

Ep. 6.1

d

683

ISSN 0136-3549
0320-345X

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI

TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TRANSACTIONS OF TALLINN
TECHNICAL UNIVERSITY

EESTI
ENERGEETIKA
PROBLEEME



TALLINN 1988

Ep. 6.7 d


683

ALUSTATUD 1937

**TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED**

**ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

**TRANSACTIONS OF TALLINN
TECHNICAL UNIVERSITY**

 UDK 621.31

EESTI

ENERGEETIKA

PROBLEEME

Energiasüsteemid XIV

TALLINN 1988

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ.

Труды ТПИ № 683.

Проблемы энергетики Эстонии.

Энергетические системы XIV.

На эстонском языке.



Vastutav toimetaja Ü. Treufeldt.

Tehniline toimetaja H. Allik.

Kinnitanud TPI Toimetiste kolleegium 14. 12. 88.

Trükkida antud 01. 02. 1989.

MB-01226.

Formaat 60x90/16.

Trükipg. 5,0 + 0,25 (lisa).

Arvestuspg. 4,37.

Trükiarv 700.

Tellimuse nr. 124.

Hind 50 kop.

Tallinna Polütehniline Instituut, 200108 Tallinn,

Ehitajate tee 5.

TPI rotaprint, 200006 Tallinn, Koskla 2/9.

S i s u k o r d

T. Metusala. Eesti elektroenergeetika algaastad ja meie kõrgem tehnikaharidus.....	4
H. Arro, K. Möller, L. Möller, A. Ots, H. Tallermo, O. Tapupere, M. Valdma, L. Öispuu. Ettepanekud IME energeetikakontseptsiooni koostamiseks.....	13
O. Tapupere. Eesti energeetikast.....	18
K. Möller, L. Möller. Elektrienergia tariifidest.....	23
K. Möller. Põllumajanduslikest pisielektriijaamadest....	32
M. Valdma. Energiasüsteemi režiimi optimeerimisest isemajandamise tingimustes.....	35
P. Raesaar, E. Tiigimägi, J. Valtin. Eesti energia-süsteemi põhivõrgu püsirežiimi hindamise meetodi-ka.....	43
M. Meldorf, A. Sild. Elektrisüsteemi režiimi seire.....	58
M. Keel. Programmikompleks energiasüsteemi režiimi parameetrite uurimiseks.....	71
H. Tammoja. Soojuselektriijaamade režiimide optimaalsest juhtimisest.....	76

EESTI ELEKTROENERGEETIKA AIGAASTAD
JA MEIE KÕRDEM TEHNIKAHARIDUS

Käesoleva artikli eesmärgiks on vaadelda Eesti elektroenergeetika arengu põhietappe kuni Teise maailmasõjani ning meie energeetika seoseid kõrgharidusega. Vaatluse alt on välja jäetud elektrisüsteemide kateedri ja tema eelkäijate poolt koolitatud elektriinseneride osa meie majanduses. See teema väärib omaette käsitlust.

Esimesed teated elektrienergia kasutamisest Eestis pärinevad aastast 1882. Tolleaegses ajakirjanduses /1, 2/ on mainitud elektri kasutamist valgustamiseks Tallinnas Wiegandi tehases (praegune "Ilmarine") ja Narvas Kreenholmi Manufaktuuris. Sellest ajast alates muutus elektri kasutamine järjest laialdasemaks - 1893. a. ehitati Eesti esimene tööstuselektrijaam Kunda tsemenditehases, 1907. a. alustas tööd esimene Eesti üldkasutatav elektrijaam Pärnus. Neile järgnes terve rida väikesi tööstuse ja linnade elektrijaamu.

Kuid see oli aeg, mil eestlasest insener oli Eestis veel üsna tundmatu. Ainsa tehnikakoolina Eestis, kui mitte arvestada merekoole, töötas siis 1880. a. avatud Tallinna Raudtee Tehnikakool, see aga lasi välja ainult masiniste, teemeistreid ja telegrafiste. Inseneriharidus saadi kas Riias, Peterburis või siis Lääne-Euroopas. Enne Esimest maailmasõda diplomi saanud sadakonnast Eesti insenerist töötas enamuse Venemaal, eriti Peterburis /3/. Siiski juhatas meie selle aja suurima energeetikaobjekti, Tallinna Linna Elektrijaama ehitust üks esimesi Eesti elektriinseneri - Riias hariduse saanud Evald Maltenek. Tema juhatusel ehitatud ja 24. märtsil 1913. a. käiku lastud elektrijaam ei olnud mit-

te ainult elektrienergiat tootev ettevõtte, vaid ka tolle aja Eesti suurim elektrit jaotav ja müüv ettevõtte, sest Tallinna elektrijaama ülesannete hulka kuulusid ka elektrivõrgu eksploatatsioon ning elektrienergia müük tööstus- ja kommunaalrühmadele /4/.

Pärast Veebruarirevolutsiooni, seoses Eesti autonoomiseerimise võimalustega aktiveeris Eesti haritlaskond, seda eriti Peterburis. Sealised insenerid ja tehnikud otsustasid koonduda Eesti autonoomia ettevalmistamiseks - 1917. a. mai algul asutati Peterburis Eesti Tehnika Selts (ETS). Käidi koos ja ära ootamata asjade poliitilist lahendust, arutati kavu iseseisva Eesti majanduse ja ühiskonna arendamiseks. Moodustati neli töörühma, neist ühe ülesandeks oli Eesti elektriga varustamise kavandamine. Vaagiti turbaelektrijaamade asutamist Jõõpresse, Ulilasse ja ka Virumaa-le, uuriti Narva kose kasutamise võimalusi - sõnaga töötati välja esimene Eesti energeetika kontseptsioon. Eestvedajateks olid siis insenerid Aleksander Kink, August Velner ja Märt Raud /5/.

Pärast Oktoobrirevolutsiooni soikus Peterburi ETS-i tegevus, osa seltsi liikmeid siirdus Tallinna ja siin registreeriti ETS 1917. a. oktoobri lõpul uuesti. Põhiküsimuseks jäi nüüd tehnilise hariduse edendamine.

Tänu ETS-i energilisele tegevusele avatigi 17. septembril 1918. a. Tallinna Tehnikum (TT) - esimene Eesti kõrgem tehnikakool - tolleaegsete saksa okupatsioonivõimude surve tõttu küll esialgu väga tagasihoidliku sildi all: ETS-i tehnilised erikursused. Alustati 115 üliõpilasega 6 osakonnas, suurimaks osakonnaks oli elektrotehnika 40 üliõpilasega /6/. Osakonna esimeseks juhatajaks oli Villem Reinok, kes koos Johannes Kollistiga lugesid ka esimest elektrotehnikakursust. Mõlemad mehed olid juba sel ajal küllalt soliidsete praktiliste kogemuste pagasiga. V. Reinok (sai inseneridiplomi 1908. a. Riias) oli juhtinud elektrotehnikabürood, mille põhiliseks ülesandeks oli ehitada välkesi elektrijaamu Tallinna merekindlusele, ja J. Kollist (sai diplomi 1909. a. Mittweidas Saksamaal) oli enne TT-sse tulekut töötanud tehases "Volta".

Nii algas elektriinseneride koolitamine Eestis. Siit saab alguse ka praegune TT-i elektrisüsteemide kateeder, ku-

na õppetöö TT elektrotehnika osakonnas ja hiljem ka Tallinna Tehnikainstituudis (TTI) ning Tallinna Tehnikaülikoolis (TLU) oli tugeva kallakuga elektroenergeetikasse /7/. See- ga võime öelda, et 17. septembril 1988. a. möödus elektri- süsteemide kateedri rajamisest 70 aastat.

Samal ajal, kui tulevased insenerid kuulasid TT-s oma esimesi loenguid, toimus meie energeetika jaoks veel üks tähtsündmus. Kunda ja Rakvere vahel oli valmimas esi- mene 15-kV kõrgepingeliin Eestis, projekteerijaks ja ehi- tajaks insener Kotri Hangelaid (Gottfried Hacker). Peatselt (aastatel 1921-1922) kohtame sama meest aga juba TT elekt- rotehnika osakonna juhatajana. Kui siia lisada, et enne K. Hangelaidu oli samal kohal eespool mainitud E. Maltenek, siis saame pildi, kui tihedad olid sidemed praktilise ener- geetika ja tudengite õpetamise vahel. Praktikast saadi õp- pejõududeks suurte kogemustega spetsialiste ja omalt poolt püüti jälle igati kaasa aidata Eesti elektrifitseerimisele. Siin peab eelkõige esile tõstma endist EES-i tegelast, pä- rastist TT õppejõudu ning Riigi Turbatööstuse direktorit Aleksander Kinki, kes koostas esimese ulatuslikuma Eesti elektrifitseerimise plaani /8/. Plaan oli väga asjatundli- kult koostatud. Kaasaegselt kõlab ka A. Kinki plaani põhi- idee: "Terve maa tarvis tuleb ehitada 2-3 tugevat elektri- jaama, kust põllumajandus, tööstus ja teised tarbijad ener- giat odava hinna eest saavad." Plaanis olid prognoositud ka ehitatavate elektrijaamade võimsused ja asukohad: "Narva veejõujaam ja kaks turbajaama (Pärnu ja Tartu lähedal) tu- leb üksteisega kõita nõnda, et nad paralleelselt töötavad." "Kõitmiseks" vajaliku toitevõrgu pingeks valis A. Kink 110 kV ning jaotusvõrgu pingeks 15 kV. Arvestades, et plaan koostati ligi 70 aastat tagasi, tuleb seda pidada väga ettenägelikuks. (Nagu teame, jõudis tegelikult pin- ge 110 kV Eestimaale alles 1951. aastal.)

Tähtsaks aastanumbriks Eesti energeetikas on 1923, mil said diplomi esimesed Eestimaal koolitatud 6 elektri- inseneri ning lasti käiku Ellamaa ja Ulila elektrijaamad. Riigi Turbatööstusele kuuluv Ellamaa elektrijaam projektee- riti ning ehitati A. Kinki ja K. Hangelaiu organiseerimisel

ja otsesel kaastegevusel. Tolle aja elektriijaamadest oli see võimsuselt (1400 kW) teine Tallinna elektriijaama järel. 35-kV liini abil ühendati jaam Tallinnaga ja 15-kV liini abil Haapsaluga. Muuhulgas toitis Ellamaa elektriijaam ka Tallinn-Pääsküla elektriraudteed. Jaama ja võrku ekspluateeriva Riigi Turbatööstuse direktori ametikohal vahetas A. Kinki 1927. a. välja ikka seesama K. Hangelaid.

1923. aastal andis voolu ka Ulila esimene 1000-kW agregaat. Jaama juurde kuulus Tartut, Viljandit ja nende ümbrust toitev 15-kV võrk. Siin ei saa jätta nimetamata TT elektrotehnika osakonna ja -labori kauaaegset juhatajat, hilisemat TTI ja TTÜ professorit Otto Reinvaldi, kes võttis eriteadlasena osa nii Ellamaa kui ka Ulila generaatorite katsetamisest ja käikulaskmisest.

1930. aastate algul kujunes välja lisaks eelnimetatuile ja Tallinna elektrivõrgule ka neljas Virumaa Elektriseeltsile kuuluv võrk koos Kreenholmi ja Püssi elektriijaamade ja 55-kV Kreenholm-Kiviõli liiniga.

Kõik neli Eesti tolleaegset võrku töötasid eraldi, puudus ühtne juhtimine. Elektrimajanduse ühtse juhtimiskeskuse moodustamise esimene katse oli 1926. aastal. Vastava ettepaneku tegi EIS-i järglane, 1921. a. moodustatud Eesti Inseneride Ühing /9/. See jäi aga tookord suurema tähelepanuta.

Esimeseks tegelikult funktsioneerivaks nn. ühiskondlikuks keskuseks sai 1928. a. grupi energeetikute ja majandusteadlaste poolt moodustatud Eesti Rahvuslik Jõukomitee. Komitee esimeheks valiti ins. Aleksander Kink, kelle tööga TT-s ja Eesti energeetika arendamisel oleme juba tuttavad. Põhikirjas oli Jõukomitee eesmärgidena formuleeritud energeiaressursside uurimine ja nende kasutamise majanduslike aluste selgitamine. Vaatamata riikliku finantseerimise puudumisele tehti ära suur töö. Anti hinnang meie energeiaressurssidele ja koostati energia tarbimise prognoosi alusel järjekordne Eesti elektrifitseerimise perspektiivplaan. Viimane koosneb kahest osast: 1) lähemad 10 aastat, 2) kaugem tulevik /10/. Plaan jäi realiseerimata, kuid näitas energeetika-inseneride valmisolekut sellisteks tõsisteks ettevõtmisteks.

Vahepeal arenes jõudsalt edasi energeetika. 1930. aastateks oli Eesti Vabariigi elektriijaamade võimsus kasvanud 16 korda, olles 1930. aastal 35,5 MW. Eesti elektriijaama-

de laiendamise ja uute ehitamise plaanide väljatöötamisest ja läbivaatamisest võtsid alati aktiivselt osa ka TT õppejõud. 1930. aastatel toimusid ka muudatused elektriinseneride koolituses. 1936. aastal kadus kõrgkool nimega TT, tema töö aga jätkus algul TTI, siis TTÜ ja praegu TPI nime all. Elektriinseneride õpetamist korraldas ka TTI-s ja TTÜ-s juba TT-st tuntud professor Otto Reinvald.

1936. aastaks oli TT lõpetanud 88 elektriinseneri. Nüüd oli olemas vajalik kaader ja energeetika suhteliselt kiire arengu tõttu ka möödapääsmatu vajadus uue, seekord riikliku koordineeriva keskuse loomiseks. 21. juulil 1936 alustaski tegevust nüüd juba riiklik Eesti Rahvuslik Jõukomitee. Jõukomitee jagunes uurimis- ja järelevalvebürooks. Uurimisbüroo põhiülesandeks oli jõuseadmete ja -allikate uurimine ning elektrifitseerimiskavade koostamine /11/. 1938. a. sai valmis üksikasjalik Eesti elektrifitseerimise plaan. Plaani koostamisel võeti aluseks väga progressiivsed põhimõtted /14/:

1. Eesti elektrifitseerimiseks tuleb luua ülemaaline ühine elektrivõrk. Väikesi kohalikke elektrijaamu tuleb ehitada ainult seal, kuhu kõrgepingevõrgu viimine pole majanduslikult õigustatud (näiteks Saaremaa ja mõned Läänemaa piirkonnad).

2. Koormus tuleb elektrijaamade vehel jagada optimaalselt, s.t. toota energiat seal, kus see antud hetkel kõige kasulik on.

3. Suuremad jõujaamad ühendada omavahel magistraalliinidega, kusjuures ühe jaama väljalangemisel teised jõujaamad jätkaksid kogu võrgu toitmist.

4. Kõrgepinge jaotusvõrk tuleb välja ehitada sääraselt, et võrguga oleks ühendatud kõik meie linnad (v.a. saared), kõik suurtööstuse keskused ja põhilised põllumajandusrajoonid.

5. Elektrienergia hind ühtses energiasüsteemis peab olema madalam kui seniseis eraldi töötavais linnade ja tööstuse jõujaamades.

Lähtudes nimetatud põhimõtetest töötati Jõukomitee direktori J. Veeruse juhtimisel välja kolm Eesti elektrifitseerimise varianti /10, 14/. Põhitöö tegid TT-s hariduse saanud elektriinsenerid Karl Hirv (Hirsch), Eduard Kanasaar,

Rudolf Lepp, Karl Puidak, Voldemar Sephans. Lähtematerjali kogumisega tegelesid ka TTÜ üliõpilased. Kõik koostatud kavavad vaadati jooksvalt läbi juhatuses, kuhu kuulus ka TTÜ professor Otto Reinvald.

Parimaks tunnistatud I variandis pidi baasjaamaks olema uus Narva HEJ võimsusega 52,5 MW, tippude katteks planeeriti Kohtlasse põlevkivijaam võimsusega 15 MW. Kolmandaks uueks jaamaks oli kavandatud hüdrojaam Tori-Levis (1,7 MW). Tööd pidid jätkama ka olemasolevad elektriijaamad Tallinnas (19,2 MW), Püssis (3,8 MW), Ellamaal (8,5 MW) ja Ulilas (8,5 MW). Nähti ette ehitada kaks magistraalliini: Narva-Tallinn ja Tapa-Tartu. Plaan oli koostatud aastateks 1938-1942 ja 1942-1947.

Plaani realiseerimiseks kutsuti ellu aktsiaselts "Elektrikeskus". Riigikogu poolt vastuvõetud aktsiaseltsi "Elektrikeskus" seadus kuulutati välja 8. mail 1939. a. /12/.

Aktsiaseltsi ülesandeks oli /13/

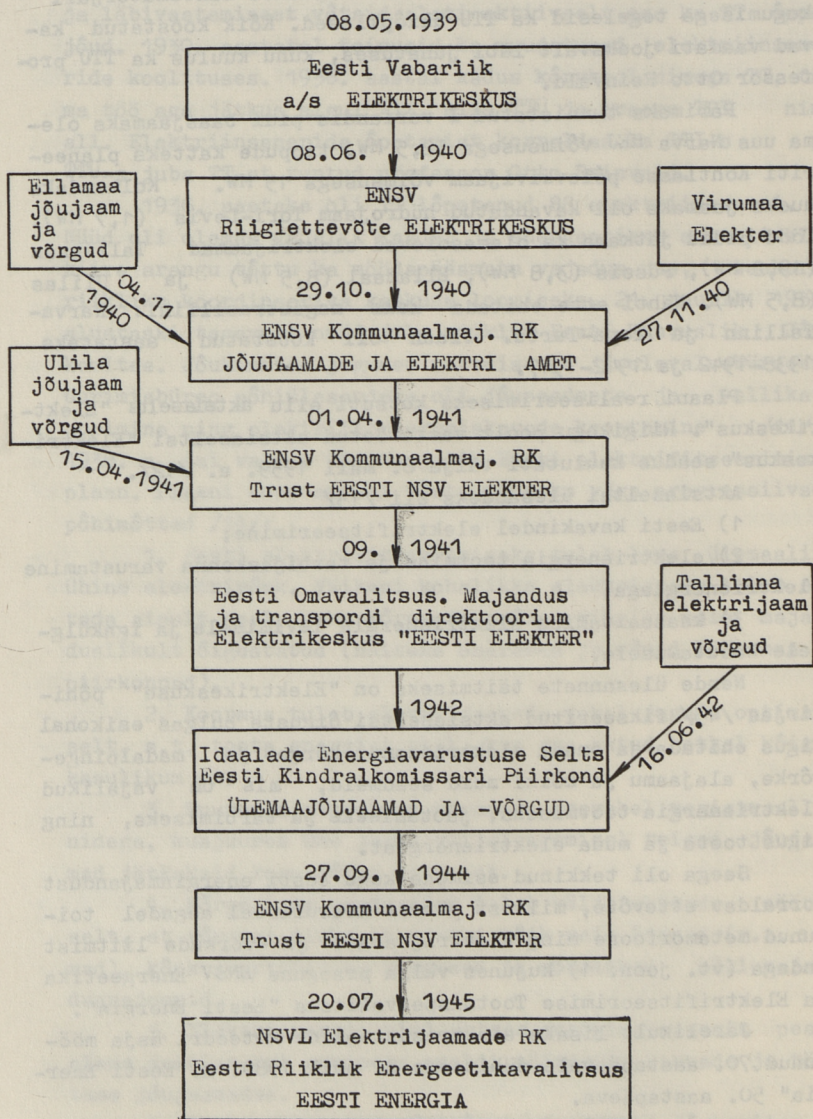
- 1) Eesti kavakindel elektrifitseerimine;
- 2) elektrienergia tootmine ja tarbijaskonna varustamine elektrienergiaga;
- 3) kaasaaitamine elektrienergia levimisele ja igakülgelele kasutamisele.

Nende ülesannete täitmiseks on "Elektrikeskuse" põhikirjas /13/ fikseeritud aktsiaseltsi õiguste hulgas esikohal õigus ehitada ja omada elektriijaamu, kõrge- ja madalpingevõrke, alajaamu ja kõiki muid seadmeid, mis on vajalikud elektrienergia tootmiseks, jaotamiseks ja tarbimiseks, ning õigus toota ja müüa elektrienergiat.

Seega oli tekkinud esimene kogu eesti energiamajandust korraldav ettevõtte, millest pärast keerulistel aegadel toimunud metamorfoose ning elektriijaamade ja -võrkude liitmist endaga (vt. joon. 1) kujunes välja praegune ENSV Energeetika ja Elektrifitseerimise Tootmispeavalitsus "Eesti Energia".

Järelikult lisaks elektrisüsteemide kateedri äsja möödunud 70. aastapäevale pühitseme 8. mail 1989. a. "Eesti Energia" 50. aastapäeva.

