

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**ELEKTROENERGETİKA SİSTEMİNDƏ
ELEKTRİK ENERJİSİNİN ÜNVANLI ÖTÜRÜLMƏSİ
ÜSULLARININ TƏDQIQI**

İxtisas: 3341.01 - Elektrik stansiyaları (elektrik hissəsi) və
elektroenergetik sistemlər

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Famil Güləmməd oğlu İsgəndərov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

İş Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika
Institutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru, professor
Balametov Əsrər Balamet oğlu

Rəsmi opponentlər:

texnika elmləri doktoru, Akademik
Həşimov Arif Məmməd oğlu

texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Nəsimov Valeh Xəlil oğlu

texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Müfidzadə Nahid Abdulla oğlu

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində
fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor



Yusifbəyli Nurəli Adil oğlu

Dissertasiya şurasının elmi katibi: texnika elmləri üzrə fəlsəfə
doktoru, dosent



Fərhadov Vahid Qara oğlu

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor



Quliyev Hüseynqulu Bayram oğlu

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Yanacaq resurslarının tükəndiyi müasir dövrdə elektrik enerjisinə olan tələbatın ödənilməsi üçün enerjiyə qənaət etmək, ondan səmərəli istifadə etmək önəmli məsələlərə çevrilmişdir.

Elektroenergetika sektorunda effektivliyi artırmaq üçün onun təşkilati strukturunu dəyişmək lazım gəlir. Belə ki, ənənəvi energetikada generasiya, ötürmə, paylama və pərakəndə satış şaquli inteqrasiya edilmiş quruluş idi.

Bazar iqtisadiyyatının inkişaf etdiyi ölkələrdə elektrik enerjisi (EE) bazarda satılır. Bu məqsədlə tənzimlənən müqavilələr bazarı, EE sərbəst alış-satış müqavilələri, bir sutka əvvəlcədən bazar, balanslaşdırıcı bazar kimi bazar mexanizmlərindən istifadə edilir.

Yükün və tələbatın qiyməti sutka ərzində dəyişir. Pik yükləri dövründə tələbat və qiymət yüksək olduqda məsrəfləri böyük olan istehsalçılar öz enerjilərini bazara təklif edə bilirlər. Xərcləri az olan istehsalçılar isə yalnız tələbatın az və qiymətin aşağı olduğu qalan dövrlərdə EE istehsal edir və satırlar.

Elektrik enerjisi bazarında rəqabət münasibətlərinin tətbiqi bir sıra yeni məsələlərin həllini tələb edir, məsələn, hər bir stansiyanın konkret tələbatçının təchizatında payının müəyyən edilməsi, konkret tələbatçının hansı generatorlar tərəfindən təchiz olunması, tələbatçılara verilən EE-nin qiyməti bir-birindən fərqlənən müxtəlif stansiyalarda istehsal oluna bildiyindən düyünlərdə EE-nin qiymətinin modelləşdirilməsi və sair.

Elektroenergetika sisteminin maliyyə-texnoloji modellərinin tətbiqi zamanı generasiya, yük axınları və yükün ünvanlılığı haqqında məlumatlardan istifadə edildiyindən müxtəlif maliyyə və texnoloji hallarda EES-nin halını təhlil etməyə imkan yaranır.

Müvafiq hesablamalar həm aktiv, həm də reaktiv güclər üçün aparılmalıdır. Reaktiv güc üçün aparılan hesablamalar şəbəkənin necə istifadə edildiyi, kompensasiya qurğularının yeri və istifadə dərəcəsi haqqında məlumat verir.

Enerjisistemin elektrik şəbəkələrində aktiv və reaktiv güc axınlarının və itkilərinin, elektroenergetika sisteminin düyünlərində elektrik enerjisinin qiymətlərinin modelləşdirilməsi Schweppe F. C., Bialek J., Conejo A., Kirschen D., Strbac G., Mahnitko A., Bartolomey P.İ., Vaskovskaya T.A., Qamm A.Z., Qolub İ.İ., Rusina A.G və başqalarının işlərində əksini tapmışdır.

