Garo turbinos tiesinis matematinis modelis

Perdavimo funkcijos parametrai pakeičiami Laplaso operatoriaus daugianarių koeficientais. Tuomet (14) lygtį galima užrašyti taip:

$$W_T = \frac{m_t(s)}{h(s)} = \frac{T_{11} \cdot s^2 + T_{12} \cdot s + C}{T_{21} \cdot s^3 + T_{22} \cdot s^2 + T_{23} \cdot s + 1}; \quad (15)$$

čia

$$T_{11} = c_1 \cdot T_c \cdot T_p;$$

$$T_{12} = (T_c + T_p) \cdot c_1 + T_c \cdot c_2;$$

$$C = c_1 + c_2 + c_3 \approx 1;$$

$$T_{21} = T_d \cdot T_c \cdot T_p;$$

$$T_{22} = T_d \cdot T_c + T_d \cdot T_p + T_p \cdot T_c;$$

$$T_{23} = T_d + T_c + T_p. \quad (16)$$

Standartinis garo turbinos dinaminis matematinis modelis gana universalus, nes juo galima modeliuoti ne tik garo, bet ir hidraulinę turbiną. Tai atliekama, atitinkamai keičiant laiko pastoviųjų reikšmes ir stiprinimo koeficientus. Dėl universalumo modelį galima naudoti sprendžiant įvairius EES reguliavimo uždavinius.

## 6. GARO TURBINOS DINAMINIO MATEMATINIO MODELIO IDENTIFIKAVIMAS

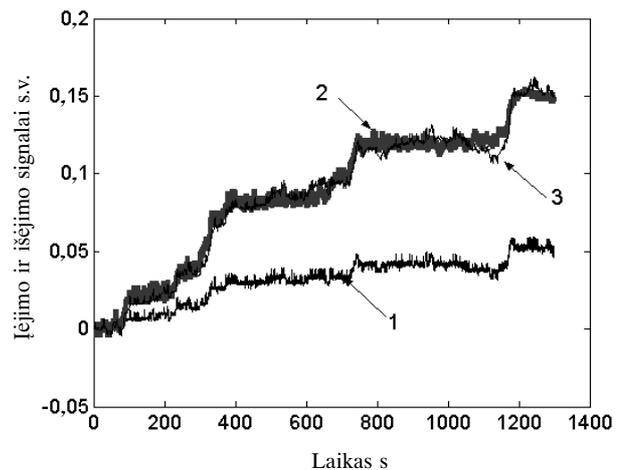
Eksperimento metu garo turbina buvo veikiamą nematuojamų procesų. Pagrindinis iš jų – šviežiojo garo parametrai (slėgis, temperatūra, entalpija) kitimas. Todėl gautas koeficientų vektorius  $\hat{\Theta}$  gali skirtis nuo numatomo teorinio koeficientų vektoriaus  $\Theta_t$ .

Palyginus gautus rezultatus su viso proceso identifikavimo rezultatais, pasitvirtino prielaida, kad identifikuoti turbinos modelį trukdė turbinos darbo charakteristikos netiesiškumas.

Identifikavimui naudoti įėjimo ir išėjimo signalai parodyti 2 paveiksle.

Suradus turbinos matematinio modelio daugianarių koeficientų reikšmes, reikia nustatyti jiems tinkamiausius turbinos parametrus (laiko pastoviasias, stiprinimo koeficientus).

Išsprendus netiesinių lygčių (14) sistemą, aprašančią garo turbinos analoginį modelį, surandami turbinos parametrai ( $T_c$ ,  $T_p$ ,  $T_d$ ,  $C$ ).



2 pav. Pasyvaus eksperimento metu gauti duomenys ir turbinos modelio identifikavimo rezultatai: 1 – reguliavimo vožtuvo santykinės eigos pokytis (įėjimo signalas); 2 – turbinos santykinio sukamojo momento pokytis (išėjimo signalas); 3 – kreivė, gauta pagal identifikuosius parametrus

Lentelė. Turbinos teorinės parametrų reikšmės ir skaičiavimo rezultatai					
Turbinos cilindrų santykinės galios koeficientai			Turbinos modelio laiko pastoviosios		
$c_1$ (s. v.)	$c_2$ (s. v.)	$c_3$ (s. v.)	$T_d$ (s)	$T_p$ (s)	$T_c$ (s)
Teorinės parametrų reikšmės					
0,2–0,5	0,4–0,8	0,0–0,3	0,1–0,6	3–12	0,3–0,7
Skaičiavimo rezultatai					
5,25	-13,79	9,5434	0,1975	7,88	0,45

Remiantis suskaičiuotomis turbinos, dirbančios kondensaciniu režimu, matematinio modelio koeficientų reikšmėmis, Niutono netiesinių lygčių metodu apskaičiuojami turbinos parametrai.