Neeldiv on tõdeda, et nüüd, IME programmi väljatöötamise ajal on taas tihenend koostöö Eesti energeetikute ja meie inseneride alma materi TPI vahel.



Joon. 1. "Eesti Energia" algusaastad

Kirjandus

1. Разные известия // Электричество. 1882. № 3.
2. Kiri Narvast // Tartu Eesti Seitung. 1882. 5. mai.
3. Tallinna Polütehniline Instituut 1936-1986. Tln.: Valgus, 1986.
4. R a u s b e r g, H. Tallinna Linna Elektri Keskaamast Tallinna Soojusvõrguni. Tln.: Valgus, 1988.
5. K i n k, A. Ülevaade Eesti Inseneride Ühingu 10-nd aastast tegevusest ja tehnilistest saavutustest Eesti iseseisvuse ajal // Tehnika Ajakiri. 1931. Nr. 3/4.
6. Tallinna Tehnikum 1918. 17.IX 1928. Tln., 1928.
7. М я г и В.В., М е т у с а л а Т.Л. Направления подготовки специалистов в Таллинском техникуме по отраслям электротехники и энергетики // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1983. № 549. С. 89-96.
8. K i n k, A. Meie jõumajanduse sihtjooned tulevikus. Tallinna Eesti Kirjastus-Ühisuse kirjastus. 1920.
9. R a d i k, A. Eesti Rahvuslik Jõukomitee // Tehnika Ajakiri. 1936. Nr. 1. Lk. 13-14.
10. М я г и В.В., М е т у с а л а Т.Л. Первые планы всеобщей электрификации Эстонии и проблемы их реализации // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1982. № 529. С. 137-146.
11. Eesti Rahvusliku Jõukomitee seadus // Riigi Teataja. 1936. 14. jaan. Nr. 4.
12. A/S "Elektrikeskus" seadus // Riigi Teataja. 1939. 12. mail. Nr. 40.
13. A/S "Elektrikeskus" põhikiri // Riigi Teataja. 1939. 25. juuli. Lisa nr. 61.
14. V e e r u s, J. Eesti elektrifitseerimise sihtjooni // Tehnika Ajakiri. 1939. Nr. 5/6. Lk. 114-123.

Die ersten Jahre der Elektroenergetik Estlands
und unsere technische Hochschulbildung

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden die Grundetappen der Elektrifizierung Estlands bis zum II Weltkrieg und die Beziehungen unserer Energetik mit der technischen Hochschulbildung behandelt. Den ersten Plänen der allgemeinen Elektrifizierung Estlands wird eine Bewertung gegeben.

H. Arro, K. Möller, L. Möller, A. Ots,
H. Tallermo, O. Tapupere, M. Valdma, L. Õispuu

ETTEPANEKUD IME ENERGEETIKAKONTSEPISIOONI KOOSTAMISEKS

Elektroenergeetika on Eesti tähtsamaid tööstusharusid. Eesti NSV tööstuse põhifondidest on 21 % elektroenergeetikas ja 7 % kütusetööstuses. Viimase toodangu põhitarbija-teks on põlevkivielektrijaamad.

Aastas toodetakse Eestis 18 TW.h elektrienergiat. Müüdnud elektrienergiast (s.o. elektrienergia nn. puhas- toodang, kus elektrijaamade poolt toodetud energiast on ma- ha arvatud nende omatarve ja kaod elektrivõrkudes) tarbitak- se alla poole Eestis, ülejäänud eksporditakse teistesse lii- dudvabariikidesse, millest osa Leningradi energiasüsteem müüb Soomele.

Lisaks elektrienergiale väljastab energiasüsteem soo- jusenergiat ja osa põlevkivi põletamisel saadud tuhast ehi- tuse ning põllumajanduse tarbeks, viimasel ajal vähesel mä- ral ka ekspordiks Soomele.

Eesti iga elaniku kohta on elektrijaamade võimsus üle 2 kW ja toodetakse 11,5 MW.h elektrienergiat aastas. Need arvud on umbes kaks korda kõrgemad NSVL keskmistest näita- jatest ning vastavad maailma arenenud riikide tasemele. Olemasolevate elektrijaamade võimsus võimaldab rahuldada meie vabariigi vajadusi 2005.-2010. aastani.

Eesti energiasüsteem kuulub NSVL loodeosa ühendener- giasüsteemi ning viimase kaudu NSVL Ühtsesse Energiasüsteemi. Eesti energiasüsteemi tööd korraldab ja juhib tootmis- koondis "Eesti Energia", kes allub NSV Liidu Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeeriumile.

Operatiivselt allub Eesti energiasüsteemi režiimide juhtimine Riias asuvalle NSVL Loodeosa Ühend-Dispetsi Va-

litsusele ning see omakorda NSVL Ühtse Energiasüsteemi Kesk-
Dispetsõi Valitsusele Moskvast.

Vaatamata "Eesti Energia" ja tema ettevõtete püüdliku-
le tööle, kannatab ka meie vabariigi energetika, nii nagu
kogu Eesti majandus, iseseisvuse puudumise all ning tema
tegevus on kammitsetud üleliidulise ministeeriumi normatii-
vide ja käskudega. Elektrienergiat müüakse väljapoole meie
vabariiki alla omahinna. Näiteks saanuks "Eesti Energia"
1987. a. naabervabariikidelt (Vene NFSV ja Läti NSV) täien-
davalt 112 milj. rbl., kui ta oleks neile müünud elektri-
energiat sama hinnaga kui Eesti tarbijaile. Lisaks sellele
annab Leningradi energiasüsteem Eestist saadava väärtusliku
tippkoormuse elektrienergia kompensatsiooniks põhimõtteli-
selt mitu korda vähem väärtuslikku öise miinimumi elektri-
energiat.

Elektrienergia (oma)hinnas ei kajastu põlevkivi kui
maavara maksumus ega selle kaevandamisest keskkonnale põh-
justatud kahju suurus, samuti elektrienergia tootmisest põh-
justatud looduse reostamine. On ju Eesti suured elektrijaam-
ad oma praeguse tehnilise taseme juures looduse suuremaid
saastajaid kahjulike ainetega, millest terve rida on radio-
aktiivsed. Seetõttu ületab põlevkivielektrijaamade põhjusta-
tud keskkonna radioaktiivne saastamine paljukordselt sama
võimsusega normaalselt funktsioneerivate tuumaelektrijaama-
de oma. Põlevkivi kaevandamisest ja elektrienergia tootmi-
sest tingitud keskkonna kahjustuste suurus võib ulatuda 100
miljoni rublani aastas.

Põhja- ja eriti Kirde-Eesti tööstuses, loodusvarade
kasutamisel tuleb üle minna taandarengule, kuna ekstensiiv-
arengu varud on jõudnud looduse koormamise kriitilise piiri-
ni ja ühtlasi sotsiaalne infrastruktuur on tugevasti üle
koormatud. Mõningad pöördumatud ökoloogilised protsessid on
juba alanud.

Eesti elektrijaamad on füüsiliselt kulunud ja moraal-
selt vananenud. Selle tõttu halvenevad seadmete tehnilis-
majanduslikud näitajad ning väheneb nende töökindlus. Ka
Eesti teaduspotsentsiaal ei ole käesoleva süsteemi juures
leidnud piisavat rakendust Eesti energetika tarbeks, eriti
perspektiivuuringute osas. Eeltoodust lähtudes vajab Eesti
energeetika funktsioneerimine ja areng põhjalikku reformi.

Eesti energetika probleemid on lahendatavad ainult
IME, s.o. täieliku majandusliku suveräänsuse tingimustes,
seejuures on põhieesmärkideks: põlevkivi säästlik kasuta-
mine, olemasolevate elektrijaamade ja elektrivõrkude re-
konstrueerimine, keskkonna saastamise oluline vähendamine
ning selle viimine rahvusvaheliste normide piiridesse, eneri-
giakadude vähendamine, energia tarbimise kasvu vähendamine
tehnoloogia täiustamise ja energiamahuka tööstuse vähenda-
mise arvel, energia kvaliteedi tõstmine ning energiasüsteemi
töökindluse ja efektiivsuse suurendamine.

Nende eesmärkide saavutamiseks on vaja:

1. Allutada "Eesti Energia" Eesti NSV valitsusele,
andes talle administratiivse ja majandusliku iseseisvuse.

2. Lähema 20 - 25 aasta jooksul rahuldada Eesti elekt-
rienergia vajadus olemasolevate elektrijaamadega, ilma uu-
si rajamata. Kuid selleks tuleb need rekonstrueerida, asen-
dades vananenud seadmed uute kaasaegsetega ja varustades tä-
napäevaste puhastusseadmetega, mis oluliselt vähendaks kesk-
konna saastamist. Hüdroelektriijaamade ja tuuleelektriijaamade
osatähtsus jääb Eestis väikeseks (tõenäoliselt alla 1 %).
Küll aga tuleb uurida taastuvate energiaressursside (ka tuu-
le) ning tuuma- ja termotuumaelektriijaamade kasutamise pers-
pektiive. Töökindlad ja kaasaegsed tuumaelektriijaamad saas-
tavad loodust radioaktiivsete ainetega (mis ei kogune loo-
madesse ja taimedesse) oluliselt vähem kui meie põlevkivi-
elektriijaamad. Arendada tuleb ka keskkonnasõbralikku väike-
energeetikat.

3. Välja töötada Balti ja Eesti soojuselektriijaamade
rekonstrueerimise projektid, mis vastaksid kaasaja teaduse
tasemele. Esmajärjekorras tuleks välja töötada uue põlvkonna
katlad ning kaasaegsed suitsugaaside puhastusseadmed, mis
tagaksid elektriijaama töö vastavuse rahvusvahelistele kesk-
konnakaitse normidele. Tõsta oluliselt puhastusseadmete ka-
sutamisel töökultuuri.

4. Välja töötada majanduslikult põhjendatud tuha väl-
jastamise proportsioonid ja hinnad ehitusele ja põllumajan-
dusele ning ekspordiks, mis võimaldaks järsult suurendada
põlevkivi kompleksset kasutamist.

5. Välja töötada Eesti energiasüsteemi majandamise põ-
himõtted ning uued tariifid elektri- ja soojusenergia müü-

miseks Eestis. Tariifid peavad olenema: 1) tarbija elektri- varustuse töökindlusest, 2) energia kvaliteedist, 3) elektrienergia tarbimise ajast (näiteks kolmeastmeline tariif (maksimum-, miinimum- ja vahepealse koormuse aeg)). Tariifid ei tohi oleneda tarbija liigist nagu praegu. Samuti tuleb loobuda praegusest elektri- ja soojusenergia kasutamise administratiivsest limiteerimisest. Tuleb ette näha trahvide süsteem energia ostu ja müügi lepingute rikkumise korral.

6. Välja töötada Eesti energiasüsteemi koostöö põhimõtted teiste energiasüsteemidega ja energia ostu-müügi tingimused ja tariifid.

7. Välja töötada maksete süsteem energia tootmise ja ülekandmise loodust kahjustava mõju korvamiseks, mis stimuleeriks saastamise vähendamist ja võimaldaks finantseerida mõjusaid keskkonnakaitse meetmeid.

8. Taotleda ka väljaspool Eesti NSV-d paiknevate elektrijaamade Eestisse kanduvate saastavoogude piiramist ja maksumist. Sama kehtib loomulikult ka meilt mujale kanduvate saastavoogude suhtes.

9. Täiustada Eesti energiasüsteemi administratiivse, tehnilis-majandusliku ning dispetšjuhtimise süsteemi isemajandamise tingimustes.

10. Tagada Eesti energeetika funktsioneerimine ja arendamine kohaliku tööjõu baasil, vähendades inimtöö vajadust.

11. Kehtestada Eestis vööndiaeg, kuna see võimaldab inimeste tervise tugevdamise kõrval vähendada elektrienergia tarbimist tippkoormuse ajal.

12. Tagada energia ratsionaalne kasutamine majanduses ja olmes, vähendades oluliselt võrgukadusid ja energia erikulu. Organiseerida selleks Eestis vajalike seadmete (reaktiivvõimsuse kompenseerimise seadmete automaatregulaatorid, mitme tariifiga arvestid, automaatregulaatoritega ventiilid jms.) tootmine.

13. Korraldada Eestis täielikult automatiseeritud väikekatelde tootmine, mis võimaldavad vähendada energiakadusid ja on tunduvalt keskkonnasõbralikumad.

14. Täiustada energeetikahariduse süsteemi, süvendades selles süsteemse lähenemisviisi, arvutustehnika kasutamise, keskkonnakaitse ja majandamise õpetamist ning tagades inse-

neride, tehnikute ja tööliste ettevalmistamise vajalikus proportsioonis.

15. Arendada fundamentaalseid ja rakenduslikke energeetikauuringuid, mille tulemused oleksid ka eksporditavad välismaale.

16. Luua ajutine teaduskollektiiv IME energeetikakontseptsiooni väljatöötamiseks.

17. Spodustada väikeettevõtete loomist energeetika alal ja energeetika ning kütusetööstuse tarvis vajalike seadmete tootmiseks.

18. Arendada koostööd välismaaga teaduse, tehnika ja majanduse alal. Luua ühisfirmasid, saata insenere ja teadlasi stažeerima jms.

19. Luua Eesti NSV valitsuse juurde pidevalt tegutsev energeetikanõukogu Eesti energeetikaprobleemide lahendamiseks.

H. Arro, K. Möller, L. Möller,
A. Ots, H. Tallermo, O. Tapupere,
M. Valdma, L. Oispuu

Proposals for the Draw-Up of the Estonian Power
Engineering Conception

Abstract

A survey of the state and future of Estonian power engineering is presented here. The most important problems are: excessive central control. Nature pollution and the cost of the exported energy being lower than the cost of production. The proposal that "Estonian Energy" should be placed under the Estonian Government and a few other proposals have been drawn up.

EESTI ENERGEETIKAST

Aastakümneid oleme olnud uhked oma energeetika saavutuste üle, ehitades unikaalseid põlevkivil töötavaid elektrijaamu ja andes suure osa NL Loodeosa varustamisse elektrienergiaga. Kuulekalt täitsime üleliidulise ministeeriumi käske ega mõelnud eriti tagajärgedele. Selle tulemusena oleme jõudnud olukorda, kus Põhja- ja eriti Kirde-Eesti eksten-siivarengu varud on jõudnud looduse koormamise kriitilise piirini ja sotsiaalne infrastruktuur on samuti tugevasti moonutatud.

Et arutada tekkinud olukorda ja hinnata reaalseid, meie vabariigi huvidest lähtuvaid energeetika tulevikuperspektiive kuni 2005. aastani, loodi käesoleva aasta maikuu ENSV Plaanikomitee juures ekspertide töögrupp. Töögrupi koosseisu kuulus 15 inimest:

töögrupi juht - O. Tapupere, Tallinna Polütehnilise Instituudi energeetikateaduskonna dekaan;

liikmed: H. Eller, ENSV Riikliku Plaanikomitee Materiaalfondide Valitsuse juhataja;

M. Kaasik - Plaanikomitee keskkonnakaitse osakonna juhataja;

E. Joost - Plaanikomitee rasketööstuse osakonna juhataja;

M. Makarov - Plaanikomitee allosakonna juhataja;

E. Kallikorm - "Eesti Energia" juhataja asetäitja;

V. Milt - "Eesti Energiajärelevalve" direktor;

V. Leini - TK "Põlevkivikeemia" peadirektor;

J. Libman - TK "Eesti Põlevkivi" peadirektori asetäitja majandusalal;

- M. Mõttus - ENSV TA Termofüüsika ja Elektrofüüsika
Instituudi sektorijuhataja;
- H. Arro - TPI soojusenergeetika laboratooriumi juha-
taja;
- K. Tenno - ENSV TA Majanduse Instituudi sektorijuhata-
ja;
- K. Paalme - Eesti Metsainstituudi teadur;
- U. Maasikas - Eesti TV kaastööline;
- K. Pollisinski - ajalehe "Rahva Häääl" tööstusosakonna
juhataja.

Tulevikuperspektiive hinnates peeti silmas elektri-
energia tarbimist ja tootmist, samuti energeetika mõju loo-
duskeskkonnale ja sotsiaalsele infrastruktuurile.

Töögrupi tulemused võib lühidalt kokku võtta järgmis-
te punktidega.

1. Elektrienergia tarbimine

Et aastani 2005 energiaressurssidega välja tulla, peab
Eestis energiatarbe kasvutempo tublisti langema. Selleks on
vaja otsekohe käivitada radikaalne energiasäästu mehhanism.
Et 53 % Eestis tarbitavast elektrienergiast kasutatakse
tööstuses, tähendab see eelkõige energiasäästliku tehnoloogia
kasutuselevõttu, vajaduse korral energiamahuka tehnoloogia
ga ettevõtete töö piiramist ja nende ümberprofileerimist.
Eriti puudutab see sisseveetaval toorainel tuginevat keemia-
tööstust.

Prognoositud elektrienergiatarve ulatub 2005. aastaks
15,7 miljardi kilovatt-tunnini (1988. aastal 10,1 miljardit
kW.h koos elektriijaamade omatarbega).

2005. aastal jääb Eesti energiasüsteemis toodetud
18,5 miljardist kW.h-st elektrienergiast väljapoole vabariiki
müügiks 2,8 miljardit kW.h. 2010. aastaks seegi võimalus
kaob.

2. Elektrienergia tootmine

Elektrienergia tootmise perspektiivide hindamisel oli
kaks lähtepunkti: keskkonnakaitse nõudmised ja esmajärjekor-
ras koõuvabariigi energiavajaduste rahuldamine. Nendest nõue-
test järeldus: praeguses ebasoodsas ökoloogilises olukorras
on õige säilitada praegune elektrienergia tootmise tase ja

genereeriv võimsus ning hakata ümbritseva keskkonna seisundit kohustuslikus korras ja radikaalselt parandama.

Vaadeldavas ajavahemikus tuleb rekonstrueerida nii Balti SEJ kui ka Eesti SEJ. Eeltingimuseks on katelagregaatide moodsaim tehniline lahendus manööverrežiimi arvestades ja efektiivne gaasipuhastussüsteem.

NSVL Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeeriumi protokollilise otsuse kohaselt tuleb 1993. aastaks väävli-püüdmissaadmed tööle panna nii Balti kui ka Eesti SEJ-is. Otsuse täitmise käik aga valmistab tõsist muret ja tekitab suuri kahtlusi nende seadmete tähtaegse käikuandmise asjus.

Rahvusvaheline kokkulepe nõuab, et väävliühendite õhukupaistamist vähendataks 1993. aastaks 30 % võrra. Kui väävli-püüdmissaadmeid ei rakendata, tuleb selleks elektrienergia tootmist vähendada 30 % võrra. Loodepiirkonna energiasüsteemis tekitaks see tõsiseid raskusi. Selle nõude täitmine ainult Eesti NSV arvel oleks katastroof meie rahvamajandusele, põhjustaks õigupoolest kogu Eesti tööstuse energiasüsteemist väljalülitamist. NSVL Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeerium ei ole sellele küsimusele veel tõsist tähelepanu pööranud ega midagi tegusat ette võtnud.

Ekspertgrupp peab möödapääsmatult vajalikuks, et aasta jooksul töötataks "Eesti Energia", TPI ja ENSV Teaduste Akadeemia spetsialistide koostöös välja Balti ja Eesti SEJ rekonstrueerimise põhimõtted.

NSVL Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeeriumi pakutud võimalus ehitada kolmas, 2500-megavatine põlevkivi-elektrijaam on põhjendamatu. Ökoloogiliselt vastuvõetava ja tehniliselt võimaliku põlevkivikaevandamise arengu puhul ei jätkuks sellele jaamale kütust. Lõpuni pole uuritud ega välja töötatud tegusaid kaitseabinõusid põlevkivi kaevandamise ja elektrienergia tootmise laiendamisest tulenevate looduskahjustuste ärahoidmiseks.

Vaadeldaval ajavahemikul jääb meie vabariigi elektrienergiaga varustamise tugialaks põlevkivienergeetika.

Hüdroenergia varud on Eestis nii väikesed, et nende kasutuselevõtt on nii ökoloogiliselt kui ka majanduslikult põhjendamatu.

Tuuleenergia kasutamise võimalust tuleb veel uurida. Kuid ka kõige optimistlikumate prognooside põhjal ei ületa

tuule abil saadav elektrienergia 2005. aastaks 1 % koduvari-
bariigi elektrienergia koguvajadusest.

3. Põlevkivi töötlemine

Arvestades Kirde-Eesti ebarahuldavat ökoloogilist
seisundit ja põlevkivitöötlemise tööstuse suhteliselt suurt
energiatarvet, peab ekspertgrupp uute põlevkivitöötlemise
võimsuste evitamist enne, kui Kohtla-Järve ja tema ümbruse
sanitaar-hügieeniline olukord on normaliseerunud, lubamatuks.