Azərbaycan Respublikasının elektroenergetika sistemində elektik enerjisi bazarının formalaşdırılması mühüm bir məsələdir. Elektroenergetika sisteminin operativ idarəetmə problemlərinin yüksək keyfiyyətli həlli üçün enerji bazarında rəqabət münasibətlərinin həlli üsullarının işlənməsi kimi məsələlərin həlli aktuallaşır. Xarici ölkələrdə enerji bazarının rəqabət münasibətlərinin tətbiqi fəal şəkildə aparıldığı halda ölkəmizdə bu modellər tətbiq olunmayıb.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı elektrik enerjisinin istehsalı, ötürülməsi, paylanması və təchizatı zamanı müasir texnologiyaların tətbiq edilməsi ilə bazar münasibətlərinin formalaşdırılması üçün ümumi analiz aparmaqla elektrik enerjisinin müxtəlif düyün nöqtələrində izlənməsidir.

Tədqiqatın predmeti elektrik enerjisinin istehsal-istehlak prosesində bazar münasibətlərinin formalaşdırılması və inkişaf etdirilməsi məqsədilə alqoritmlərin hazırlanması və tətbiq edilməsi, müxtəlif proqram təminatlarından istifadə etməklə idarəetmə proseslərinin sadələşdirilməsi, istehlakçıların elektrik enerjisi təminatının ödənilməsinin sadə mexanizmləri, enerji itkilərinin azaldılması, itkilərin ünvanlı paylanması, elektrik enerjisinin effektivliyinin yüksəldilməsi və bu sahədə iqtisadi səmərəliliyin artırılmasıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi elektroenergetika sistemində elektrik enerjisinin ünvanlı ötürülməsinin hesabatı metodika və alqoritmlərinin işlənməsidir.

Qoyulmuş məqsədə müvafiq olaraq dissertasiya işində tədqiqatlar əsasən aşağıdakı məsələlərin həllinə yönəlmişdir:

1. Elektrik enerjisinin bazar modellərinin tədqiqi;
2. Aktiv gücün ünvanlı paylanması metodika və alqoritmının işlənməsi;

3. Aktiv güc itkilərinin ünvanlı paylanması alqoritminin işlənməsi və realizə olunması;

4. Düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətinin modelləşdirilməsi alqoritmlərinin işlənilib hazırlanması.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlərin həllində elektrik sistemləri nəzəriyyəsi, ədədi üsullardan, matrislər cəbrindən, optimallaşdırma üsullarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Aktiv gücün ünvanlı paylanması metodikası və alqritmi;
2. Aktiv güc itkilərinin ünvanlı paylanmasının metodikası və alqritmi;

3. Güc ötürməsinin paylanması və hava xətlərinin açılımlarının paylanması əmsallarının hesablanması üçün proqram təminatı;

4. Düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətinin modelləşdirilməsi üçün metodika və alqritm.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Yerinə yetirilmiş tədqiqatların nəticəsində elektroenergetika sistemində elektrik enerjisinin və itkilərin ünvanlı paylanması və düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətinin modelləşdirilməsi alqoritmlərinin işlənilib hazırlanmasıdır.

Dissertasiya işində alınmış **əsas elmi nəticələr** aşağıdakılardır:

1. Aktiv gücün ünvanlı paylanması metodikası və alqritmi işlənilib hazırlanmışdır.

2. Aktiv güc itkilərinin ünvanlı paylanmasının metodikası və alqritmi işlənilib hazırlanmışdır.

3. Düyünlərdə elektrik enerjisinin qiymətinin modelləşdirilməsi üçün metodika və alqritm işlənilib hazırlanmış və proqram təminatı şəklində realizə olunmuşdur.

4. Düyünlərdəki güclərin xətlərdəki güc axınına təsirini göstərən güc ötürməsinin paylanması və güc axınlarının cəld hesablanması və şəbəkənin təhlükəsizliyinin təhlili üçün elektrik verilişi xətlərinin açılımlarının paylanması əmsallarının hesablanması üçün proqram təminatı işlənmişdir.

5. Test sxemləri üzərində təmiz və qarışıq generasiya hallarında düyünlərdə EE-nin qiymətləri hesablanmış və təhlil edilmişdir.