Iš 1 lentelėje pateiktų turbinos parametrų skaičiavimo rezultatų matyti, kad turbinos cilindrų galios koeficientų vertės yra gerokai didesnės už teorines vertes.

Tokio neatitikimo priežastis gali būti matavimo bei rezultatų apdorojimo paklaidos, taip pat procesai, kurie nebuvo matuojami eksperimento eigoje.

Remiantis apskaičiuotais modeliuojamų ir matuojamų procesų įvertinimo koeficientais, nustatytos kondensaciniu režimu dirbančios turbinos laiko pastoviosios:

- vamzdžių sistemos, jungiančios vidutinio slėgio cilindrą su žemo slėgio cilindrais, inercijos laiko pastovioji kinta intervale  $T_c = (0,3-0,4)$  s;

- tarpinio garo perkaitintuvo dinaminė pastovioji  $T_p = (7,1-9,2)$  s;

- garo dėžės laiko pastovioji  $T_d = (0,15-0,31)$  s.

Šios laiko pastoviosios patenka į teorinių laiko pastoviųjų intervalus.

## 7. IŠVADOS

1. Pasiūlytas naujas garo turbinų dinaminio modelio identifikavimo algoritmas.

2. Taikant pasyvųjį eksperimentą ir identifikavimo metodus bus galima nustatyti ar patikslinti visų Lietuvos energetikos sistemoje dirbančių garo turbinų matematinų modelių parametrus.

Gauta  
2002 10 31

## Literatūra

1. Mansour Y., Vaahedi E., Chang A. Y., Corns B. R. B. C. Hydro's On-line Transient Stability Assessment (TSA) Model Development, Analysis, and Post-processing // IEEE Transactions on Power Systems. February 1995. Vol. 10. No. 1. P. 242–253.

2. Bounou M., Lefebvre S., Malhame R. P. A Spectral Algorithm for Extracting Power System Modes Time Recordings // IEEE Transactions on Power Systems. May 1992. Vol. 7. No. 2. P. 665–672.

3. Ohno H., Yoshida S., Inoshima M. Basic Study to Improve Performance of Automatic Generation Control // 12th Power Systems Computation Conference Dresden // August 19–23, 1996. P. 1157–1162.

4. Tochio Inoue, Haruhito Taniguchi, Yasuyuki Ikeguchi. A Model of Fossil Fueled Plant with Once-Through Boiler for Power System Frequency Simulation Studies // IEEE Transactions on Power Systems. November 2000. Vol. 15. No. 4. P. 1322–1328.

5. Hannett L. N., Fardanesh B. Field Tests to Hydro Turbine- Governor Model Structure and Parameters // IEEE Transactions on Power Systems. November 1994. Vol. 9. No. 4. P. 1744–1751.

6. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. Москва: Энергия, 1978. 416 с.

7. Грешилов А. А. Анализ и синтез стохастических систем // Параметрические модели и конфликтный анализ. Москва: Радио и связь, 1990. 320 с.

Almantas Bandza, Albertas Nargėlas

## IDENTIFICATION OF STEAM TURBINE DYNAMIC MODEL ACCORDING TO EXPERIMENTAL DATA

S u m m a r y

Methods of identification and investigation of mathematical dynamic models of steam turbines are presented. The discrete models that are most often applied for identification of dynamic processes in objects operating in an electric power system are reviewed. The identification algorithm is presented for the steam turbine linear dynamic model and for identification of the parameters of this model on the base of experiment data. A new identification algorithm of steam turbine model suitable for identification of turbine parameters has been suggested. It allows identification of continuous time mathematical model using discrete experimental data on the processes. The suggested identification algorithm is most convenient when the Boks–Jenkins discrete model is used.

**Key words:** identification, steam turbine, passive experiment, mathematical models

Альмантас Бандза, Альбертас Наргелас

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА

Р е з ю м е

Рассмотрены методы идентификации и способы математического моделирования паровых турбин. Дается обзор дискретных моделей, которые используются для идентификации моделей объектов энергетических систем. Предложена методика идентификации параметров математической модели по данным эксперимента. В предложенной методике лучше использовать дискретную модель Boks–Jenkins.

**Ключевые слова:** идентификация, паровая турбина, пассивный эксперимент, математическая модель