4. Põlevkivi tootmine

Põlevkivi kaevandamise mahtude määramisel lähtuti
energeetikute ja põlevkivikeemikute vajadustest ning ladu-
des olevast ja sisseveetavast põlevkivikogusest. Aastatel
1995-2005 on põlevkivi kaevandamise maht orienteeruvalt 25-
26 miljonit tonni aastas (1988. aastal 23,3 miljonit tonni).
Põlevkivivajaduse tegelik katmine 2005. aastal nõuab Ahtme
kaevanduse ja "Oktoobri" karjääri sulgemise tähtaegade ja
juurdeveetava põlevkivi koguste täpsustamist.

Nelja kaevanduse sulgemine varude ammendumise tõttu
(1988. aastal kogutoodang 5,4 milj. tonni) nõuab "Eesti Põ-
levkivi" spetsialistide arvates planeeritud põlevkivitarbe
täitmiseks uue, Kuremäe kaevanduse avamist 14. viisaastakul.
Enne kaevanduse projekteerimise alustamist tuleb määrata mäe-
tööde võimalik kahjulik mõju looduskeskkonnale ning esmastele
maa- ja veekasutajatele selles piirkonnas. Teha kindlaks kah-
julike mõjutuste minimeerimise (või vältimise) võimalused.

Need on tulemused, milleni jõudis ekspertgrupp oma
töös, hinnates Eesti energeetika ja põlevkivi tootmise aren-
giperspektiive kuni 2005. aastani.

Kuid juba töö käigus selgus, et on olemas rida prob-
leeme, mida antud töögrupp arutada ega lahendada ei suuda.
Eriti puudutas see konkreetseid küsimusi, mis on seotud ko-
gu Eesti majanduse, sealhulgas ka energeetika üleminekuga
isemajandamisele.

Nende probleemide arutamiseks ja lahendamiseks loodi
1988. aasta septembrikuus "Eesti Energia" juhataja asetäitja
E. Kallikormi initsiatiivil ajutine loominguiline kollektiiv
"Kilovatt".

Kollektiivi juhiks valiti O. Tapupere, uurimisteemaks

"Eesti energeetika arengusuunad".

Esitagem siin alateemad ja nende vastutavad täitjad.

1. Energia tarbimine ja toodang - "Eesti Energiaajäre-
levalve" direktor V. Milt.

2. Energia tootmine soojuselektrijaamades ja loodus-
kaitse - TPI soojusenergeetika kateedri juh. prof. A. Ots.

3. Energeetika ökonomika ja juhtimine - TPI tööstus-
ökonomika kateedri dots. L. Möller.

4. Energiasüsteemide režiimid ja nende juhtimine -
TPI elektrisüsteemide kateedri juhataja dots. M. Valdma.

5. Nõukogude Liidu loodeosa energeetika arengukont-
septsioon - ENSV TA Termo- ja Elektrofüüsika Instituudi osa-
konnajuhataja prof. L. Krumm.

Eesmärgiks on ülalloeletatud probleemid lahendada esi-
meses lähenduses 1989. a. I kvartali lõpuks ja seega konk-
reetselt kaasa aidata IME realiseerimisele.

O. Tapupere

Power Engineering in Estonia

Abstract

A survey of the work of an expert group is presented here. The most important problems till the year 2005 are dealt with: energy production, energy utilization, oil shale processing, oil shale mining.

Information about a new temporary creative group "Kilowatt" whose task is to solve the problems of Estonian power engineering in the future is given.

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

UDK 621.31:338.98

K. Möller, L. Möller

ELEKTRIENERGIA TARIIFIDEST

Kui tööstustoodangu realiseerimisel on aluseks põhiliselt ettevõtte hulgihind, tööstuse hulgihind ja jaehind. Siis energiat realiseeritakse tariifide järgi, mille kinnitab NSV Liidu Riiklik Hinnakomitee.

Tariifid peavad kindlustama energia tootmise, ülekande ja jaotamise kulude katmise ning võimaldama energiasüsteemile kasumi saamise, stimuleerima nii tootjat kui tarbijat koormusgraafiku ühtlustamisele ning stimuleerima energiamahukate tootmisprotsesside otstarbekat paigutust Nõukogude Liidu territooriumil.

Elektrienergia kasutamise praegused tariifid /1/ kehtivad alates 1982. aastast. Nad on diferentseeritud energiasüsteemi (89 energiasüsteemi) ja mõnel juhtumil ka nende siseselt. Selline liigendatus on tingitud energia oma hinna suurest erinevusest NSV Liidu energiasüsteemides.

Kehtivas hinnakirjas /1/ on tariif diferentseeritud ka tarbijate liigi järgi - kokku on 12 tarbijate rühma.

NSV Liidus on kasutusel ühe- ja kaheastmelised tariifid.

Üheastmelise tariifi korral tasub tarbija ainult kasutatud energia eest. Seda rakendatakse tema lihtsuse tõttu väikese võimsusega (kuni 750 kVA) tööstustarbijate, kaubandus- ja ühiskondlike toitlustamise ettevõtete ning elanikkonna, samuti põllumajanduse ja suhteliselt stabiilse koormusega tarbijate (elektritransport, tänavavalgustus jt.) elektrivarustusel. Üheastmeline tariif hõlmab 11 tarbijate rühma.

Üheastmelise tariifi puuduseks on see, et ta ei stimuleeri tarbijat energiat ühtlasemelt kasutama, tippkoor-

muse ajal tarbimist vähendama. Selle tariifi ulatusliku rakendamise korral võib tekkida olukord, et energiasüsteemi püsivad tootmiskulud (amortisatsioonieraldised, palk jt.) jäävad katmata.

Üheastmelise tariifi puuduste tõttu tasub valdav osa tarbijaist (1 tarbijate rühm - tööstusettevõtted võimsusega 750 kVA ja rohkem ning nendega võrdsustatud tarbijad) elektrienergia kasutamise eest kaheastmelise tariifi alusel. Kaheastmeline tariif koosneb aastamaksust maksimaalvõimsuse eest ja tasust tarbitud elektrienergia eest. Maksimaalvõimsuse tasu Eestis on 42 rbl/kW, tarbitud elektrienergia hind - 1,5 kop/kW·h.

Kaheastmelise tariifi kasutamine tagab püsivkulude katmise energia tootmisel. Põhimõtteliselt peaks ta kindlustama ka energiasüsteemi tootmisvõimsuste ühtlasema kasutamise ja tippkoormuse vähendamise - tarbija huvitatuse tõttu.

Elektrienergia, nagu teistegi defitsiitsete ressurside jaotamine toimub limiitide alusel. Tarbimislimiidid or kehtestatud kõikidele tarbijate rühmadele peale elanikkonna. Limiididistsipliini rikkujate suhtes kehtivad ranged majandussanktsioonid: limiiti ületava elektrienergia tarbimise eest tuleb tasuda neljakordset ja võimsuse ületamise eest kümnekordset hinda. Kuid vaatamata nii neile kui teistele sanktsioonidele ületavad paljud tarbijad limiite ja maksavad energiasüsteemile trahve.

Järelikult ei ole tarbijat mõjutanud elektrienergiat ratsionaalsemalt kasutama ei kehtivad kaheastmelised tariifid ega tarbimise limiidid. Üheks põhjuseks on siin elektrienergia madal hind, mis ei vasta tema tarbimisomadustele. Siit tulenevalt on ostetava energia osakaal tööstustoodangu tootmiskulude struktuuris liiga väike (Eestis näiteks 2,6 %), avaldamaks mõju energia otstarbekamale kasutamisele, selle kokkuhoiule ja vähendamisele tootmisprotsessis. Eriti puudutab see väikese energiamahukusega tööstusharusid, nagu masina- ja aparaadiehitus, kerge- ja toiduainetööstus. Mainitud tööstusharude osakaal Eesti tööstuse struktuuris on valdav.

Senise tariifisüsteemi /1/ vähese efektiivsuse tõttu töötati välja uus /2/, mis kinnitati 12. juulil 1988 ja kehtestatakse 1990. aastast.

Uus tariifisüsteem peab tagama kogu elektroenergeetika, sealhulgas ka iga selle tööstusharu energiasüsteemi ning ettevõtte töö täieliku isemajandamise ja enesefinantseerimise tingimustes.

Uued elektrienergia tariifid on koostatud lähtudes NSV Liidu Riikliku Hinnakomitee poolt etteantud baasaasta kogu NSV Liidu elektroenergeetikatööstuse keskmisest plaanilisest elektrienergia omahinnast. Sealjuures on võetud arvesse omahinna suurenemine seoses kütuse hinna eelseisva tõusu, abimaterjalide kallinemise ja sotsiaalkindlustuse normatiivi muutmisega /3/.

Tariifide teiseks komponendiks on normatiivne kasum. Kasumi struktuur on kehtestatud vastavate tüüpeeskirjadega aastateks 1988 - 1990 täielikule isemajandamisele ja enesefinantseerimisele üleminevatele koondistele, ettevõtetele ja organisatsioonidele /4/. Normatiivne kasum on arvutatud samuti NSV Liidu Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministriumi kohta tervikuna. Ta sisaldab tootmise arendamise fondi, sotsiaal-kultuuriliste ürituste fondi, materiaalse ergutuse fondi, tootmisfondide maksu, eraldi riigieelarvesse, tööjõuressursside maksu ja hüdroelektrijaamadele rendimaksu vee eest /3/.

Nagu eeltoodust ilmneb, ei ole uute tariifide koostamise põhimõttes olulisi erinevusi, võrreldes senikehtinud hindade määramise praktikaga. Endiselt on aluseks senini "saavutatud" kulude tase ning rangelt normeeritud kasumi kasutamine. Samal ajal ei lülitata ei omahinda ega kasumisse paljusid tootmistegevusega seotud kulusid. Elektroenergeetikas on neist üheks olulisemaks kulud elektrienergia tootmisest tingitud keskkonnakahjustuste korvamiseks.¹

Näiteks paiskavad Eesti põlevkivielektrijaamad aastas õhku ligi 200 tuhat tonni lendtuhka, mis sisaldab palju kahjulikke, sealhulgas ka radioaktiivseid ja kantserogeenseid aineid, 150 tuhat tonni vääveldioksiidi ja 25 tuhat tonni lämmastikoksiide. Lisaks sellele saastatakse ka pinnast ning

¹ Veel puudulikum on põlevkivi omahind: kaevandamisest ja ladustamisest tingitud keskkonnakahjustuste arvestamata jätmise kõrval ei maksa ka maavara ise midagi.

pinna- ja põhjavett. Kahjulike ainete lubatud piirkontsentratsioonid on ületatud Kirde-Eestis kuni 10 korda. Selle tulemusena suureneb seal oluliselt inimeste suremus ja haigestumus, ka vähki. Põlevkivi kaevandamisest ja elektrienergia tootmisest tingitud saastamise majanduslik kahju võib ulatuda 100 miljoni rublani aastas. Sellises suuruses kahju suurendaks Eesti energiasüsteemi poolt väljastatava elektrienergia omahinda 49 % (1,28 kop/kW·h asemel saaksime 1,91 kop/kW·h).

Uue tariifisüsteemiga kehtestatakse kõikidele energiasüsteemidele ühesugused jäigad elektrienergia tariifid - kaheastmeline: 60 rbl/kW ja 1,5 kop/kW·h. Erandi moodustavad ainult mõned ekstreemsetes looduslikes tingimustes töötavad energiasüsteemid, kus energiatariifid on mitu korda kõrgemad kui mujal. Ühtsete tariifide kehtestamist põhjendatakse elektrivarustuse kõrge tsentraliseerimise tasemega. Energiasüsteemidele tagatakse tariifidest ette nähtud kasum riigieelarveeraldiste (käibemaks, tootmisfondide maks) diferentseerimisega NSVL Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeeriumi poolt /3/. Järelikult seab ka uus tariifisüsteem energiasüsteemid täielikku majanduslikku sõltuvusse keskametkonnast ja rikub sellega isemajandamise printsiipe.

Endiselt kehtib erinevate tarbijate rühmade tarvis erinev tariif, kuigi nende arvu on vähendatud 12-lt² 5-ni /2/.

Teatud positiivne nihe seisneb selles, et lõpetatakse põllumajandusele elektrienergia müümine tunduvalt alla omahinna.

Nii kehtivad /1/ kui ka uued /2/ tariifid võivad (tarbijaga kooskõlastatult) olla kolmeastmeliselt diferentseeritud ajatsoonide järgi (tipp-, pooltipp- ja öise koormuse aeg). Uus tariifisüsteem näeb ette elanike ja elektrisoojendusseadmete (alates 90 kW) tarbimise kaheastmelise maksustamise (ööine ja muu aeg). Ka siin ei tohiks tariifi sõltuvus süsteemi koormusrežiimist oleneda tarbija liigist (oleb aga isegi tarbija võimsusest!) ega olla nii jäigalt ette antud.

² Neist kaks tarbijate rühma kadus tegelikult alates 1985. aastast, mil lõpetati usuliste asutuste täiendav maksustamine mitmekordse elektrienergia tariifiga.

Paljudes maades on elektrienergia müümisel kasutusel mitu erinevat tariifisüsteemi, mille hulgast tarbija valib endale sobiva. Näiteks võib Soomes Jämsä elektrikäitiselt elektrienergiat ostes valida viie erineva ühe- kuni viieastmelise tariifi vahel. Seejuures on kasutusel energiataariifi sõltuvus ka aastaajast /5/. Veelgi variantiderohkem on Prantsusmaa uus (kehtestatud aastail 1982 - 1986) tariifisüsteem. On küllalt huvipakkuv, et seal 15 % kõrgepingevõrku lülitatud tarbijaist võimsusega üle 250 kW on valinud tariifi, mille korral tippelektrienergia on 25 korda kallim ööses. Uus tariifisüsteem vähendas oluliselt tippkoormust ja põhjustas kolmanda ööpäevase lokaalse koormusmaksimumi kella ühe paiku öösel, mis pühapäeviti on globaalne. Prantsusmaal on elektrienergia keskmine hind odavam kui enamikus Lääne-Euroopa maades /6/.

Vaadeldav tariifisüsteem /2/ ei hõlma energiasüsteemide vahelist arveldust, kuid annab piisava ettekujutuse selle kohta ka tuleviku jaoks. Nimelt nähakse ette, et tuumaelektrijaamad müüvad energiasüsteemidele elektrienergiat konstantse (ajas muutumatu) üleliidulise ühtse tariifiga³. Samuti ei olene energiasüsteemi ja plokkelektrijaamade vaheline arveldustariif koormusrežiimist.

Nagu praegu, nii ka edaspidi määrab energiasüsteemide vahelise arvelduse tariifi (vaadeldavas tulevikus ajast sõltumatu) NSVL Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeerium.

Vaatleme energiasüsteemide vahelise arvelduse mõningaid probleeme Eesti energiasüsteemi näite alusel. Esiteks on teistele energiasüsteemidele (Pihkva ja Läti) antava elektrienergia tariifid madalamad elektrienergia omahinnast. Selle tulemusena jäi "Eesti Energial" 1987. a. saamata 112 miljonit rubla tingituna Eesti tarbijatele ja väljapoole antava elektrienergia tariifide vahest, kusjuures eespool mainitud saast ja saastast tingitud kahju jääb meile. Teiseks loetakse Eesti energiasüsteemist Leningradi energiasüsteemi antav tipprežiimi elektrienergia samaväärseks sealt öösiti

³ See ei stimuleeri tuumaelektrijaamade võimsuse režiimilist reguleerimist, seda enam, et tuumaelektrijaamad ei allu NSVL Energeetika ja Elektrifitseerimise Ministeeriumile. See reguleerimine on aga väga vajalik ja mujal maailmas laialt kasutatav.

meile antavaga. Leningradi energiasüsteem ekspordib osa meilt saadud elektrienergiast valuuta eest Soome ja müüb oma tarbijatele tippelektrienergiat 2,5 korda kallimalt kui õist /7/. Selle arvel jäi "Eesti Energial" 1987. a. saamata umbes 15 miljonit rubla, arvestamata valuutat (Leningradile müüdi 1,00 TW·h tippenergiat, osteti 2,32 TW·h õist, Lenenergo müügitariifide vahe on 1,5 kop/kW·h /7/).

Nii kehtivas kui ka uues tariifisüsteemis on ette nähtud tariifiparandused olenevalt energiasüsteemist väljastatava energia kvaliteedist. Uues tariifisüsteemis on selles osas astutud samm tagasi: sageduse hälbest tingitud tariifimuutusest moodustuvad summad kantakse tsentraliseeritud korras NSV Liidu riigieelarvesse, kuigi sellest põhjustatud kahju tekib elektrienergia tarbijal.

Uues tariifisüsteemis on astutud esimene väike samm seadmaks tariifi sõltuvusse tarbija elektrivarustuse töökindlusest. Nimelt lubatakse seda rakendada (väga üldises sõnastuses) elektrienergia müümisel põllumajandustarbijatele mõlemapoolse kokkuleppe alusel.

Elektrienergia tarbimist suurendavalt mõjub uue tariifisüsteemi klausel, mille järgi tarbija tasub ka siis lepingus ette nähtud maksimumvõimsuse eest, kui ta tegelikult tarbib väiksemat võimsust.

Selleks et energiaressursside hinnad vastaksid kaasaaja nõuetele, tuleks nad määrata optimaalse planeerimise meetodil. Paraku kasutatakse optimeerimismudeleid ning isegi neist lähtuvaid põhimõtteid hindade ning plaani- ja projektarvutustes liiga vähe. Erandiks on siin kütuse-energiakompleks, kus juba 1970. aastate algul võeti kasutusele kütuse ja elektrienergia sulgevate kulude süsteem /8/.

Elektrienergia sulgevad kulud võtavad arvesse tarbimisrežiimi. Tippkoormuse ajal on elektrienergia sulgevad kulud ligi kolm korda suuremad kui elektrienergia ühtlase tarbimise korral aasta vältel. Koormusnõo ajal kasutatava elektrienergia sulgevad kulud aastatel 1981-1985 on isegi madalamad elektrienergia täisomahinnast Eesti energiasüsteemis /9/.

Viimasel ajal on tunduvalt täiendatud sulgevate kulude arvutamise meetodikat. On laiendatud kütuste arvu, mille kohta kulud arvutatakse. Sõele, gaasile ja masuudile on lisandu-

nud nafta, selle töötlemise saadused ja tuumkütus. Metoodikat on täiendatud ajateguri hindamise osas sulgevates kuludes, ööpäevaste, nädala- ja aastasiseste tootmis- ja kasutusrežiimi kõikumiste arvessevõtmise osas, dünaamilise rendi, s.t. loodusvarasid kallimaks muutvate tegurite kvantitatiivse hindamise osas jne. /10/.

Seoses eelseisva hinnareformiga on tehtud ettepanekuid võtta elektrienergia sulgevad kulud aluseks uute tariifide kehtestamisel /11/. Sellel eesmärgil on omakorda metoodikat täiendatud, töötatud välja mudel 12-astmelise elektrienergia tariifi arvutamiseks /12/. Need ettepanekud ei ole kahjuks uues tariifisüsteemis /2/ rakendamist leidnud.

Järeldused:

1. Uus tariifisüsteem /2/ ei taga energiasüsteemi ja selle ettevõtete täielikku isemajandamist ega ole kasutatav IME tingimustes.

2. On vaja välja töötada Eesti energiasüsteemi majandamise põhimõtted ning uus tariifisüsteem elektrienergia (ka soojusenergia) müümiseks Eestis.

See tariifisüsteem peab arvestama

- vajalikke kapitaalmahutusi ja elektrienergia omahinda, mis sisaldaks ka loodusressursside ja keskkonnakahjustuste maksumuse,

- elektrienergia tarbimise aega nii ööpäeva, nädala, kuu (kuni esineb tootmises tormamist) ja aasta jooksul,

- elektrivarustuse töökindlust palju laialdasemalt kui hinnakirjas /2/,

- elektrienergia kvaliteeti,

- elektrienergia ostu-müügilepingute rikkumist.

Tariifid ei tohi oleneda tarbija liigist, s.t. elektrienergia kasutamise otstarbest.

3. Tuleb loobuda elektrienergia kasutamise praegusest administratiivsest limiteerimisest.

4. On vaja välja töötada Eesti energiasüsteemi koostöö põhimõtted teiste energiasüsteemidega ja energia ostu-müügi tingimused ning tariifid.

5. Tuleb välja töötada maksete süsteem energia tootmise ja ülekandmise loodust kahjustava mõju korvamiseks, mis stimuleeriks saastamise vähendamist ja võimaldaks fi-

nantseerida mõjusaid keskkonnakaitse meetmeid.

6. Tuleb tagada uue efektiivse tariifisüsteemi evitamiseks vajaliku riistvara (peamiselt energiaarvestite süsteem) hankimine, võimalik, et ka tootmine Eestis.