Alınmış nəticələrin **dürüstlüyü və əsaslandırılması** Matlab və Matcad riyazi paketlərindən istifadə etməklə müvafiq proqram vasitələrinin işlənməsi, yerinə yetirilmiş hesabatların müqayisəli şəkildə yoxlanmasıdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti təklif edilmiş metodika və alqoritmlərin “Azərenerji” ASC-nin elektrik şəbəkələrində texniki itkilərin paylanması, bazar münasibətləri şəraitində düyünlərdə EE-nin qiymətinin modelləşdirilməsi üçün istifadə olunmasındadır. Güclərin ünvanlı paylanma probleminin həlli metodlarını həmçinin aşağıdakı məsələlərin həllində istifadə oluna bilər: enerji sistemində enerji tranzitinə yaratdığı əlavə itkilərin müəyyənəşdirilməsi; kompensasiya qurğularının müvafiq yerlərdə yerləşdirilməsinin effektivliyinin təhlili; düyünlərdə gərginliyin tənzim olunması üçün reaktiv gücün payının təyini; elektrik enerjisinin keyfiyyətinin pisləşməsində və digər məsələlərdə günahkarların müəyyənəşdirilməsi.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddəaları və nəticələri məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

1. Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutunda yerinə yetirilən elmi-tədqiqat işləri çərçivəsində keçirilən 2012-2023-cü il seminarlarında;

2. Elektroenergetikanın müasir problemləri haqqında Respublika elmi konfransında. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2011.

3. Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XIX Respublika elmi konfransında. İqtisad Universiteti Bakı 2015.

4. Energetikanın müasir elmi-texniki və tətbiqi problemləri haqqında beynəlxalq elmi konfransda. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2015.

5. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri haqqında beynəlxalq elmi konfransda. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2018.

6. Sumqayıt şəhərinin 70 illiyinə həsr olunmuş Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri haqqında respublika elmi konfransının materialları. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2019.

7. Elektrik Mühəndisliyinin Texniki və Fiziki Problemlərinə dair 15-ci Beynəlxalq ICTPE-2019 Konfransının Materialları. İstanbul, Türkiyə 2019-cu il.

İşin tətbiqi metodika və alqoritmlər əsasında, “Azərenerji” ASC-nin sistem əhəmiyyətli elektrik şəbəkələrində texniki itkilərin ünvanlı paylanması, eyni zamanda bazar münasibətləri şəraitində düyünlərdə EE-nin qiymətinin modelləşdirilməsi üçün təhlill və sınaq işlərində istifadə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin nəticələri “Azərenerji” ASC üçün 01-18 sayılı 04.01.2018-ci il tarixli müqavilə üzrə “Elektroenergetika sisteminin düyünlərində elektrik enerjisinin qiymətlərinin modelləşdirilməsi” mövzusunda elmi-tədqiqat işi üzrə yerinə yetirilmiş hesabatında istifadə olunmuşdur.

Nəşrlər. Dissertasiyanın mövzusu üzrə 15 elmi əsər çap edilmişdir. Bunlardan 3-məqalə xaricdə AAK tövsiyyə etdiyi beynəlxalq nəşrdə, 12 elmi əsər AAK tərəfindən tövsiyə edilən dövrü elmi nəşrlərdə çap edilmişdir.

Tədqiqatçının şəxsi töhfəsi:

Tədqiqatçının nəşr olunmuş əsərlərindən və elmi işindən elektrik enerjisinin ünvanlı paylanmasına dair metodların modelləşdirilməsi ilə bağlı mövcud yanaşmaların təhlil edilməsində, hesablamalar aparmaq üçün sxemlərin, alqoritmlərin və düyün qiymətlərini müəyyən etmək üçün eksperimental proqramın hazırlanmasında, test nümunələrində, nəticələrin təhlilində və s. istifadəsi tövsiyə olunur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticə, 92 adda ədəbiyyat siyahısı, əlavələrdən və ixtisarlardan siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi 49 cədvəl, 31 şəkil təşkil etməklə 180 səhifədən (200000 işarə) ibarətdir. Xüsusi halda I fəsil (44000 işarə), II fəsil (48000 işarə), III fəsil (29000 işarə), IV fəsil (36000) işarə təşkil edir.