Kirjandus

1. Прейскурант № 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию, отпускаемую энергосистемами и электростанциями Министерства энергетики и электрификации СССР. М., 1980. 47 с.
2. Прейскурант № 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию. М., 1988. 18 с.
3. Денисов В.И., Минасбеков Е.А. Основные задачи совершенствования тарифов на электрическую и тепловую энергию // Электрические станции. 1988. № 2. С. 23 - 28.
4. Типовое положение о нормативном методе распределения прибыли на 1988-1990 годы по объединениям, предприятиям и организациям, переведенным на полный хозяйственный расчет и самофинансирование. М., 1987. 6 с.
5. Jämsän Sähkö Oy. Kertomus vuodelta 1986. Koupilahtinen, 1987. 33 s.
6. Васильев Г.М. Новые тарифы на электроэнергию во Франции // Энергохозяйство за рубежом. 1986. № 3. С. 28-32.
7. Воскобойников Д.М. Экономическое стимулирование рационального использования электроэнергии в промышленности. М., 1988. 79 с.
8. Руководящие Указания к использованию в технико-экономических расчетах показателей замыкающих затрат на топливо, электрическую и тепловую энергию. М., 1972. 64 с.
9. Taltis, V. Elektritseerimise majanduslik efektiivsus. Tln., 1974. 86 lk.

10. Макаров А., Бесчинский А. Замыкающие затраты на топливо и энергию // Вопросы экономики. 1982. № 3. С. 33-41.
11. Цены нужно менять / В.А. Волконский, А.И. Кузовкин, Р.В. Орлов и др. // Энергия: экономика, техника, экология. 1987. № 6. С. 18-22.
12. Волконский В.А., Кузовкин А.И. Замыкающие затраты и оптимальные тарифы на электроэнергию // Экономика и математические методы. Том 23. 1987. № 1. С. 95-109.

K. Möller, L. Möller

Electric Energy Tariffs

Abstract

The present tariff system is being analysed, as well as the one to be put into operation in 1990. A few proposals for the improvement of the tariff system have been presented here. The authors recommend to take into consideration the cost of environmental pollution, the time of power consumption, power supply reliability, the quality of energy and other factors.

PÕLLUMAJANDUSLIKEST PISIELEKTRIJAAMADEST

Viimasel ajal tehakse ettepanekuid võtta uuesti kasutusele pärast sõda rajatud väikesed hüdroelektrijaamad. Sellega seoses tuleks märkida järgmist.

NSV Liidus oli sellal põllumajandustarbivate elektri- varustus riiklikust energiasüsteemist administratiivkorras keelatud. Seega oli väikeste hüdroelektrijaamade (kus see oli võimatu - seal väikeste soojuselektrijaamade) ehitamine põllumajanduse elektrifitseerimise sundlahendus. Elektriühitud, mille ülesanne oli Eesti Vabariigis olnud suurtest elektrijaamadest saadava energia jaotamise ja tarbimise korraldamine, hakkasid selle kõrval ehitama ka väikesi elektrijaamu. 1949. a. 1. jaanuari seisuga oli Eestis põllumajanduse (kaasa arvatud sovhoosid ja masina-traktorijaamad) elektrivarustuseks 43 hüdro- (koguvõimsus 1138,4 kW) ja 53 soojus- (1345,3 kW) elektrijaama ning 295 trafoalajaama (8209,5 kVA). Viimased said elektrienergia riiklikust energiasüsteemist (1948. a. 3,73 GW·h ehk 67,6 % põllumajandustarbimisest). Sellal oli uute alajaamade ja elektriliinide ehitamine intensiivsemgi kui uute pisielektrijaamade rajamine /1/.

Aastail 1948-1949 koostatud Eesti põllumajanduse elektrifitseerimise perspektiivkava (kuni 1965) järgi tuli ehitada palju väikesi hüdro- ja soojuselektrijaamu (turbaküttel). Kava koostajatel oli selge, et sellest ei piisa. Seepärast pidid põhiosa põllumajandusele vajalikust elektrienergiast andma kaks suuremat spetsiaalset elektrijaama - üks (võimsusega 100 MW) põlevkivibasseinis ja teine (50 MW) Lavassaares (turbaküttel). Aastail 1951-1955 ehitati 155 põllumajanduslikku väikeelektrijaama summaarse võimsusega 5200 kW /1/.

Alles pärast NLKP 1953. a. septembripleenumit otsusta-

ti lubada põllumajandust elektrifitseerida riiklikust energiasüsteemist. 1955. aastast alates ei alustatud Eestis enam uute põllumajanduselektrijaamade ehitamist.

Eesti põllumajandus sai siiski tänu varasemale traditsioonile ja praegusega võrreldes palju nõrgemale tsentralisatsioonile kogu aja enamuse vajalikust elektrienergiast riiklikust energiasüsteemist.

1960. a. tootsid põllumajanduselektrijaamad 17,7 GW·h elektrienergiat, mis moodustas 26,2 % põllumajanduse tarbimisest ja 1,46 % kogu Eesti omast; 1986. a. tarbitud elektrienergiast aga ainult 0,37 %. Umbkaudu veerandi kuni poole sellest andsid hüdroelektrijaamad. Nii et nende osa oleks tänapäeval 0,1 % Eesti tarbimisest. Seega on omaaegsete hüdroelektrijaamade ennistamise arvel võimatu lahendada täna-seid-homseid energeetikaprobleeme.

Selliste väikeste hüdroelektrijaamade loodust säästav mõju on küllalt suur - tunduvate alade (näiteks Saesaares Ahja jõe väga kauni ürgoru) üleujutamine; põhja- ja pinnavee režiimi muutumine ülal- ja allpool paisu jms. Sellele lisandub ehituseks vajaliku tsemendi, metalli, seadmete, töövahendite jne. tootmisest tingitud saast.

Väikeelektrijaamade energia oli kallis - omahind ületas 3 - 5 korda Eesti toonaste suurte põlevkivielektrijaamade oma. Vesi ei maksnud midagi (looduskahjustusi arvestamata), kuid hüdrojaamade ehitamine ja kasutamine oli ühe võimsuseühiku kohta väga kallis ja väga tööjõumahukas. Nende kasutusaeg jäi lühikeseks (10 - 20 a.). Väikehüdroelektrijaamade ehitamine ei olnud majanduslikult põhjendatud. Samade vahenditega saanuks ehitada hulgaliselt ka veel täna ja homme vajalikke elektriline ning alajaamu. Ka nende rajamisel saanuks kasutada noorte entusiasmi ja energiat.

Väikeste soojuselektrijaamade (eriti diiselmootoriga) ehitamine ajutise lahendusena (kuni elektrivõrkude väljaehitamiseni) oli täiesti õigustatud.

Praegu on tihti lugeda liiga optimistlikke seisukohavõtte tuuleenergia kasutamise kohta. Ka see on mitu korda kallim põlevkivielektrijaamade elektrienergiast.

Sellel, miks minihüdrojaamad Eesti väikejõgedel, tuuleelektrigeneraatorid, aga samuti paljud teised taastuvaid energiaressursse (päikese-, lainete-, ookeanivee soojusener-

giat¹⁾ kasutavad elektrijaamad ennast tänapäeval ja vaadel-
davas tulevikus suures energeetikas ei õigusta, on üsna liht-
ne üldine põhjus: kõik need energiaressursid esinevad ha-
jutatud kujul, liiga vähe kontsentreeritult. Seepärast on
vaja kulutada ühe võimsuseühiku kohta väga palju materjale,
mille tootmine on kallis ja saastab loodust.²⁾ Eriti palju
kahjustab keskkonda fotoelementide valmistamine vahetult
elektrienergia saamiseks päikeseenergiast. Nende energia-
ressursside lokaalne kasutamine võib aga olla tänapäevalgi
otstarbekas. Näiteks töötab praegugi 1946. a. käiku lastud
Keila-Joa pishüdroelektriijaam (võimsus 170 kW). Samuti võib
osutada otstarbekaks mõne teisegi ennistamine.

Kirjandus

K a l a, K. Eesti elektrifitseerimise ajalugu. Tln.: Valgus,
1974. 268 lk.

K. Möller

Small Agricultural Hydroelectric Power Plants

Abstract

The present paper gives a short survey of small agri-
cultural hydroelectric power plants built after the war.
Excessive resource costs per power unit and unjustified.
Nature pollution are pointed out. Hydroelectric power plants
of that time would be able to produce about 0.1 % of
Estonia's consumption today.

1 Tegelikult on nii orgaaniline küitus kui ka hüdro-,
tuule-, laineenergia ja ookeanivee soojus päikeseenergia
muundunud vormid.

2 Helsinki Tehnikaülikooli professori Erkki Voipio
andmetel kulus Soomes töötava 300-kW tuulegeneraatori
valmistamiseks (Taanis) rohkem energiat, kui ta oma tööea
jooksul genereerib. "Imatran Voima" andmetel on selle
tuulegeneraatori kasutamise efektiivsus (installeeritud
võimsuse kasutatavus) kuus korda väiksem kui soojuselekt-
rijaamal.

ENERGIASÜSTEEMI REŽIIMI OPTIMEERIMISEST
ISEMAJANDAMISE TINGIMUSTES

Energiasüsteemi (ES) põhiülesandeks on tarbijate pidev varustamine kvaliteetse elektrienergia ja soojusega optimaalses režiimis. Et seda eesmärki saavutada, tuleb pidevalt juhtida ES-i režiimi. Keerukaimaks probleemiks seejuures on optimaalse režiimi määramine ehk režiimi optimeerimine.

Mõiste "optimaalne režiim" tähendab parimat režiimi, mis antud tingimustes on võimalik. See on režiim, mille puhul on täidetud kõik ES-i režiimile esitatud nõuded (töökindluse, energiakvaliteedi, keskkonnakaitse jt. nõuded) ning mis tagab ühe või mitme näitaja suhtelise optimaalsuse, näiteks ES-i režiimist sõltuvate kulutuste miinimumi antud kitsenduste korral.

ES-i režiimi optimaalsus saavutatakse peamiselt seadmete koosseisu ja nende vahelise koostöö optimeerimisega. Režiimi optimeerimise ülesanded võib jagada nelja klassi: 1) seadmete koosseisu optimeerimine, 2) ES-i konfiguratsiooni optimeerimine, 3) koormusjaotuse ja mitmete režiimi parameetrite optimeerimine, 4) seadmete remondigraafikute optimeerimine.

Sisuliselt kujutab ES-i režiimi optimeerimise probleem endast ühtset ülesannet, olles seotud ka ES-i arengu juhtimise ülesannetega. Seejuures on ühe ajahetke režiimi optimeerimine tihedalt seotud režiimi planeerimisega eelolevaks ajavahemikuks. Seepärast tuleb ES-i režiim optimeerida komplekselt pikaks ajaperioodiks (tavaliselt aastaks) ette. Sama kehtib ka ühendenergiasüsteemide ja NSVI ühtse ES-i kohta. Kuid nii keerukaid optimeerimisülesandeid ei ole võimalik otseselt lahendada. Seepärast tuleb globaal-

ne režiimi optimeerimise ülesanne jagada alamülesanneteks ja moodustada neist sellised hierarhilised süsteemid, mille kooskõlastatud lahendamine oleks küllalt lihtne ning ekvivalentne globaalse režiimi optimeerimise ülesande lahendamiseks. Kõrvuti ülesannete dekompositsiooni probleemidega kerkivad esile ka ülesannete hierarhianivoode vahelise koordineerimise probleemid.

Režiimi optimeerimise ülesandeid dekomponeeritakse mitmesuguste põhimõtete alusel /1-4/:

1) territoriaalse põhimõtte ja objekti liigi järgi - agregaadid, elektrijaama, jaotusvõrgu, toitevõrgu, regionaalset ES-i, ühendenergiastüsteemi, riigi ühtset ES-i ja riikidevahelise ES-i režiimi optimeerimine;

2) optimeeritava ajaperioodi pikkuse järgi - jooksva ajahetke režiimi automaatoptimeerimine, režiimi operatiivne optimeerimine (optimeeritakse režiim eelolevaiks minuteiks ja tundideks), lühiajaliste režiimide optimeerimine (optimeeritakse režiim eelolevaks ööpäevaks ja nädalaks), pikaajaliste režiimide optimeerimine (optimeeritakse režiim eelolevaiks kuudeks, kvartaliteks ja aastateks);

3) režiimi liigi järgi - normaal-, peaaegu normaal-, avarii- ja avariijärgse režiimi optimeerimine;

4) juhitavate faktorite järgi - aktiivvõimsuste optimeerimine, reaktiivvõimsuste ja pingete optimeerimine, režiimi kompleksne optimeerimine, seadmete koosseisu optimeerimine jne.

Tähtis küsimus on lähteinfo õige ja ratsionaalne kasutamine. Seejuures tuleks lähtuda eeldusest, et info mis tahes objekti (parameetri, protsessi, funktsiooni jne.) kohta võib olla avaldatud erinevas vormis ning olla erinevat liiki /3/:

1) determineeritud info - on antud objekti konkreetne väärtus või olek;

2) tõenäosuslik info - on antud objekti tõenäosuslikud karakteristikud;

3) määramatu info - on antud tõenäosuslike karakteristikute võimalike väärtuste hulgad (intervallid) (tõenäosuslikult määramatu info) või objekti võimalike väärtuste hulgad (puhtalt määramatu info);

4) ebamäärane info - objekti tõenäosuslike karaktere-

ristikute või objekti väärtuste hulgad on antud ebamääraselt ning kujutavad endast ebamääraseid hulki. Esimesel juhul nimetatakse infot tõenäosuslikult ebamääraseks, teisel juhul - puhtalt ebamääraseks.

Infot mingi objekti kohta nimetatakse täielikuks, kui selle objekti kohta on olemas täpne determineeritud info. Ülejäänud juhtudel on info mittetäielik. Režiimide optimeerimiseks vajalik lähteinfo on täielik siis, kui on teada täpne determineeritud info sihifunktsiooni, kitsenduste ja kõigi mittejuhitavate faktorite kohta ning kui on teada, et optimaalne režiimi plaan täpselt realiseeritakse. Tegelikult on režiimide optimeerimiseks vajalik info alati mittetäielik. Info on seda puudulikum, mida suuremat ja keerukamat objekti käsitleme ning mida pikema ajaperioodi peale ette tahame režiimi optimeerida. Info mittetäielikkus on tingitud paljude juhuslike faktorite mõjust, ES-i režiimi muutumise juhuslikust iseloomust ja ES-i äärmisest keerukusest. Seejuures ei realiseerita režiimiplaane mitte täpselt, vaid hälvetega. Viimaste suurust ei ole võimalik täpselt ette prognoosida. Seoses info vaegusega kerkib üles kaks tähtsat ülesannet: 1) täiustada ES-i infosüsteemi ja protsesside prognoosimise meetodikat, et suurendada lähteinfo täpsust, 2) välja töötada matemaatilised mudelid ja meetodid režiimide optimeerimiseks mittetäieliku info tingimustes.

Käesolevas artiklis ei vaadelda lähteinfo saamise küsimusi. Lähteinfo täpsust on võimalik teatud määral suurendada, kuid vaatamata sellele jääb režiimide optimeerimiseks vajalik info ikkagi mittetäielikuks. Seepärast on väga tähtis ka teine suund - režiimide optimeerimine mittetäieliku info alusel.

ES-i režiimi optimeerimise probleemi on aastakümneid uuritud kui deterministlikku optimeerimise ülesannet, eeldades, et kõik vajalikud lähteandmed on täpselt teada ning iga arvutuslik optimaalne režiim muutub ka tegelikuks režiimiks. Esimesed teaduslikud artiklid sel alal ilmusid juba 1919. a. Käesolevaks ajaks on välja töötatud mitmeid režiimi determineeritud optimeerimise matemaatilisi mudeleid, meetodeid ja arvutiprogramme /5, 6/. Kuid selline reaalse olukorra idealiseerimine tekitab süstemaatilisi vigu režiimide optimeerimisel ega taga õiget koostööd ES-i ele-

mentide vahel. Seepärast tuleb ES-i režiimi vaadelda kui keerukat juhitavat stohhastilist süsteemi ning püstitada režiimi optimeerimise ülesanded, arvestades lähteinfo mittetäielikkust ja režiimi parameetrite juhuslikke hälbeid.

Huvi režiimide stohhastilise optimeerimise probleemi vastu hakkas kasvama 1960. aastate teisel poolel ning tänapäeval on selle probleemi uurimine juba võrdlemisi laialdane /5, 6/. TPI elektrisüsteemide kateedris tegeldakse ES-i režiimide optimeerimise probleemidega mittetäieliku info tingimustes alates 1962. aastast. Käesolevaks ajaks on välja töötatud ühtsed teoreetilised alused ja plaaniliste karakteristikute meetod režiimi optimeerimiseks tõenäosusliku ja määramatu info alusel /7/. Samuti on loodud ja juurutatud mitmeid arvutiprogrammide komplekse - režiimide statistilise analüüsi programmikompleksid STATAN, plaaniliste karakteristikute arvutamise programmid PLANHOP, soojuselektrijaamade režiimide optimeerimise programmikompleksid OPTES ja ES-ide lühiajaliste režiimide optimeerimise programmikompleksid OPEES. Seejuures arendatakse koostööd ENSV TA Termofüüsika ja Elektrofüüsika Instituudiga, Helsinki Tehnika Ülikooliga, Siberi Energeetika Instituudiga jt. Programmikomplekse on juurutatud Eesti ES-is, NSVL Ühtse Energiasüsteemi Keskdirektoraadis jm.

Vastavalt info liigile võib ka optimeerimine olla mitut liiki /3/. Determineeritud optimeerimine tähendab parima variandi leidmist konkreetsele olukorrale. Tõenäosuslikul optimeerimisel leitakse tavaliselt keskmiselt optimaalsed režiimid, mis vastavad tõenäosuslikule lähteinfole. Määramatu tingimustes on optimeerimise põhilisteks kriteeriumideks minimakskriteeriumid, eriti minimaksse riski kriteerium. Selline lähenemisviis võimaldab lähteinfo täielikumal kasutamisel tõsta režiimi optimeerimise täpsust ja samal ajal on võimalik tunduvalt lihtsustada ülesande lahendamist. Kuid režiimi optimeerimise probleem mittetäieliku info tingimustes ei ole veel kaugeltki lahendatud. Üheks aktuaalseks probleemiks on optimeerimine ebamäärase info alusel. Info mittetäielikkust tuleb hakata arvestama kõikide režiimi juhtimise ülesannete püstitamisel ja lahendamisel.

Seni on regionaalsete ES-ide, ühendenergiasüsteemide ja ühtse ES-i režiimide optimeerimise probleemi NSV Liidus

käsitletud kui ühtset ülesannet, mille eesmärgiks on režiimist sõltuvate kulutuste (tavaliselt summaarse tingkütuse kulu või summaarsete kütusele tehtavate kulutuste) minimeerimine terve NSV Liidu ühtses ES-is. Juhul kui regionaalsed ES-id ja ka mitmed energeetikaettevõtted lähevad üle isemajandamisele, säilivad praktiliselt kõik ülalvaadeldud probleemid, kuid tuleb juurde ka rida spetsiifilisi küsimusi.

Vaatleme juhtumit, kui regionaalne ES on isemajandav ja kuulub ühendenergiastüsteemi. Siis on võimalikud mitmesugused variandid:

1. Süsteemidevaheliste võimsuste graafikud ja hinnad määratakse lepingute alusel. ES-ide vahel on sagedust muundavad lülid, mis võimaldab ES-idel töötada erinevate sagedustega. Selle variandi puhul toimub režiimide optimeerimine ja sageduse reguleerimine igas ES-is eraldi. Vahetusvõimsuste graafikuid on võimalik ka optimeerida ühendenergiastüsteemi seisukohast.

2. Sama, kuid ES-id töötavad ühtsel sagedusel. Siis toimub režiimi jooksev optimeerimine igas ES-is põhiliselt isoleeritult, etteantud vahetusvõimsuse graafikute korral. Sageduse ja vahetusvõimsuse kõrvalekallete reguleerimine toimub ühendenergiastüsteemis kõigi ES-ide osavõtul. On võimalik vahetusvõimsuse graafikute pikaajaline optimeerimine ühendenergiastüsteemi seisukohast. Saadav kasum ühendenergiastüsteemis režiimi ühisest reguleerimisest ja optimeerimisest tuleb jagada ES-ide vahel võrdeliselt nende panustele ühistegevusse.

3. Süsteemidevaheliste võimsuste graafikud ja hinnad optimeeritakse mitme kriteeriumi järgi, kus iga regionaalne ES püüab oma kasumit maksimeerida ning samal ajal püütakse minimeerida režiimist sõltuvaid kulutusi ühend- ja ühtses ES-is. ES-ide koostööst saadav ökonomia tuleb jagada süsteemide vahel võrdeliselt nende panustele.

Tähelepanu vääriavad ka mitmed vahepealsed variandid. Näiteks variant, kus üks süsteem määrab elektrienergia hinna graafikud ja teine - vahetusvõimsuse graafikud. Kõikide variantide puhul tuleb lepingutes fikseerida ka vastastikune abi režiimi reguleerimisel ja avariiolekordade vältimisel ning likvideerimisel.

Analoogilised probleemid tekivad ka ES-i sisese režiimi optimeerimisel, juhul kui elektrijaamad ja võrguettevõtted on majanduslikult iseseisvad.

Seega seoses ES-ide ja energeetikaettevõtete ülemine- kuga isemajandamisele kerkivad üles ka uut tüüpi režiimi op- timeerimise ülesanded. Muutuvad optimeerimise kriteeriumid ja lisatingimused. Elektrienergia müümine teistele ES-idele ja ostmine teistest ES-idest peaks toimuma üldjuhul mitte konstantse hinna, vaid ajas muutuvate hinnagraafikute või hinnafunktsioonide alusel. Ka energia müümiseks oma süsteemi tarbijatele tuleks kehtestada ööpäeva jooksul muutuvad ener- giatarifiid. Lisaks sellele tuleks välja töötada metodika, mis võimaldaks hinnata ES-ide ja nende osade panust süstee- mi kui terviku optimeerimisse ning metodika saadud efekti jaotamiseks osaliste vahel. Seejuures saab osaliselt kasu- tada väliskirjanduses soovitatud meetodeid ühendenergiasüs- teemide (energiapuulide) režiimide optimeerimiseks /8/, kuid ka need meetodid ei ole veel küllaldaselt välja töötatud.

Kuigi ES-ide režiimide optimeerimine on keerukas tea- duslik ja tehniline probleem, mis vajab ratsionaalset lahen- damist ning mille uurimist on vaja jätkata, on see suhteli- selt odav moodus kütuse kokkuhoiuks ja ES-ide töö efektiiv- suse tõstmiseks. Režiimi optimeerimine võimaldab praktili- selt ilma täiendavate kapitaalmahutusteta ainult info vasta- va töötlemise teel ning arvutustulemuste realiseerimise abil vähendada kütusekulu ja keskkonna saastamist ES-is keskmiselt 1-4 % ning seejuures tagatakse režiimi vastavus kõigile teistele nõuetele. Seepärast tasuvad teaduslikule uurimis- tööle kulutatud summad end kiiresti. Eriti aktuaalseks muu- tub režiimide optimeerimine isemajandamise tingimustes.

Edaspidises uurimistöös tuleks põhitähelepanu pöörata järgmistele probleemidele:

- 1) ES-ide režiimide optimeerimise ja analüüsi teooria arendamine, arvestades info mittetäielikkust, isemajandamist jt. asjaolusid;
- 2) ratsionaalse metodika väljatöötamine Eesti ES-i ja selle alamsüsteemide režiimide optimeerimiseks isemajanda- mise tingimustes;
- 3) probleemorientatsiooniga instrumentaalse ekspert- süsteemi loomine ES-i režiimi optimeerimisülesannete lahen- damiseks;
- 4) adaptiivse režiimi optimeerimise süsteemi välja- töötamine;

5) probleemorientatsiooniga tehisintellekti loomine
E3-i juhtimisülesannete lahendamiseks.

Kirjandus

1. К р у м м Л.А. Метод приведенного градиента при управлении электроэнергетическими системами. Новосибирск: Наука, 1977. 368 с.
2. Автоматизация управления энергообъединениями / Под ред. С.А. Савалова. М.: Энергия, 1979. 432 с.
3. В а л д м а М.Х. Исходные положения оптимизации режимов энергетических систем в условиях неполной информации // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1983. № 549. С. 3-18.
4. Анализ и управление установившимися состояниями электроэнергетических систем / Н.А. Мурашко, Ю.А. Охорзин, Л.А. Крумм и др. Новосибирск: Наука, 1987. 240 с.
5. К р у м м Л.А. Методы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами. Новосибирск: Наука, 1981. 320 с.
6. С о в а л о в С.А. Режимы единой энергосистемы. М.: Энергоатомиздат, 1983. 384 с.
7. В а л д м а М.Х. Оптимизация режимов энергетических систем по непрерывным параметрам в условиях неполной информации: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 1987. 40 с.
8. Н а р р Н.Н. Optimal power dispatch - A comprehensive survey // IEEE Transactions on Power Apparates and Systems, 1977, PAS-96, p. 841-855.

Optimization of Power System under Selfcontrolled
Conditions

Abstract

The optimum operation problem of a regional power system has been introduced in the present paper. Main attention has been paid to the methods of coordination of interchange powers between interconnected regional systems in a power pool.

UDK 621.311.016

P. Raesaar, E. Tiigimägi, J. Valtin

EESTI ENERGIASÜSTEEMI PÕHIVÕRGU PÜSIREŽIIMI
HINDAMISE METOODIKA

Sissejuhatus

Energiasüsteemi (ES) kvaliteetseks dispetšjuhtimiseks on vaja usaldusväärset informatsiooni süsteemi režiimidest. Põhiline lähteinformatsioon saadakse režiimi parameetrite mõõtmiste teel. Kuna need sisaldavad vigu (sageli küllalt suuri) või võivad osaliselt hoopis puududa (mõõteriistade, sidekanalite jne. häirete ning rikete tõttu), siis ei võimalda nad saada usaldusväärset andmebaasi. Mõõtmistulemuste lihtne töötlus (etteantud piirides oleku kontroll, haru otstes mõõdetud võimsusvoogude võrdlemine, Kirchhoffi I seaduse rakendamine üksikutes sõlmedes, haru võimsusvoo ja võimsuslülitite asendisignaali võrdlemine jne.) annab ainult väga jämedatest mõõtmisvigadest osaliselt puhastatud andmebaasi, mille usaldatavus on madal. Toodud põhimõtted on aga igati otstarbekad mõõtmistulemuste eeltöötlusel, selgitamiseks võrgu konfiguratsiooni ja tõstmaks edasise töötuse efektiivsust.

Põhimõtteliselt maksimaalse usaldusväärusega andmebaasi antud mõõtmisüsteemi juures annab ES-i režiimi hindamine (estimeerimine). Viimane kujutab endast elektrivõrgu matemaatilisel mudelil baseeruvat andmehõivet arvutite abil, et puhastada mõõtmistulemused juhuslikest mõõtmisvigadest ja suurtest häiretest ning arvutada (hinnata) mittemõõdetavad suurused.

Erilist tähtsust omab režiimide hindamine sidusjuhtimisel, kus ta täidab samasugust rolli kui püsirežiimi arvutamine vallasjuhtimisel. Sidusjuhtimisel on hindamise tu-

lemused aluseks sellistele dispetšjuhtimise ülesannetele, nagu režiimi seire, töökindluse ja häirete analüüs, režiimi optimeerimine jne.

Lähtudes ES-i dünaamika arvestamisest, eristatakse staatilist hindamist, mis toimub ühe ajahetke andmete alusel, ja dünaamilist hindamist, kus arvestatakse režiimi dünaamikat. Kuna dünaamiline hindamine puhtal kujul on väga keerukas ning nõuab suuri arvutiressursse, siis maailma praktikas ta sidusrakendustes kasutamist pole leidnud.

Käesolevas artiklis vaadeldakse Eesti energiasüsteemi põhivõrgu sidusjuhtimiseks väljatöötatud staatilise hindamise põhimõtteid. Arvutusmetoodika ja algoritmide valikul ning programmimoodulite koostamisel on arvestatud nõudeid töökiirusele sidusarvutustel, samuti "Eesti Energia" keskdirigetsentralituse suhteliselt piiratud arvutiressursse (raalid CM-4). Lähtudes viimasest on vaadeldava põhivõrgu maht piiratud 60 sõlmega ja 120 haruga. Arvutiressursside avardamisel on võimalik mahtu laiendada.

Hindamine kaalutud vähimruutude meetodil
(baasalgoritm)

ES-i režiimi hindamise eesmärgiks kitsamas mõttes on leida režiimi sõltumatute parameetrite vektori X hinnang \hat{X} , s.o. vektori X väärtus, mis minimeerib jääkide vektori

$$r = Z - h(X) \quad (1)$$

mingis mõttes, kus

Z - mõõdetavate suuruste vektor, mille komponentideks on aktiiv- ja reaktiivvõimsusvoogude P_{ij} ja Q_{ij} , aktiiv- ja reaktiivvõimsuste injeksioonide P_i ja Q_i ning pingete U_i mõõtmised;

X - sõltumatute parameetrite vektor, mille komponentideks on vastavalt üldlevinud praktikale valitud pingete nurgad (vektor Θ) ja moodulid (vektor U);

$h(X)$ - püsirežiimi arvutustest tuntud võrguvõrrandite vektorfunktsioon, mis seob vektoreid Z ja X . Programmeeritud on maksimaalsele võrgule ja mõõtmiste koosseisule vastav $h(X)$. Võrgu struktuuri või mõõtmiste koosseisu muutumisel $h(X)$ korrigeeritakse.

Ülesande (1) efektiivseks ja väga laialt levinud lahendusinstrumendiks on kaalutud vähimruutude meetod. Selle puhul on režiimi hinnang \hat{X} defineeritud kui vektori X väärtus, mis minimeerib kaalutud kõrvalekallete ruutude summa:

$$J(X) = [Z - h(X)]^T R^{-1} [Z - h(X)], \quad (2)$$

kus indeks T tähistab transponeeritud maatriksit;

R - mõõtmisvigade kovariatsioonimaatriks. Kuna hinnang on maatriksi R suhtes vähetundlik, siis arvestatakse ainult R -i diagonaalelemente, s.o. mõõtmisvigade dispersioone. Praktika näitab /1/, et tulemuste täpsuse aspektist on mõõtmisvigade standardhälbed kõige sobivam leida seostega kujul $b \cdot TS$, kus TS on mõõteriista skaala ulatus, b - konstant. Sellise kuju oluliseks eeliseks on ka dispersioonide sõltumatus režiimist.

Seega peab vektor \hat{X} rahuldama mittelineaarset vektorvõrrandit

$$\text{grad} J = \frac{\partial J}{\partial X} = 2H^T(\hat{X}) R^{-1} [Z - h(X)] = 0, \quad (3)$$

kus $H(X) = \frac{\partial h(X)}{\partial X} \Big|_{X=\hat{X}}$ - vektorfunktsiooni $h(X)$ jacobiaan.

Normaalvõrrandid /3/ lahendatakse iteratiivse protseduuriga:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k)}; \quad (4)$$

$$G^{(k)} \Delta X^{(k)} = b^{(k)}, \quad (5)$$

kus G - nn. kasvumaatriks;

b - vabaliikmete vektor.

Lineariseerides funktsiooni $h(X)$ arenduse teel Taylori ritta punktis $X^{(k)}$, säilitades arenduse kaks esimest liiget ning asendades tulemuse võrrandisse (3), saame Newtoni tüüpi protseduuri, mille puhul

$$Q^{(k)} = H^T(X^{(k)}) R^{-1} H(X^{(k)}); \quad (6)$$

$$b^{(k)} = H^T(X^{(k)}) R^{-1} [Z - h(X^{(k)})]. \quad (7)$$

Vähimruuthinnangul on rida häid omadusi. Muuhulgas, kui mõõtmisvead on normaaljaotusega (mida oleks loomulik eeldada), siis \hat{X} on parim hinnang.

Vaadeldud baasalgoritmi põhipuudusteks on kasvumaatriksi suhteliselt suured mõõtmised ja tema arvutamine ning faktoriseerimise vajadus igal iteratsioonil. Selle tõttu on sidusrakendustes laialdase leviku leidnud baasalgoritmi mitmesugused modifikatsioonid.

Kiire lõhestatud hindamine

Baalgoritmi mitmesuguste modifikatsioonide analüüsi lähtudes on käesolevas töös realiseeritud nn. kiire lõhestatud hindamine, mis põhineb järgmistel lihtsustustel:

- kasutatakse lõhestatud kasvumaatriksit ja jakobiaani kujul

$$G = \begin{bmatrix} G_A & 0 \\ 0 & G_R \end{bmatrix}; \quad H = \begin{bmatrix} H_A & 0 \\ 0 & H_R \end{bmatrix}.$$

Sellisel juhul ülesanne (4) - (5) lõhestub eraldi ülesanneteks aktiiv- ja reaktiivmõõtmiste jaoks, kusjuures

$$Z = \begin{bmatrix} Z_A \\ Z_R \end{bmatrix}; \quad X = \begin{bmatrix} \Theta \\ U \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} b_A \\ b_R \end{bmatrix}; \quad h(X) = \begin{bmatrix} h_A(X) \\ h_R(X) \end{bmatrix}; \quad R = \begin{bmatrix} R_A & 0 \\ 0 & R_R \end{bmatrix};$$

- kasvumaatriksi G leidmisel ei arvestata jakobiaani elementide arvutamisel pikiaktiivtakistusi;

- vektori b_A leidmisel ei arvestata jakobiaani ploki H_A elementide arvutamisel pikiaktiivtakistusi;

- teisendatakse võimsuste mõõtmised, jagades nad igal iteratsioonil arvutatud pingega, s.t.

$$Z_A^{(k)} = \begin{bmatrix} P_i / U_i^{(k)} \\ P_{ij} / U_i^{(k)} \end{bmatrix}; \quad Z_R^{(k)} = \begin{bmatrix} Q_i / U_i^{(k)} \\ Q_{ij} / U_i^{(k)} \\ U_i \end{bmatrix};$$

- kasvumaatriks loetakse konstantseks, arvutades ta nn. "lameda" algühendi (s.t. $U = U_N$, $\theta_N = 0$, kus U_N - nimipingete vektor) jaoks;

- trigonomeetriliste funktsioonide arvutamise kiirendamiseks kasutatakse seoseid

$$\sin \theta \approx \theta - \frac{\theta^3}{6}; \quad \cos \theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}. \quad (8)$$

Järjestikuse lahendusskeemi kohaselt arvutatakse igal iteratsioonil algul nurgad θ :

$$\theta^{(k+1)} = \theta^{(k)} + \Delta \theta^{(k)}; \quad (9)$$

$$G_A \Delta \theta^{(k)} = b_A^{(k)}, \quad (10)$$

kusjuures

$$G_A = H_A^{(0)T} R_A^{-1} H_A^{(0)}; \quad (11)$$

$$b_A^{(k)} = H_A^{(k)T} R_A^{-1} [Z_A^{(k)} - h_A(\theta^{(k)}, U^{(k)})]; \quad (12)$$

$$H_A^{(k)} = \frac{\partial h_A(\theta^{(k)}, U^{(k)})}{\partial \theta}. \quad (13)$$

Seejärel kasutatakse leitud nurki pingete arvutamisel:

$$U^{(k+1)} = U^{(k)} + \Delta U^{(k)}; \quad (14)$$

$$G_R \Delta U^{(k)} = b_R^{(k)}, \quad (15)$$

kus

$$G_R = H_R^{(0)T} R_R^{-1} H_R^{(0)}; \quad (16)$$

$$b_R^{(k)} = H_R^{(k)T} R_R^{-1} [z_R^{(k)} - h_R(\theta^{(k+1)}, u^{(k)})]; \quad (17)$$

$$H_R^{(k)} = \frac{\partial h_R(\theta^{(k+1)}, u^{(k)})}{\partial u}. \quad (18)$$

Valitud meetodis on ühildunud kiire koonduvus, kõrge koonduvuskindlus ja hea täpsus laias tingimuste diapasoonis. Meetodi põhieeliseks on, et aeganõudvaid operatsioone - kasvumaatriksi koostamine ja faktoriseerimine - tuleb sooritada ainult võrgu topoloogia või mõõtmiste koosseisu muutuste puhul. Ülejäänud ajal seisneb hindamine ainult faktoriseeritud süsteemi väga kiires korduvas lahendamises.

Meetod nõuab umbes 1/2 mälu mahust, mida on vaja baas-algoritmi puhul, ning on umbes 5-8 korda kiirem /2/.

Vaadeldavuse analüüs

Peale ülalvaadeldud hindamise kitsamas mõttes peab reaalne programm täitma veel rea muid funktsioone. Üheks selliseks on vaadeldavuse analüüs. Nimelt enne kitsamas mõttes hindamisele asumist tuleb selgitada, kas võrk on üldse vaadeldav, s.t., kas mõõtmiste hulk on küllaldane hindamiseks, ja kui mitte, siis milliste võrgu osade režiim on hinnatav (s.t. leida nn. vaadeldavad piirkonnad).

Matemaatiliselt seostub vaadeldavuse analüüs jakobiaani astaku määramisega. See on aga väga keeruline ülesanne. Seetõttu on välja töötatud hulk kombinatoorseid, topoloogilisi ja numbrilise analüüsi meetodeid. Ühe efektiivsemana tuleks esile tõsta /3/ toodud algoritmi, mis põhineb jakobiaani sümbol-redutseerimisel. Kahjuks nõuab see meetod aga jakobiaani ilmutatult arvutamist, mida käesolevas töös operatiivmälu mahu kokkuvõiu huvides tehtud ei ole. Seetõttu on siin rakendatud meetodit, mis põhineb teoreemil, mille kohaselt ES on vaadeldav siis ja ainult siis, kui leidub tema graafi vaadeldav kattev puu /4/. Katva puu otsing toimub

mõõtmiste sidumise teel skeemiharudega /5/. Võimalike konservatiivsete lahenduste (s.t. kus tegelikult vaadeldav võrk võidakse tunnistada mittevaadeldavaks) vältimiseks ja algoritmi efektiivsuse tõstmiseks on meetodit kombineeritud puu otsinguga bikromaatilisel graafil /6/. Kuna on rakendatud lõhestatud hindamist, siis nii P, Q kui Q, U vaadeldavuse tagamiseks võetakse arvesse ainult in-

jektsoonide ja võimsusvoogude paaris- (s.t. P ja Q) mõõtmisi. Voogude mõõtmine loetakse paarismõõtmiseks, kui mõõdetakse vähemalt ühte aktiiv- ja reaktiivvõimsusvoogu ükskõik kummas haru otsas. Ainult paarismõõtmiste arvestamine võimaldab tagada ka maatriksite G_A ja G_R ühesuguse struktuuri ja seega kokku hoida mälu mahtu.

Vigaste mõõtmiste analüüs

Vigaste mõõtmiste esinemine töödeldavate mõõtmiste hulgas võib muuta hinnangu ebakvaliteetseks ja isegi kõlbmatuks edasistes rakendustes. Liiatigi on oluline dispetšerile teatada, millised mõõtmised on vigased.

Suured ja ilmsed mõõtmiste vead avastatakse eeltöötlemise käigus. Viimane aga reeglina pole võimeline avastama vigu alla 30σ (σ - vea standardhälve) /7/. Seetõttu peab hindamine laiemas mõttes sisaldama vigaste mõõtmiste olemasolu kontrolli - nn. detekteerimise. Vigaste mõõtmiste avastamisel tuleb kvaliteetse hinnangu saamiseks need eemaldada või asendada pseudomõõtmistega. Selleks tuleb omakorda selgitada, millised mõõtmised on vigased, s.t. need identifitseerida.

Vigaste mõõtmiste detekteerimiseks kasutatakse mitmesuguseid teste /8/. Identifitseerimisel võib eristada kolme põhisuunda:

1) mitteruutkriteeriumide kasutamine /8, 9/, mis on atraktiivne, kuna vigaste mõõtmiste analüüs moodustab hindamise (kitsamas mõttes) orgaanilise osa. Samal ajal on ta aga kõige vähem efektiivne vigade avastamise ja õige identifitseerimise aspektist. Samuti halvendavad mitteruutkriteeriumid tunduvalt koonduvust /9/;

2) identifitseerimine hüpoteeside testiga /9, 10/ on efektiivne, eriti paljude korreleeritud vigade puhul. Samas on ta aga töömahukas ja nõuab suuri arvutiressursse, mistõttu

tu selle rakendamine Eesti energiasüsteemi tingimustes pole otstarbekas;

3) identifitseerimine elimineerimisega on sobiv pii-
ratud arvutiressursside puhul ja annab enamikul prakti-
kas esinevail juhtudel täiesti rahuldavaid tulemusi /9/.
Seetõttu on käesolevas töös rakendatud selle suuna meeto-
dit, mis seisneb järgmises /11/:

1. Peale hinnangu \hat{X} leidmist arvutatakse normeerit-
tud jäägid

$$\hat{r}_N = \sqrt{D^{-1}} \hat{r}, \quad (19)$$

kus \hat{r} - jääkide vektor: $\hat{r} = Z - h(\hat{X})$;

D - jääkide kovariatsioonimaatriksi Σ_r diagonaal-
maatriks,

$D = \text{diag } \Sigma_r$.

2. Leitakse maksimaalne normeeritud jääk r_{Ni} .

3. Leitakse normeeritud vea hinnang

$$\hat{b}_i = \frac{\sigma_i}{d_{ii}} r_{Ni}. \quad (20)$$

kus d_{ii} - maatriksi D vastav element;

σ_i - i -nda mõõtmise standardhälve.