İŞİN MƏZMUNU

Birinci fəsildə Azərbaycanın elektroenergetika sisteminin müasir vəziyyəti təhlil olunmuş, elektroenergetika bazarına keçidin zəruriliyi göstərilmiş, şəbəkələrdə elektrik enerjisinin bazar modelləri nəzərdən keçirilmişdir.

Azərbaycan enerji sisteminin yükü daima dəyişir. Kondisioner yüklərin payının artması hesabına yay mövsümündə də yük qrafiklərinin formasının və maksimal yük rejiminin dəyişməsi müşahidə olunur. Nəticədə yükün qısa müddətli proqnozuna və müvafiq riyazi modellərin və alqoritmlərin əsasında metodika və proqram təminatına ehtiyac yaranır.

Azərbaycan Respublikasının qurucusu Ulu Öndər Heydər Əliyevin zəkası sayəsində ildən-ilə irəliyə doğru gedən dövlətimiz iqtisadi, sosial, siyasi və mədəni inkişaf mərhələsinin tarixi dövrünü yaşayır. Möhtərəm Prezidentimiz İlham Əliyevin şücaəti sayəsində tarixi ərazi bütövlüyünü təmin edərək ölkəmiz yeni inkişaf mərhələsinə keçmişdir.

Azərbaycan Respublikası uğurlu siyasət nəticəsində beynəlxalq arenada tanınmaqla həyata keçirilən islahatlar iqtisadiyyatın inkişafını, müasir sosial-iqtisadi infrastruktur quruculuğu proseslərinin sürətlənməsini və xalqın maddi rifahının yüksəlməsini və insanların yaşayış səviyyəsinin davamlı inkişafını təmin etməkdədir. Azərbaycan dünya miqyasında sabit və dayanıqlı iqtisadiyyatı, eləcə də böyük maliyyə resursları olan, mühüm geosiyasi və geoiqtisadi mövqe tutan, qlobal enerji təhlükəsizliyinin təminatında strateji rol oynayan dövlətə çevrilmişdir. Artan iqtisadi güc və beynəlxalq nüfuz Azərbaycana Cənubi Qafqazın və ətraf regionların iqtisadiyyatlarına təsir göstərməyə qadir olan böyük layihələrin icrasının təşəbbüskarı olaraq çıxış etmək imkanı yaratmışdır.

Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2016-cı il 6 dekabr tarixli 1138 nömrəli “Milli iqtisadiyyat və iqtisadiyyatın əsas sektorları üzrə Strateji Yol Xəritələrinin təsdiq edilməsi haqqında” Fərmanı ilə təsdiq edilmiş “Azərbaycan Respublikasında kommunal xidmətlərin (elektrik və istilik enerjisi, su və qaz) inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsinin 3-cü Strateji hədəfində Dünya üzrə orta səmərəlilik və

keyfiyyət standartlarının tətbiqi və məqsədlərə nail olmaq üçün mexanizmlərin işə salınmasına dair vəzifələr qeyd olunmuşdur.

“Azərenerji” açıq səhmdar cəmiyyəti tərəfindən Strateji Yol Xəritəsinin Tədbirlər Planının “Elektrik enerjisinin itkilərinin azaldılması, elektrik enerjisinin verilməsinin və paylanmasının keyfiyyətinin yüksəldilməsi” bəndinin “Modernləşmə işləri üçün baş planın hazırlanması” yarımbəndi üzrə icra mexanizmi hazırlanıbdır. İcra mexanizmində “Azərenerji” açıq səhmdar cəmiyyəti tərəfindən elektrik stansiyalarının səmərəliliyinin artırılması və mövcud potensialdan effektiv istifadə edilməsi məsələlərinə diqqət yetirilmişdir.

Hal-hazırda Azərbaycanda müxtəlif səviyyələrdə və qurumlarda “Elektrik Enerjisi Bazarı haqqında” qanun layihəsi geniş müzakirə edilir. Beynəlxalq təcrübəyə əsaslanaraq hazırlanmış qanun layihəsi rəqabətə əsaslanan elektrik enerjisi bazarına keçid, yeni bazar iştirakçılarını təqdim etmək və Azərbaycanın həmsərhəd dövlətlərlə elektrik enerjisi ticarətini artırmaq məqsədini güdür.