4. Kontrollitakse hüpoteesi

$$|\hat{b}_i| > \gamma \quad (\text{kus on võetud } \gamma = 4). \quad (21)$$

Kui hüpotees osutub valeks, siis vigaseid mõõtmisi ei esine
ja hindamine on lõppenud. Vastasel korral tunnistatakse i -s
mõõtmine vigaseks ja korratakse hindamist. Seejuures on
kaks võimalust. Esimene neist - vigane mõõtmine eemaldatakse
enne korduvat hindamist, siis tuleb aga uuesti koostada
ja faktoriseerida maatriks G . Samuti võib halveneda vii-
mase tingitus. Seetõttu kasutatakse efektiivsemat võima-
lust - asendatakse identifitseeritud vigane mõõtmine pseu-
domõõtmisega, milleks võetakse vigase mõõtmise hinnang /11/:

$$\tilde{z}_i = z_i - \frac{\sigma_i^2}{d_{ii}} r_{Ni}. \quad (22)$$

Lõpuks märkigem, et nn. kriitilised mõõtmised, s.o. mõõtmised, mille eemaldamine muudab süsteemi mittevaaeldavaks, pole detekteeritavad, kuna nende puhul tuleb jääk $r = 0$. Järelikult eksisteerib oht, et kriitiliste mõõtmiste hulgas on vigaseid. Seetõttu tuleb üles otsida ja teadustada kriitilised mõõtmised. Otsing põhineb asjaolul, et viimaste jaoks $d_{ii} = 0$ /10/.

Hõredate maatriksite töötlemine

Operatiivmälu mahu kokkuhoiuks ei leita jakobiaani H ilmutatult, vaid kasvumaatriks G ja vabaliikmete vektor b koostatakse elementide vahetu arvutamise teel. Maatriks G on hõre (plokkide G_A ja G_R täidetuse aste on ainult umbes kaks korda suurem kui sõlmejuhtivuste maatriksil). Seetõttu säilitatakse mälu ainult maatriksi G mittenullised elemendid, kasutades /12/ toodud hõredate maatriksite pakkimise skeemi ja arvestades plokkide G_A ja G_R ühtset struktuuri. Võrrandite (10) ja (15) lahendamiseks igal iteratsioonil maatriksid G_A ja G_R eelnevalt faktoriseeritakse. Rakendatakse nn. bifaktoriseerimist $[Z_0]$, mis on energia-süsteemides iseloomulike ülesannete lahendamisel osutunud kõige efektiivsemaks, tagades minimaalse mälu vajaduse ja kõige ratsionaalsema arvutuskeemi korduvatel lahendustel. Meetodi põhiideeks on pöördmaatriksi esitamine multiplikaatiivsel kujul:

$$G^{-1} = R^{(1)} R^{(2)} \dots R^{(n-1)} R^{(n)} L^{(n)} L^{(n-1)} \dots L^{(2)} L^{(1)}. \quad (23)$$

kus n - maatriksi G järk.

Vähene mälu vajadus tuleneb tõsiasiast, et faktorid $L^{(j)}$ ja $R^{(j)}$ ($j = 1, \dots, n$) on väga hõredad ja nad kõik pakitakse lähtemaatriksi G kohale. Faktoriseerimise käigus võib esineda faktorite täitumist, s.t. täiendavate mittenulliste elementide tekkimist. Täitumise määr sõltub veergude (ridade) elimineerimise järjekorrast faktoriseerimisel. Seega tuleks valida elimineerimise järjekord, mis tagab minimaalse täitumise. Vaadeldavas töös kasutatakse dünaamilist järjestamist, kus igal sammul elimineeritakse veerg, mis sisaldab minimaalse arvu mittenulliseid elemente /12/. Meetod tagab optimaalsele lähedase täitumise, olles samal ajal piisavalt lihtne.

Faktoriseerimise protsessi võib sisuliselt jagada kaheks etapiks:

1) imiteerimine - s.t. järjestamine ja mälu jaotamine faktorite elementidele;

2) faktorite elementide arvutamine.

Imiteerimine moodustab 60...80 % üldisest arvutuste mahust faktoriseerimisel, sõltudes seejuures ainult faktoriseeritava maatriksi struktuurist, mitte aga tema elementide väärtustest. Seetõttu on imiteerimine realiseeritud omaette alamprogrammina. Viimase olemasolu võimaldab vältida korduvat imiteerimist sellistel maatriksi Q muutustel, kus säilib endine struktuur (paralleelalohelate sisse- või väljalüümine, transformatsioonitegurite muutumine, teatud mõõtmiste kadumine või lisandumine jne.).

Imiteerimise ja faktorite elementide arvutamise alamprogrammides, samuti võrrandite (10) ja (15) lahendamiseks on realiseeritud väikeste muudatustega /12/ toodud algoritmid.

Vigaste mõõtmiste analüüsil on oluliseks instrumentiks maatriks $D = \text{diag } \Sigma_r$, kus jääkide kovariatsioonimaatriks leitakse valemiga

$$\Sigma_r = R - HG^{-1}H^T. \quad (24)$$

Lõhestatud mudeli puhul lõheneb ka maatriks Σ_r . Seejuures arvutatakse viimane samuti "lameda" alglahti jaoks.

Esmapilgul näib, et Σ_r arvutamiseks on vaja leida kasvumaatriksi inversioon G^{-1} . Tegelikult pole vaja arvutada kogu maatriksit Σ_r , vaid ainult tema diagonaalelemendid

$$D_{ii} \quad (i = 1, \dots, n).$$

Lähem uurimine näitab, et kui i -s mõõtmine on:

1) aktiivvõimsuse injektsioon P_i sõlmes i , siis

$$D_{ii} = R_{P_i} - \left[\left(\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} \right)^2 d_{ii} + 2 \sum_j \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} \frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} d_{ij} + \sum_j \left(\frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} \right)^2 d_{jj} + 2 \sum_{j,k} \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} \frac{\partial P_i}{\partial \theta_k} d_{ik} \right], \quad (25)$$

kus d_{ij} - maatriksi G_A^{-1} elemendid.

Summeerimine toimub üle sõlme i ümbruse;

2) aktiivvõimsuse voog P_{ij} harus ij , siis

$$D_{ii} = R_{p_{ij}} - \left[\left(\frac{\partial P_{ij}}{\partial \theta_i} \right)^2 d_{ii} + 2 \frac{\partial P_{ij}}{\partial \theta_i} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \theta_j} d_{ij} + \left(\frac{\partial P_{ij}}{\partial \theta_j} \right)^2 d_{jj} \right]. \quad (26)$$

Analoogilised avaldised saadakse reaktiivvõimsuste mõõtmiste jaoks;

3) pinge U_i mõõtmine sõlmes i , siis

$$D_{ii} = R_{U_i} - d_{ii}. \quad (27)$$

Seega, nagu näha, pole maatriksi D elementide arutamiseks vaja leida kõiki pöördmaatriksi G^{-1} elemente, vaid piisab nn. hõredast inversioonist, s.t. ainult nendest pöördmaatriksi elementidest, mis vastavad maatriksi G mittenullistele elementidele.

Analüüs näitab, et bifaktoriseeritud maatriksi hõreda inversiooni elemendid d_{ij} võib leida järgmiste rekurrentsete seoste abil:

$$d_{ij} = \sum_{\kappa} l_{\kappa i} d_{j\kappa}, \quad j > i, \quad \kappa > i; \quad (28)$$

$$d_{ii} = l_{ii} + \sum_j l_{ji} d_{j\kappa}, \quad j > i, \quad (29)$$

kus l_{ji} - faktori $L^{(j)}$ elemendid.

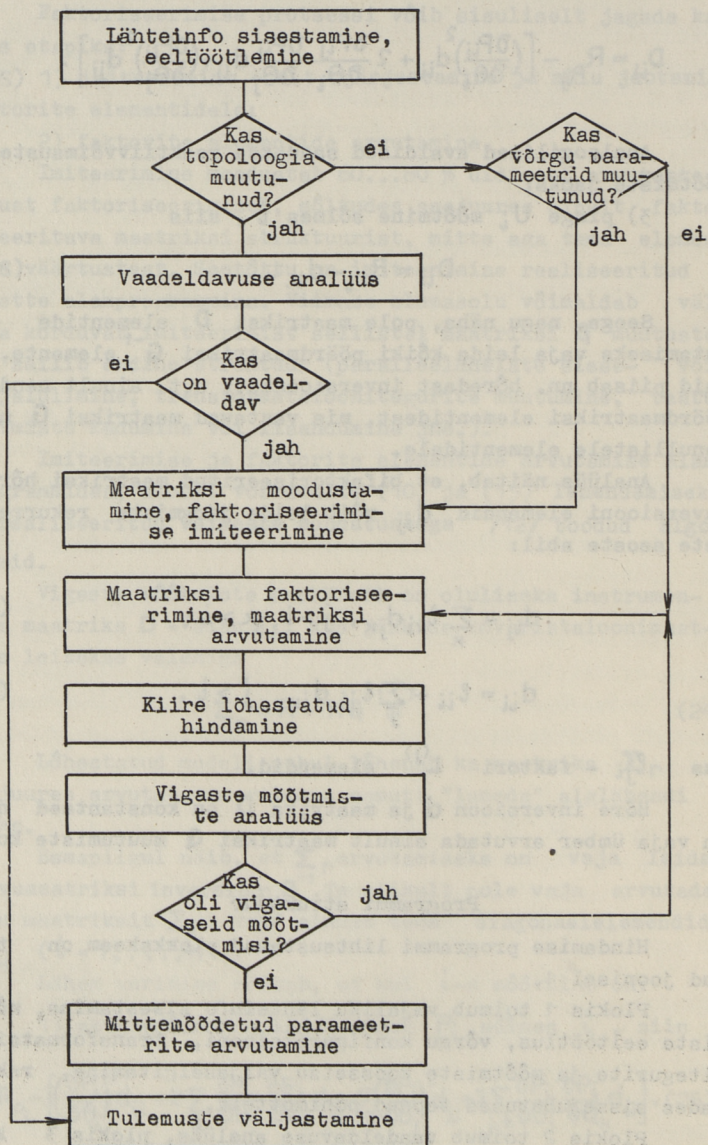
Hõre inversioon d ja maatriks D on konstantsed ning on vaja ümber arvutada ainult maatriksi G muutumiste korral.

Programmi struktuur

Hindamise programmi lihtsustatud plokk skeem on toodud joonisel 1.

Plokis 1 toimub vajaliku lähteinfo sisestamine, mõõtmiste eeltöötlus, võrgu konfiguratsiooni, transformatsioonitegurite ja mõõtmiste koosseisu väljaselgitamine, rakendades sissejuhatuses toodud põhimõtteid.

Plokis 2 toimub vaadeldavuse analüüs, plokis 3 kasvumaatriksi G koostamine ja tema faktoriseerimise imiteerimine. Kui skeemi või mõõtmiste koosseisus pole toimunud muudatusi võrreldes eelmise hindamise hetkega, jäetakse need plokid vahele.



Joon. 1. Hindamise programmi lihtsustatud plokk skeem

Plokis 4 toimub maatriksi G faktorite ja hõreda inversiooni ning maatriksi D arvutamine. Kui pole muutunud võrgu parameetrite väärtused, jäetakse ka see plokk vahele.

Plokis 5 arvutatakse vabaliikmete vektor b ning lahendatakse võrrandid (10) ja (15) seosega

$$\Delta X = R^{(1)} \dots R^{(n)} L^{(n)} \dots L^{(1)} b. \quad (30)$$

Järgneb vigaste mõõtmiste analüüs. Vigase mõõtmise avastamisel asendatakse ta pseudomõõtmisega ja korratakse hindamist. Ühtlasi selgitatakse plokis 6 kriitilised mõõtmised.

Plokis 7 arvutatakse võrgu võrrandite abil mittemõõdetud suuruste hinnangud, plokis 8 toimub tulemuste väljastamine.

Kogu hindamise programm nõuab arvutil CM-4 operatiivmälu 64 kB.

Kirjandus

1. D o p z o J.F., E h r m a n n S.T., K l i t i n O.A., S a s s o n A.M., V a n S l y c k L.S. Implementation of the AEP real-time monitoring system // IEEE Trans. Vol. PAS-95. 1976. N 5. P. 1618-1629.
2. A l l e m o n g J.J., R a d u L., S a s s o n A.M. A fast and reliable state estimation algorithm for AEP's new control center // IEEE Trans. Vol. PAS-101. 1982. N 4. P. 933-944.
3. S l u t s k e r J.W., S c u d d e r J.M. Network observability analysis through measurement jacobian matrix reduction // IEEE Trans. Vol. PWR-2. 1987. N 2.
4. K r u m p h o l z G.R., C l e m e n t s K.A., D a v i s P.W. Power system observability: practical algorithm using network topology // IEEE Trans. Vol. PAS-99. 1980. N 4. P. 1534-1542.
5. C a s t a g n o l i V., D e m a r t i n i G., R i c c i P. e.a. A practical approach to network unobservability // Proc. of the 8th ESCC. Helsinki, 1984. August. P. 506-510.

6. Гамм А.З., Герасимов Л.Н., Голуб И.И. и др. Оценивание состояния в электроэнергетике. М.: Наука, 1983. 302 с.
7. Quintana V.H., Simoes-Costa A., Miez M. Bad data detection and identification techniques using estimation orthogonal methods // IEEE Trans. Vol. PAS-101. 1982. N 9. P. 3356-3364.
8. Handschin E., Schweppe F.C., Kohlas J., Fiechter A. Bad data analysis for power system state estimation // IEEE Trans. Vol. PAS-94. 1975. N 2. P. 329-337.
9. Mili L., VanCutsem T., Ribbens-Pavella M. Bad data identification methods in power system state estimation: a comparative study // IEEE Trans. Vol. PAS-104. 1985. N 11. P. 3037-3049.
10. Zhuang F., Balasubramanian R. Bad data processing in power system state estimation by direct data deletion and hypothesis tests // IEEE Trans. Vol. PWRD-2. 1987. N 2.
11. Monticelli A., Garcia A. Reliable bad data processing for real-time state estimation // IEEE Trans. Vol. PAS-102. 1983. N 5. P. 1126-1139.
12. Zollenkopf K. Bi-factorization-basic computational algorithm and programming techniques // Lange Sparse Sets of Linear Equations. L., N.-Y. Acad. Press, 1971. P. 85-96.

A State Estimator for Estonian Power System
Control Center

Abstract

A fast decoupled static state estimator for on-line control of Estonian Power System has been described here. Principles of observability analysis and bad data processing have been treated. The bifactorization and sparse inversion techniques have been used for processing sparse matrices.

UDK 621.311.016

M. Meldorf, A. Sild

ELEKTRISÜSTEEMI REŽIIMI SEIRE**Seire eesmärgid**

Elektrisüsteemi normaalrežiimi edukas juhtimine saab põhineda vaid adekvaatsel informatsioonil režiimi muutumisest. Oluline on omada piisavalt teavet nii jooksva režiimi kui ka möödunud ja tulevate süsteemiolekute kohta. Tuntuimaks osaks selles infovarustussüsteemis on režiimi prognoosimisülesanne. Lisaks on vaja faktilisi andmeid analüüsida, samuti režiimi imiteerida ja estimeerida.

Imiteerimise all mõistame režiimi muutusprotsessi tõepärasest taasloomist mingi vaadeldava ajavahemiku kohta. Režiimi korduval imiteerimisel saadud tulemusi võib omakorda statistiliselt töödelda ja sel teel lahendada keerulisi tõenäosuslikke ülesandeid (Monte Carlo meetod).

Estimeerimise eesmärgiks on režiimi parameetrite mõõtevigade vähendamine ja võimalike eksituste avastamine mõõteandmetes. Estimeerimine osutub võimalikuks, kui mõõteandmeid on liiaga režiimiarvutuse sõltumatute parameetrite arvuga võrreldes. Eristatakse staatilist ja dünaamilist estimeerimist, mis põhinevad vastavalt ruumilisel (samal ajamendil mõõdetud) ja ajalisel andmeliigsusel.

Ülalmainitud neljast ülesandest (prognoosimine, analüüsimine, imiteerimine ja estimeerimine) koosnevad kompleksi nimetame režiimi seireks. Sellise mõiste sissetootmisel on märksa sügavam sisu kui ainult mainitud ülesannetele üldnimetuse omistamine. Nimelt on ajaliste muutustega seotud ülesannete lahendamiseks vaja sellekohast matemaatilist aparati - režiimi dünaamikamudelit. Püüame näidata, et efektiivne dünaamikamudel peab olema ühtne ega tohi sõltuda eri ülesannete iseloomust ja nende lahendamise praktilis-

test tingimustest (näiteks prognoosi ennetusajast või ole-
masolevate algandmete hulgast). Kui nii, siis on režiimi
seire aluseks ühtse dünaamikamudeli adekvaatsuse kindlusta-
mine, s.t. mudeli parima struktuuri leidmine (identifitseer-
imine) ja selles sisalduvate parameetrite võimalikult täp-
ne määramine.

Režiimi modelleerimise probleeme

Matemaatiliste vahendite valikust režiimi ajaliste muu-
tuste kirjeldamisel sõltuvad oluliselt praktiliste ülesanne-
te lahendamise tulemused. Raskeks teeb valiku asjaolu, et
üldtunnustatud seisukohad režiimi dünaamika modelleerimisel
seni puuduvad. Püüame siin näidata, et praktiliselt vastu-
võetav mudel peab olema ühtne ja füüsikaliselt sisukas.

Ühtne mudel, nii nagu eespool mainitud, kirjeldab ma-
temaatiliselt režiimi dünaamikat, mitte aga üksikute üles-
annete arvutuseeskirju. Viimased tuletatakse ühtsest mude-
list analoogiliselt sellega, kuidas püsirežiimi mitmesugused
arvutusvõtted on saadavad Kirchoffi seadustest. Ühtse mudeli
eeliseks on ennekõike algoritmide ja programmisüsteemide koo-
tamise lihtsustumine. Eriti oluline on aga võimalus kontrol-
lida praktiliste arvutuseeskirjade usaldatavust (adekvaat-
sust). Tõepoolest, kui ühtse mudeli adekvaatsuse aste on tea-
da, siis ka eri ülesannete lahendamiseks paratamatult vajali-
kest teisendustest ja lihtsustustest põhjustatud viga on või-
malik matemaatiliselt hinnata. Ühtse mudeli puudumisel tuleb
iga konkreetse algoritmi adekvaatsust uurida tema prakti-
lise rakendamise käigus, mis sageli nõuab aastatepikkust tööd.

Põhiküsimuseks režiimi matemaatilise mudeli koostami-
sel ongi tema adekvaatsuse tagamine. Tänapäeval on režiimi-
parameetrite dünaamikaga seotud ülesannete lahendamisel (näi-
teks koormuste prognoosimisel) laialt levinud formaalne lä-
henemisviis, mis seisneb selles, et matemaatiliste vahendite
valikul lähtutakse ainult vaadeldava protsessi välisest kül-
jest. Nii rakendatakse koormuse prognoosimiseks vahetult aeg-
gridade matemaatilisi mudeleid. Sellise lähenemisviisi küün-
dimatuses võime veenduda, püüdes nimetatud viisil prognoosi-
da näiteks ilma. Võib ju ilmastikufaktoreid (temperatuuri,
õhurõhku jms.) samuti kujutada aegridadena ning leida nende
prognoosid mis tahes ennetusajaga. Langeks ära vajadus kogu
ilmateenistuse ülikeeruka ja kalli organisatsiooni järele.

Väidame, et analoogiliselt ilmaennustuseks vajalike geofüüsiliste protsesside uurimisega on vaja sisuliselt tundma õpida ka elektrisüsteemi režiimi ajalisi muutusi ja leida vastavad seaduspärasused. Teiste sõnadega, on vaja režiimi dünaamika sisumodelit. Matemaatilised konstruktsioonid (ka aegridade mudelid) on seejuures kasutusel kui füüsikaliste seaduspärasuste kirjeldamise vahendid.

Olemasolevad kogemused (eriti sõlmekoormuste modelleerimisel saadud tulemused) kinnitavad stabiilsete seaduspärasuste olemasolu režiimiparameetrite ajalisel muutumises. Tekib ometi küsimus, mil määral on elektrisüsteemi režiimi ajalise muutuse protsess üldse matemaatiliselt kirjeldatav (formaliseeritav), sest lõppkokkuvõttes määravad elektrienergia tootmise, jaotamise ja tarbimise ikkagi keerulised sotsiaalsed ja tehnilised nähtused. Viimaste tõlgendamine ja prognoosimine on ilmselt suuresti subjektiivne ja oluliselt mitteformaliseeritav.

Viimasel ajal on suurt edu saavutatud ekspertsüsteemide meetodite rakendamisel mitmete keeruliste ülesannete lahendamiseks. Nimetatud teadusharu põhiideeks on teadmiste rakendamine arvutiprogrammides nende algsel, mitteformaliseeritud kujul. Kuna elektrisüsteemi režiimi muutumispõhjuste kohta on asjaosalistel enamasti küllalt selged ettekujutused, võib loota ekspertsüsteemide vahendite rakendamise efektiivsusele ka režiimi dünaamika modelleerimisel.

Praktiliselt on ekspertsüsteemide rakendamiseks vaja esmalt määrata kõik režiimiparameetrite muutustega seotud mõisted ja võimalikud modelleerimise vahendid ning nende vahelised seosed ekspertidele arusaadaval (s.t. sisulisel) tasemel. Samuti on vaja modelleerimise aluseks olevate ideede (euristikute) selge kirjeldamine. Märgime, et viimaste hulka tuleb arvata ka modelleerimise eesmärgid (kriteeriumid). Ekspertsüsteemide vahendid omalt poolt pakuvad otsingumehhanismi, mis leiab etteantud numbrilistele andmetele (aegridadele) ja ekspertteadmistele kõige enam vastava mudeli kuju.

Ülaltoodud arutelu võib kokku võtta kinnitusega, et elektrisüsteemi režiimi dünaamikamudeli efektiivne identifitseerimine on võimalik vaid toetudes ekspertide kogemustele ja teadmistele. Vajalikud vahendid mudeli süstemaati-

liseks koostamiseks pakub ekspertsüsteemide tehnika.

Režiimi dünaamikamudel

Vaatleme lähemalt režiimi dünaamikamudeli koostamise küsimusi. On selge, et mudelis peavad kajastuma nii režiimiparameetrite muutuste ajalised seaduspärasused (perioodilisus, erandpäevad jms.) kui ka režiimi stohhastiline iseloom. Tuleb arvestada ka Kirchoffi seadustest tulenevaid deterministlikke seoseid ning osa režiimiparameetrite juhita- vust.

Vaatleme esmalt sõltumatute mittejuhitavate režiimi- parameetrite (sõlmekoormuste) modelleerimist. Artiklis /1/ on i -nda sõlme (nii aktiiv-, kui reaktiiv-) koormus esita- tud funktsioonina astronoomilisest ajast t , päevasisesest ajast h ja päeva tüübist ν kujul

$$P_i(t, h, \nu) = E_i(t) R^T(h) G_i(t, \nu) S(t), \quad (1)$$

kus $E_i(t)$ - koormuse üldist kasvu (trendi) kirjeldav funktsioon;

$R(h) S(t)$ - vektorfunktsioonid, mis moodustavad koormuse kahemõõtmelise laotuse baasi;

$G_i(t, \nu)$ - stohhastiline maatriks, mille elementideks on juhuslikud protsessid kujul

$$G_i(t, \nu) = G_{M_i}(\nu) + G_{D_i}(\nu) [\Theta_i(t) + \tilde{N}_i(t)], \quad (2)$$

kus $G_{M_i}(\nu)$, $G_{D_i}(\nu)$ - parameetrite maatriksid;

$\Theta_i(t)$, $\tilde{N}_i(t)$ - statsionaarsed juhuslikud protsessid.

Protsessid $\Theta_i(t)$ ja $\tilde{N}_i(t)$ modelleeritakse Box-Jenkinsi meetodil järgmiselt:

$$\Theta_i(t) = F_{0i}(B) \xi_{0it} + \sum_k F_{ik}(B) \xi_{kt} + \sum_l F_{il}(B) \gamma_{lt}, \quad (3)$$

$$\tilde{N}_i(t) = H_{0i}(B) \varepsilon_{0it} + \sum_m H_{im}(B) \varepsilon_{mt}, \quad (4)$$

kus ξ_{0it} , ξ_{kt} , ε_{0it} , ε_{mt} - mittekorreleeritud aegread ("valge mü- ra"), mille diskreet-

sussammud on suurusjärgus vastavalt üks tund ja mõned sekundid;

$\gamma(t)$ - t -nda meteoroloogilise faktori normeeritud rida;

$F_{0i}(B), F_{ik}(B), F_{il}(B), H_{0i}(B), H_{im}(B)$ - ülekandefunktsioonid (B - ajalise nihutuse operaator).

Mudeli (1) võib teisendada ka aditiivsele kujule. Arvestades, et päevasisene aeg h ja päeva tüüp γ tulenevad astronoomilisest ajast t , saame mudeli lihtsaima kuju

$$P_i(t) = M[P_i(t)] + \sigma[P_i(t)]\{\theta_i(t) + \eta_i(t)\}, \quad (5)$$

kus $M[P_i(t)]$ ja $\sigma[P_i(t)]$ - determineeritud funktsioonid, mis kirjeldavad vastavalt koormuse matemaatilise ootuse ja ruuthälbe muutumist ajas.

Juhitavate režiimiparameetrite (elektrijaamade võimsused, vahetusvõimsused, mõningad sõlme pinged jms.) kirjeldamisel tuleb ilmselt lähtuda vastavatest juhtfaktoritest, mille kaudu toimub vaadeldava režiimiparameetri juhtimine (näiteks elektrijaama plaaniline võimsus). Oletame, et vastav seos on funktsionaalselt (näiteks regressioonivõrrandiga) kirjeldatud. Siis võib juhtfaktori mõju lähteandmetest elimineerida ning järelejäävat aegrida kirjeldada mudeliga (1). Tähistades viimast lühiduse mõttes mingile juhuslikule protsessile $X(t)$ mõjuva operaatorina \mathcal{L} , saame juhitava režiimiparameetri mudeli funktsioonina

$$F\{\mathcal{L}[X(t)], \Phi(t)\}, \quad (6)$$

kus $\Phi(t)$ - juhtfaktor.

Ülaltoodud mudel kirjeldab seega režiimiparameetrite põhilisi muutustendentse - sesoonset ja ööpäevast (ühtlasi ka kuusisest ja nädalast) perioodilisust ning trendi. Päeva tüüp γ eristab režiimi muutuse seaduspärasused nii eri nädalapäevadel kui ka mitmesugustel erandpäevadel (riiklikud pühad, pühade-eelsed ja -järgsed päevad jne.). Seostega (3) ja (4) väljenduvad koormuse stohhastilised omadused - autokorrelatsioon (liikmed $F_{0i}(B)\xi_{0it}$ ja $H_{0i}(B)\varepsilon_{0it}$), vastastikune korrelatsioon ($F_{ik}(B)\xi_{ikt}$, $H_{im}(B)\varepsilon_{imt}$) ja

sõltuvus ilmastikutingimustest ($F_{il}(B)Y_{lt}$).

Mudeli ehitust selgitab struktuuriskeem, mis on toodud joonisel 1. Vaadeldava faktori (s.t. režiimiparameetri või mingi muu režiimile mõjuva suuruse) aegreaga seatakse esmalt vastavusse nn. globaalmodel. Viimase all mõeldakse seost (6), mis kirjeldab vaadeldava faktori juhitavust.

Juhtfaktori mõju elimineerimisel saadav redutseeritud aegrea (protsessi $X(t)$) matemaatilise ootuse ja ruuthälbe muutumise seaduspärasusi kirjeldab põhimudel. Matemaatiliselt väljenduvad need seaduspärasused baasvektorite $R(h)$ ja $S(t)$ kaudu. Kuna siin (nii nagu globaalmodeligi korral) vaadeldakse lisaks tavalistele nädalapäevadele ka erandpäevi, tuleb vastav kalender ette anda.

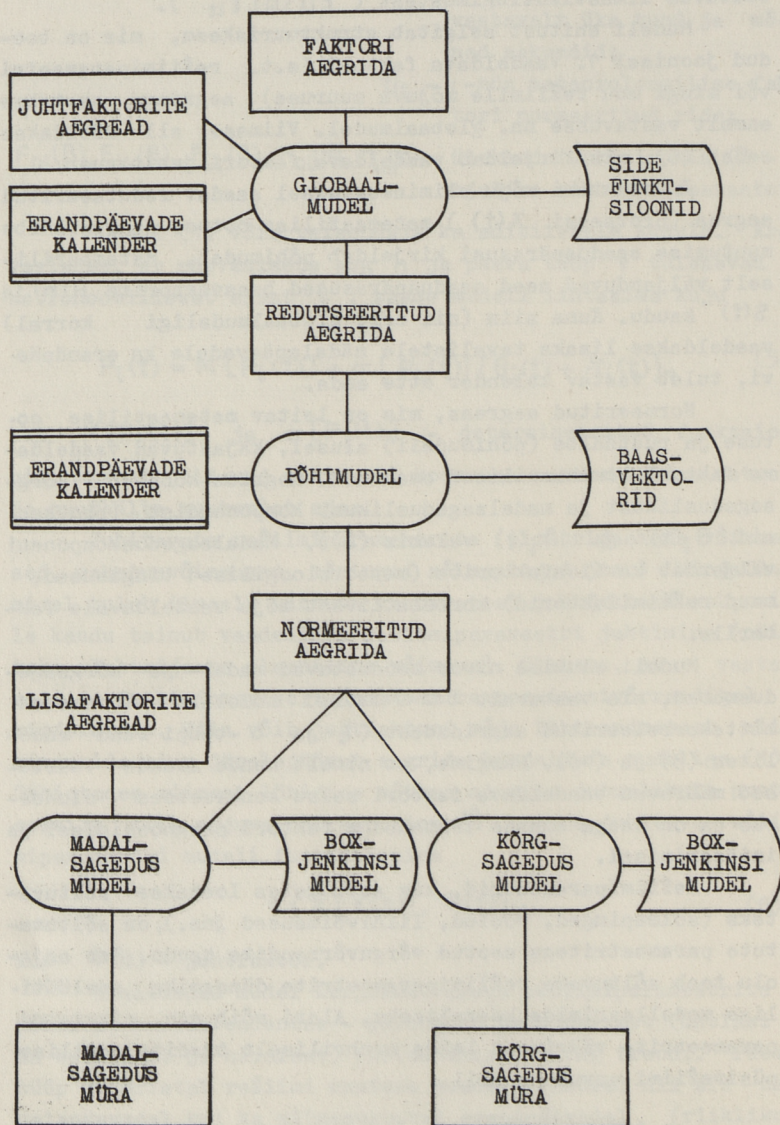
Normeeritud aegreas, mis on leitav matemaatilise ootuse ja ruuthälbe (põhimudeli) alusel, kajastuvad vaadeldava faktori stohhastilised omadused. Aegrida koosneb kõrgsageduslikust ja madalsageduslikust komponendist (protsessid $\Theta_i(t)$ ja $\tilde{N}_i(t)$ valemis (2)). Madalsageduskomponent väljendab ka lisafaktorite (meteoroloogilised tingimused, muud režiimifaktorid) korrelatiivset mõju vaadeldavale faktorile.

Mudeli alumise nivoo moodustavad madal- ja kõrgsagedusmürad, mis vastavalt Box-Jenkinsi mudelile koosnevad mittekorreleeritud aegridadest (ξ - ja ε -tüüpi read mudelites (3) ja (4)). Märgime, et nimelt nende ridade väärtused määravad vaadeldava faktori seisu konkreetsetes olukorras ja on seega esmase tähtsusega faktori prognoosimisel ja imiteerimisel.

Režiimiparameetrid, mis arvutustes loetakse sõltuvateks (sõlme pinged, voolud, liinivõimsused jne.), on sõltumatu parameetritega seotud võrguvõrrandite kaudu. See asjaolu teeb sõltuvate režiimiparameetrite dünaamika analüütilise modelleerimise keeruliseks. Alati võib aga nimetatud parameetrite väärtused leida numbriliselt traditsioonilise püsirežiimi arvutuse abil.

Režiimi analüüsimine ja prognoosimine

Dünaamikamudel, mis kirjeldab režiimi muutusprotsesse matemaatiliselt, ei anna otseseid arvutuseeskirju praktiliste ülesannete lahendamiseks. Viimased on aga võimalik



Joon. 1. Dünaamikamudeli struktuuriskeem

tuletada dünaamikamudelid vastavalt ülesande tingimustele.

Mingi režiimiparameetri prognoos avaldub tingimusliku matemaatilise ootusena, mis on leitud etteantud ennetusaja suhtes. Lisaks võib vaadelda tinglikku dispersiooni, mis iseloomustab prognoosi usaldatavust. Tähistades ennetusaja τ -ga, saame avaldise (5) alusel

$$M_{\tau}[P_i(t)] = M[P_i(t)] + \sigma[P_i(t)] \{M_{\tau}[\Theta_i(t)] + M_{\tau}[\mathcal{N}_i(t)]\}. \quad (7)$$

Siin tinglikud matemaatilised ootused $M_{\tau}[\Theta_i(t)]$ ja $M_{\tau}[\mathcal{N}_i(t)]$ kujutavad vastavate protsesside prognoose. Viimased erinevad praktiliselt nullist vaid siis, kui ennetusaeg ei ületa vastavalt ühte nädalat või ühte ööpäeva. Pike- ma ennetusaja korral saame seega

$$M_{\tau}[P_i(t)] = M[P_i(t)], \quad (8)$$

mis avalduste (1) ja (2) alusel saab kuju

$$M_{\tau}[P_i(t, h, \nu)] = E_i(t) R^T(h) G_{mi}(\nu) S(t). \quad (9)$$

Viimase võib loomulikult arvutada ka siis, kui ennetusaeg on alla nädala. Nimetame seda näitajat eelprognoosiks, avaldise (7) alusel arvatud väärtust aga täpsustatud prognoosiks.

Ilmastikutingimuste mõju arvestatakse protsessi $\Theta_i(t)$ mudelis (3) normeeritud väärtuste χ_{it} alusel, mis leitakse vaadeldava meteoroloogilise faktori kõrvalekaldena normist (pikaajalisest keskmisest vaadeldava ajamomendi kohta) ja- gatuna vastava ruuthälbega. Kuna usaldatava meteoroloogilise prognoosi ennetusaeg ei ületa kolme ööpäeva, siis pikema en- netusaja korral mudeli vastav komponent on praktiliselt null. Meteoroloogiliste faktorite väärtusi võib aga ka ette anda (imiteerida) näiteks selleks, et uurida režiimi ekstreemse- tes ilmastikutingimustes. Sel juhul erineb mudeli vastav kom- ponent ja seega ka prognoos $M_{\tau}[\Theta_i(t)]$ nullist, sõltumata ennetusajast.

Juhitavate režiimiparameetrite korral kehtib ülaltoodu juhusliku komponendi $X(t)$ kohta. Prognoos tervikuna on ar- vutatav vastavalt funktsiooni (6) konkreetsele kujule.

Faktiliste andmete sisuanalüüs on võimalik (tingimuste- ta või tingimuslik) matemaatilise ootuse ja ruuthälbe alusel,

mis leitakse samadel põhimõtetel kui prognoosi korral. Sisuanalüüs võimaldab kontrollida faktiliste andmete usaldatavust, asendada ekslikud või puuduvad andmed tõenäoliste väärtustega, leida, milliseks oleks kujunenud vaadeldava faktori väärtused erinevates meteoroloogilistes või limiteerimistingimustes.

Režiimi imiteerimine

Režiimi imiteerimine saavutatakse ξ - ja ε -tüüpi jääkridade (mürade) etteandmise teel pseudojuhuslike arvude generaatori abil. Ilmastikufaktori väärtused võivad seejuures olla faktilised, meteoroloogiliselt prognoositud või samuti imiteeritud. Viimane toimub meteoroloogiliste faktorite mudeli alusel, millel on sama kuju kui muudel režiimifaktoritel.

Imiteerimise tulemusena saadakse režiimiparameetrite muutusprotsessi võimalikud realisatsioonid etteantud ajavahemiku kohta. Allpool näeme, et lisaks Monte Carlo meetodi rakendamisele on imiteerimine vajalik ka seireprotsessi enda kujundamisel.

Režiimi estimateerimine

Režiimi dünaamiline estimateerimine seisneb tingliku matemaatilise ootuse leidmises režiimiparameetritele nende viimasena realiseerunud väärtuste alusel. Estimateerimine toimub seega samadel põhimõtetel kui prognoosimine või analüüsimine.

Olulisel raskusel estimateerimisel reaalarajas (nii nagu vastaval analüüsimisel ja prognoosimiselgi) tulenevad vajadusest arvestada sõltuvate ja sõltumatute režiimiparameetrite vahelist mittelineaarset seost. On selge, et vähegi suurema elektrisüsteemi skeemi korral ei ole vastavate võrrandite traditsiooniline lahendamine igal vaadeldaval ajahetkel mõeldav. Väljapääs seisneb võrguvõrrandite lineariseerimises. Kuna vaadeldav dünaamikamudel võimaldab prognoosida sõltumatuid režiimiparameetreid mis tahes ajamomendiks, siis võib vajalikud lineariseerimiskoeffitsiendid leida eelnevalt kõigi iseloomulike ajamomentide kohta väljaspool kõrgsageduslikku estimateerimistsükli. Arvutustulemused näitavad, et vajaliku täpsuse saavutamiseks niisab 4-5 kõige iseloomulikuma ajamomendi vaatlemisest nädala kohta. Märgime, et võrguvõrrandite arvestamine võimaldab sisuliselt ruumilise andmeliig-

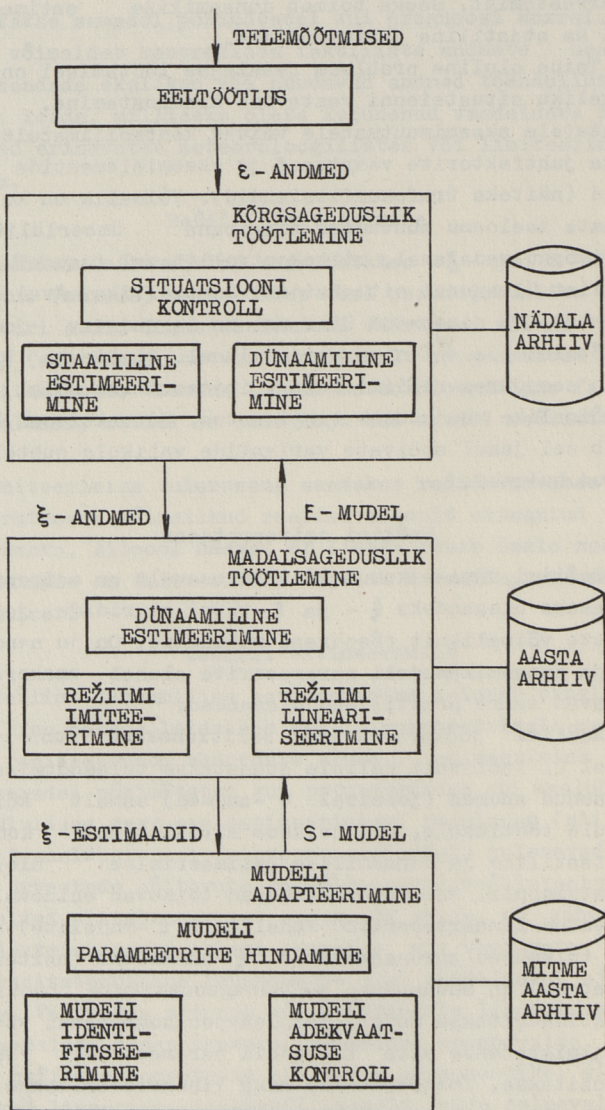
suse arvestamist. Seega toimub dünaamilise estimeerimise kõrval ka staatiline estimeerimine.

Teine oluline probleem reaalarajas töötamisel on mudeli ja tegeliku situatsiooni vastavuse kindlustamine. Lisaks ootamatutele skeemimuutustele võivad kontrollimatult muududa ka juhtfaktorite väärtused ja skeemielementide parameetrid (näiteks trafokoefitsiendid). Võimalik on ka sõlmkoormuste iseloomu muutumine tingituna ümberlülitustest elektrivõrgu madalamal, mittekontrollitaval tasemel. Nimetame sellist ülesannet situatsiooni kontrolliks. Avaldame oma veendumust, et nimetatud ülesanne on lahendatav jooksvate telemõõtmiste ja telesignaaside alusel. Oluliseks tingimuseks on seejuures režiimi celnev imiteerimine kõigi reaalsetel võimalike muudatuste tingimustes. Situatsiooni kontroll taandub sel juhul sobivate variantide valikule suhteliselt piiratud hulgast.

Režiimi seireprotsess

Režiimi dünaamikamudelilt tulenevalt on seireprotsessi esmaseks ülesandeks ξ - ja ε -tüüpi aegridade jooksvate väärtuste võimalikult tõepärane määramine. On ju nende väärtuste ja dünaamikamudeli parameetrite alusel omakorda lahendatavad seire praktilised ülesanded.

Režiimi jooksva seire talitluskem on toodud joonisel 2. Vastavalt sellele suunatakse telemõõtmisüsteemist saadud andmed (joonisel ε -andmed) esmalt kõrgsageduslikule töötlusele, mis seisneb situatsiooni kontrolli ning staatilise ja dünaamilise estimeerimise ülesannete kombinatsioonis. Need operatsioonid toimuvad eelnevalt ettevalmistatud lineariseeritud mudelite (E -mudelite) alusel. Saadud tulemused agregeeritakse ξ -andmeteks (näiteks tunniandmeteks) ja suunatakse madalsageduslikule töötlusele. Siin estimeeritakse mudeli madalsageduskomponendi väärtused ning valmistatakse ette E -mudeli parameetrid. Selleks prognoositakse, imiteeritakse ning lineariseeritakse režiimi. Nii nagu eespool mainitud, on need operatsioonid täies mahus (s.t. mittelineaarsete võrrandisüsteemide lahendamisega) vaja täita vaid mõneks iseloomulikuks ajamomendiks nädala kohta. Ülejäänud ajamomentideks E -mudeli parameetrid interpoleeritakse.



Joon. 2. Elektrisüsteemi režiimi seire talitlusskeem

Režiimi dünaamikamudeli parameetrid vajavad aeg-ajalt täpsustamist. Vajadus selleks määratakse mudeli adekvaatsuse perioodilise kontrolli teel. Muutumatuses elektrisüsteemi töötingimustes toimub see näiteks kord aastas. Suuremate muudatuste korral tuleb ka mudeli kuju muuta (identifitseerida). Nimetatu kujutab seega mudeli adapteerimist, mille tulemused (skeemil S-mudel) on aluseks andmete nii madal- kui ka kõrgsageduslikule töötlusele.

Režiimi jooksva estimateerimise kõigi kolme etapi põhilised tulemused (eriti ξ - ja ε -tüüpi ridade väärtused) ja vastavad mudeliparameetrid säilitatakse arhiivides. Viimaste kaudu toimub andmete vallastöötlus - analüüs, prognoos ja imiteerimine, mis on vajalikud elektrisüsteemi režiimi planeerimiseks ja juhtimiseks. Nimetatud ülesanded lahendatakse niisiis vastavalt vajadusele, sõltumatult jooksvast seirest. Eelduseks on muidugi viimase pidev toimumine.

Kirjeldatud seireprotsess on küllaltki keerukas ja arvutusmahukas. Vaatamata sellele on seire praktiliselt realiseeritav ka olemasoleva arvutustehnikaga. Nimelt on esmasel infotöötlusarvutil vaja organiseerida vaid suhteliselt vähemahukas andmete kõrgsagedustöötlus. Madalsagedustöötlus võiks toimuda teisel infotöötlusarvutil, mudeli adapteerimine aga universaalarvutil, mis ei ole otseselt seotud esmase infotöötlussüsteemiga.

Kirjandus

- I. М е л ь д о р ф М.В. Факторизованная модель нагрузки энергетической системы // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1985. № 610. С. 85-96.

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

UDK 621.311.001

M. Keel

PROGRAMMIKOMPLEKS ENERGIASÜSTEEMI REŽIIMI PARAMEETRITE
UURIMISEKS

Sissejuhatus

Energiasüsteemide (ES) ja nende alamsüsteemide juhtimiseks on sageli tarvis analüüsida mitmesuguseid ajas muutuvaid suurusi (protsesse) ning sõltuvusi. Analüüsi on vaja parameetrite muutumise põhiliste tendentside kindlakstegemiseks, protsesside prognoosimiseks, juhtimise tõenäoslike ülesannete tarbeks jne.

ES-i režiimi iseloomustab hulk parameetreid, nagu saagedus, sõlmpunktide pinged, tarbitavad ja genereeritavad aktiiv- ja reaktiivvõimsused, võimsuskad elektrivõrgus, hüdroelektrijaamade veerõhud jne. Nende ajaline muutumine sisaldab suuremal või vähemal määral juhuslikkust, mis eeldab, et ES režiimide analüüs peab tuginema matemaatilise statistika meetoditele.

Statistiliseks analüüsiks vajaminevad lähteandmed saadakse ES-i eksploatatsioonis tehtavate mõõtmiste tulemusena. Analüüsi keerukus ja töömahukus olenevad selle eesmärgist, uuritavate protsesside arvust, iseloomust ja olemasolevate lähteandmete mahust. Mitmed ES-i režiimi juhuslikud protsessid osutuvad mittestatsionaarseteks, mistõttu nende analüüs on eriti keeruline.

TPI elektrisüsteemide kateedris on ES-i juhuslikke protsesse uuritud alates 1971. aastast. On püütud ühtlasi välja töötada universaalset analüüsi meetodikat, algoritme ja programme. Selle töö tulemuseks on üksteist väljavahetanud raaliprogrammide seeria STATAN /1-3/.

Käesolevas artiklis tutvume nimetatud seeria senini

viimase esindajaga - ES-i režiimide statistilise analüüsi programmikompleksiga STATAN-6M, mis on loodud kasutamiseks ühtsusseeria arvutitel.¹

Analüüsi üldmetoodika ja programmikompleksi struktuur

Kompleks STATAN-6M on ette nähtud nii statsionaarsete kui ka mittestatsionaarsete protsesside või nende kogumite analüüsiks. Iga uuritava protsessi kohta peab eelnevalt teada olema vaid tema realisatsioon, mis esitatakse aegrea kujul:

$$x_1, x_2, \dots, x_{t-1}, x_t, x_{t+1}, \dots, x_{T-1}, x_T. \quad (1)$$

Aegrida saadakse mõõtmiste tulemusena, kusjuures näit-
arvude x vaheline ajaintervall on konstantne.

STATAN-6M võimaldab:

- 1) analüüsida režiimide dünaamikat,
- 2) kindlustada tõenäosusliku lähteinformatsiooniga juhtimis-, projekteerimis-, analüüsi-, jt. ülesandeid,
- 3) tihendada (kokku suruda) ja agregeerida informatsiooni režiimidest,

4) taastada või prognoosida protsesside mittejuhusliku komponenti,

- 5) lahendada mitmesuguseid teisi uurimisülesandeid.

Programmikompleks koosneb järgmistest moodulitest:

- 1) STATAN - juhtmoodul,
- 2) STAT1 - üksikprotsesside analüüs aditiivse liht-
mudeli baasil,
- 3) STAT2 - üksikprotsesside analüüs aditiivse vek-
tormudeli baasil,
- 4) STAT3 - paarisprotsesside analüüs,
- 5) STAT4 - protsesside vaheliste seoste analüüs,
- 6) STAT5 - protsesside taastamine või prognoosimine,
tuginedes varem teostatud analüüsi tulemustele.

Statistilise analüüsi metoodika eeldab, et uuritava protsessid oleksid juhuslikud ja statsionaarsed. Sel-

1

Kompleksi väljatöötamisest võtsid osa M. Valdma, M. Keel, O. Liik, K. Möller ja H. Tammoja.

lest tulenevalt sobib ES-i režiimi protsesside iseloomustamiseks järgmine mudel:

$$\tilde{x}_t = x_t^T + x_t^P + \tilde{x}_t^J, \quad (2)$$

kus

$$\tilde{x}_t^J = \sigma_{xt} \cdot \tilde{x}_t^0. \quad (3)$$

Siin x_t^T , x_t^P - protsessi determineeritud komponendid (trend ja perioodiline komponent), \tilde{x}_t^J - protsessi tsentreeritud juhuslik komponent, σ_{xt} - juhusliku protsessi \tilde{x}_t ruutkeskmine kõrvalekalle, \tilde{x}_t^0 - normeeritud juhuslik protsess.

Trendi väljavõtmiseks protsessist \tilde{x} on võimalik kasutada polünoomi kuni viienda astmeni:

$$x_t^T = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5, \quad (4)$$

kus polünoomi tegurid a_0, \dots, a_5 leitakse vähimruutude meetodil, t - aegrea elemendi järjekorranumber.

Analüüsi jaoks sobiv polünoomi aste määratakse protsessile katseliselt.

Perioodilised komponendid võib avaldada diskreetsete graafikutena või siis trigonomeetriliste polünoomidena, et neid lähteprotsessist \tilde{x} või teisendatud protsessist $(\tilde{x} - x^T)$ eraldada.

Statistilise analüüsi osas on võimalikud järgmised operatsioonid:

- 1) protsessi statsionaarsuse hindamine,
- 2) mittestatsionaarse protsessi \tilde{x}_t^J dispersiooni ja ruutkeskmise hälbe σ_{xt} aproksimeerimine ning protsessi normeerimine,
- 3) protsessi arvuliste tõenäosuskarakteristikute (matemaatiline ootus, dispersioon, ruutkeskmine hälve, asümmeetriategur, ekstsess) määramine,
- 4) protsessi statistilise jaotusseaduse määramine (normaalne, ühtlane, Gram-Charlier' või eksponentsiaalne jaotus),
- 5) protsessi autokovariatsiooni funktsiooni ja spektraaltiheduse arvutamine,

6) lähte protsesside determineeritud komponentide taastamine ja lihtsustatud prognoosimine,

7) protsesside analüüs paarikaupa, määrates ühe protsessi tinglikud karakteristikud olenevalt teise protsessi hetkväärtustest,

8) protsesside mitmene analüüs (vastastikuse kovariatsioonifunktsioonide ja korrelatsioonimaatriksite arvutamine, sammuline regressioonanalüüs).

Andmepank

Lähteandmete ja arvutustulemustega opereerimise teeb mugavaks andmepank INFOS /3, 4/, mis on loodud spetsiaalselt STATAN-6M jaoks. See koosneb andmebaasist ja vajalikest teenindusprogrammidest. Andmebaasi säilitatakse otsepöördusfailidena magnetketastel. Ühte faili mahub kuni 298 arvmassiivi. Iga analüüsitava protsessi kohta võib failis olla maksimaalselt 3 massiivi: lähte-aegrida, töödeldud aegrida ja statistilise analüüsi tulemused.

Programmikompleksi tehnilised andmed

STATAN-6M on koostatud FORTRAN-keeles, töötab ühtsusseeria arvutites operatsioonisüsteemis OS. Arvuti operatiivmälu vajalik maht on 450 K.

Ühe ülesandega võib analüüsida kuni 85 üksikprotsessi aegrea pikkusega kuni 9000 elementi. Paarisanalüüsil on vastavad arvud poole väiksemad. Mitmese analüüsi korral on protsesside (aegridade) ülemäär 50.

Arvutustulemused trükitakse välja vastavalt soovidele. Väljatrükid on võimalikud nii tabelite kui ka graafikutena.

Kirjandus

1. Методика статистического анализа процессов в энергетических системах / М.Х. Валдма, М.Э. Кюэл, К.Ю. Мёллер, Х.Э.-Й. Таммоя // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1978. № 453. С. 53-62.

2. Методика и программа статистического анализа режимов энергетических систем / М.Х. Валдма, М.Э. Кээл, Х.Э. Лелумээс, О.Н. Лийк, К.Ю. Мёллер, Х.Э.-Й. Таммоя // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1982. № 529. С. 63-77.
3. К э э л М.Э. Об усовершенствовании методики статистического анализа режимов энергетических систем // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1987. № 657. С. 32-37.
4. К э э л М.Э. О создании буфербанков данных для программ управления режимами энергетических систем // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1982. № 529. С. 79-83.

M. Keel

Program Complex for Investigating Regime
Parameters

Abstract

Possibilities of using the program STATAN-6M for the statistical analysis of power system state have been described here. A brief description of the complex has been presented as well.

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

UDK 621.331.001

H. Tammoja

SOOJUSELEKTRIJAAMADE REŽIIMIDE OPTIMAALSEST
JUHTIMISEST
Sissejuhatus

Soojuselektrijaamade režiimide optimaalne juhtimine on üks keerukaid ja tähtsaid ülesandeid energiasüsteemide juhtimisel. Režiimide optimeerimise ülesandeks on tagada elektrijaamade töö minimaalse kütusekuluga või minimaalsete rahaliste kulutustega. Antud ülesandega on tihedalt seotud ka soojuselektrijaamade sisend-väljundkarakteristikute arvutamine. Neid karakteristikuid kasutatakse energiasüsteemide režiimide optimaalsel juhtimisel. Soojuselektrijaamade režiimide optimeerimise aluseks on elektrijaamade seadmete sisend-väljundkarakteristikud. Kasutatakse seadmete kulukarakteristikuid või seadmete suhteliste juurdekasvude karakteristikuid.

Seoses ülesande keerukusega on selle lahendamine mõeldav vaid raalide abil. Käesolevaks ajaks on välja töötatud rida raaliprogramme (K-III, AK-75, AT-75, OPTIM-76, NORMA, OPTES-2, OPTES-4 jne.). Nendest kaks viimast on välja töötatud Tallinna Polütehnilise Instituudi elektrisüsteemide kateedris kõigi kirjanduse loetelus märgitud autorite osavõtul ja M. Valdma juhtimisel. Kõikide raaliprogrammide töö tulemuslikkus sõltub alginformatsiooni täpsusest, seega seadmete karakteristikute täpsusest (tõepärasusest).

Seadmete karakteristikute korrigeerimine

Soojuselektrijaamade režiimi optimeerimiseks on vaja järgmisi seadmete kulukarakteristikuid: katlad, turbiinid, reduktsioonjahutusseadmed, boilerid ja seadmete omatarbekarakteristikud.

Tegelikult seadmete karakteristikud sõltuvad väga paljudest režiimi parameetritest. Selleks on ette nähtud normatiivsete karakteristikute korrigeerimine vastavalt tegelikule seadme olekule. Selleks on ette nähtud rida erinevaid korrigeerimise võimalusi. Katla karakteristikuid saab korrigeerida järgmiselt: üheaegselt põletatavate kütuste segu vahekorral alusel, tööaja või põletatud kütuse hulga alusel, režiimi parameetrite hälvete (normatiivsest väärtusest) alusel ja parameetrite hälvete tõenäosusliku informatsiooni alusel. Turbiinide karakteristikuid saab korrigeerida parameetrite hälvete alusel ja nende hälvete tõenäosusliku informatsiooni alusel.

Seadmete karakteristikute korrigeerimine toimub ühtse meetodika alusel /1/:

$$y(Q_k) = \hat{y}(Q_k) \left(1 + \sum_{i=1}^m k_i \Delta x_i + \sum_{i=1}^m (k'_i \Delta x_i + k''_i \Delta x_i^2) \right), \quad (1)$$

siin $\Delta x = x - \hat{x}$; x, \hat{x}_0 - režiimi parameetri tegelik ja normatiivne väärtus, k' , k'' , k''' - korrigeerimiskordajad, m - arvestatavate parameetrite ja funktsioonide arv.

Turbiinide karakteristikute korrigeerimine on keeruline ülesanne ja tänapäeval on see lahendatud vaid osaliselt ning lihtsustatult. Programmides OPTES on see ülesanne lahendatud analoogiliselt katelde korrigeerimisele, vastavalt valemile (1) korrigeeritakse turbiini kulukarakteristikute murdepunkte. Murdepunktid vastavad turbiini reguleerimisklappide avanemise momentidele.

Käesoleval ajal on paljude režiimiparameetrite tegelikud väärtused optimaalse planeerimise momendiks teadmata (näiteks kütuse parameetrid). Seetõttu on aktuaalne seadmete karakteristikute korrigeerimine tõenäosusliku informatsiooni alusel. Vastavalt M. Valdma meetodikale /1/ tuleb seadmete karakteristikud asendada plaaniliste karakteristikutega. Plaaniline karakteristik on seadme karakteristikuga matemaatiline ootus parameetrite järgi. Neid karakteristikuid võib arvutada vastavalt järgmisele valemile:

$$\bar{y}(\bar{Q}_k) = \hat{y}(\bar{Q}_k) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial y_i(\cdot)}{\partial \Delta x_i} m_{\Delta x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 y_i(\cdot)}{\partial \Delta x_i^2} (\sigma_{\Delta x_i}^2 + m_{\Delta x_i}^2), \quad (2)$$

siin $\sigma_{\Delta x}$, $m_{\Delta x}$ - parameetri hälbe ruutkeskmise hälbe ja parameetri matemaatiline ootus.

Optimeerimise meetoodika ja programmikompleksid OPTES

Raaliprogrammides OPTES on rakendatud rida uusi põhimõtteid, et laiendada programmide kasutamise võimalusi.

Programmide omapäraks on:

- 1) võimalus kasutada aprioorset tõenäosuslikku informatsiooni,
- 2) võimalus arvestada mitut liiki omatarvet,
- 3) võimalus korrigeerida seadmete sisend-väljundkarakteristikuid,
- 4) võimalus turbiinide koormamisel arvestada nende reguleerimisklappide avanemise momente,
- 5) ülesande lahendusmeetoodika on paindlik, meetoodika võib tarbija valida vastavalt oma soovile.

Optimeerimisel on kasutatud modifitseeritud suhteliste juurdekasvude meetodit. Vastavalt sellele meetodile tuleb katlad koormata nende suhteliste juurdekasvude võrdsuse alusel. Turbiinid ja energiaplokid aga vastavalt nende suhteliste juurdekasvude kasvamisele.

Edasi vaatleme lühidalt programmikomplekside kasutamise võimalusi.

Programmikompleks OPTES-2 /2/

Programmikompleks OPTES-2 on ette nähtud plokk-kondensatsioonielektriijaamade režiimide optimaalseks juhtimiseks. Kompleks võimaldab lahendada kuus erinevat ülesannet.

1. Katelde sisend-väljundkarakteristikute arvutamine ja nende korrigeerimine. Sisend-väljundkarakteristikud arvutatakse katelde soojuskadude alusel.

2. Turbiinide kulukarakteristikute korrigeerimine.

3. Soojuselektriijaamade sisend-väljundkarakteristikute arvutamine. Soojuselektriijaama kulu-, suhteliste juurdekasvude ja erikulu karakteristikud arvutatakse energiaplokkide karakteristikute alusel.

4. Jaama põhiseadmete optimaalsete koormusgraafikute arvutamine vastavalt jaamale antud koormusgraafikule.

5. Jaama põhiseadmete optimaalsete koormusgraafikute

arvutamine vastavalt jaamale antud suhteliste juurdekasvude graafikule.

6. Jaama tegelike režiimide ökonoomsuse hindamine. Ülesanne võimaldab arvutada kütuse ülekulu, mille tingib jaama põhiseadmete mitteoptimaalne koormus.

Programmikompleks on varustatud spetsiaalse andmebaasiga.

Programmikompleks OPTES-4 [3]

Programmikompleks OPTES-4 on välja töötatud termofikatsioonielektrijaamade režiimide optimeerimiseks. Kompleks võimaldab optimeerida soojus-, aktiiv- ja reaktiivvõimsuste jaotust põhiseadmete vahel. Jaamal võib olla kuni neli erinevate parameetritega soojuskoormust ja kuni kuus auru (vee-) magistraali, neist kaks värske auru magistraali. Elektriijaama tehnoloogilisele skeemile muid piiranguid ei esitata.

Kompleks võimaldab lahendada järgmised ülesanded.

1. Optimaalsete režiimide diagrammide arvutamine. Ülesanne võimaldab arvutada kõikide põhiseadmete ja turbiinide vaheltvõttude optimaalsed koormused sõltuvalt jaama elektrilisest võimsusest. Diagrammid arvutatakse vastavalt auru- ja magistraalide etteantud soojuskoormustele.

2. Katelde karakteristikute arvutamine ja karakteristikute korrigeerimine.

3. Turbiinide režiimidiagrammide korrigeerimine.

4. Reduktsioonjahutusseadmete ja soojaveeboilerite kulukarakteristikute korrigeerimine.

5. Jaama tegelike režiimide majanduslik hindamine.

6. Jaama põhiseadmete optimaalsete koormusgraafikute arvutamine vastavalt jaamale antud elektrilistele ja soojuslikele koormusgraafikutele.

7. Jaama sisend-väljundkarakteristikute arvutamine.

8. Generaatorite kaovalemite arvutamine.

9. Generaatorite optimaalsete reaktiivvõimsuste arvutamine vastavalt antud jaama reaktiivvõimsusele.

Kompleks on varustatud spetsiaalse andmebaasiga ja selle teenindusprogrammidega.

Kirjandus

1. Валдма М.Х., Таммоя Х.Э.-Й. Методика оптимизации распределения нагрузок между агрегатами и расчета вход-выход характеристик тепловой электростанции // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1976. № 403. С. 29-44.
2. Комплексная методика и программа оптимизации режимов конденсационных электрических станций ОПТЭС-2 / М.Х. Валдма, М.Э. Кээл, О.Н. Лийк, К.Ю. Мёллер, Х.Э.-Й. Таммоя // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1983. № 549. С. 19-30.

H. Tammoja

Optimum Load Planning in Thermal Power Stations

Abstract

The descriptions of the programs OPTES-2 and OPTES-4 for the optimum load planning of all types of thermal power stations have been presented here. The program OPTES-2 is for a power station with blocks-turbine-boiler. The program OPTES-4 is for the complex (active, reactive, and thermal) optimum load planning of power stations' regimes.



Hind 50 kop.

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU



1 0200 00082452 8