Elektrik enerjisi sənayesi yarandığı andan bu günə qədər milli iqtisadiyyatın sektorları arasında əsas yerlərdən birini tutur. Bunun səbəbi təkcə ölkədəki əhəmiyyətli karbohidrogen ehtiyatları deyil, həm də sənaye istehsalının həcmi, əhalinin sayı, coğrafi mövqeyi və iqlim şəraitidir. Baş verən tarixi və iqtisadi hadisələr enerjinin büdcə formalaşdıran sənaye sahəsinə çevrilməsinə səbəb oldu.

Elektrik enerjisi elm və texnikanın inkişafı dövründə tələbatının kəskin artması və müasir tələblərə cavab verməklə daima ön sıralarda yer almışdır. Elektroenergetikada əsas məsələlərdən biri hasil olan elektrik enerjisinin tələbatçılara fasiləsiz, keyfiyyətlə səmərəli şəkildə ötürülməsi və paylanmasıdır.

Bazar iqtisadiyyatının inkişaf etdiyi ölkələrdə EE ticarəti bir sutka əvvəlcədən bazar, balanslaşdırıcı bazar, tənzimlənən müqavilələr bazarı, EE sərbəst alış-satış müqavilələri kimi bazar mexanizmlərindən istifadə etməklə həyata keçirilir.

Ənənəvi enerji sektorunda şaquli integrasiya edilmiş xidmətlər (generasiya, ötürmə, paylama və pərakəndə satış) yeni bir şaquli quruluşa doğru hərəkət edir. Topdansatış enerji bazarında bütün

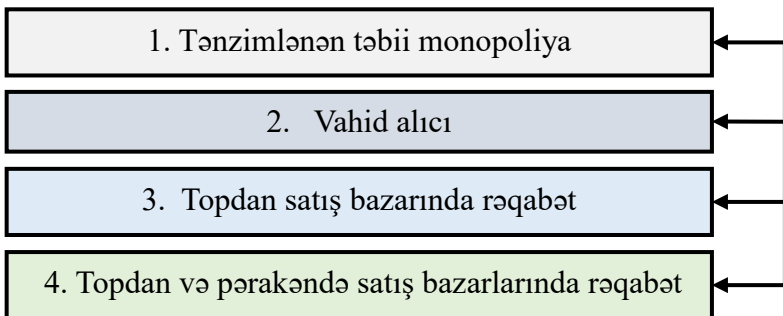
generatorlar bütün distribyutorlara və ya pərakəndə rəqabətə icazə verilə, birbaşa tələbatçılara EE satmaq üçün rəqabət apararlar.

Təkmilləşdirilmiş topdansatış elektrik bazarlarında təsirli rəqabət yalnız aşağıdakı şərtlər yerinə yetirildikdə əldə oluna bilər:

- Şəbəkənin istehsal və təchizatdan ayrılması;
- Topdansatış qiymətinin tənzimlənməsi;
- Rəqabət qabiliyyətli bazarda kifayət qədər ötürmə qabiliyyəti və şəbəkəyə maneəsiz çıxış imkanı;
- Rəqabətdə olan çoxsaylı generatorlar tərəfindən istehsal olunan artıq generasiya qabiliyyəti;
- Qısamüddətli spot bazarları və spot bazar qiymətinin dəyişkənliyinin idarə edilməsində istifadə olunan uzunmüddətli maliyyə alətləri arasındakı əlaqələrin balansı;
- Tənzimlənen nəzarət və özəlləşdirməni əhatə edən hökumət siyasəti.

İlk beş şəraitdən hər hansı birinin olmaması, iqtisadi göstəricilərinə uyğun olaraq idarə olunan tənzimlənen elektrik proqramının səmərəliliyi standartlarına cavab verməyən oligopoliya və ya monopol bazarına səbəb ola bilər. Şəkil 1-də bazarın əsas modelləri göstərilmişdir.

Elektrik enerjisi bazarının yaradılması üçün iki yanaşma mövcuddur. Birinci yanaşma elektrik enerjisinin düyünlərdə qiymətlərinə əsaslanır. Belə model pul bazarı adlanır. İkinci yanaşma üçün azad bazar rəqabəti və "ikitarəfli müqavilə modeli" əsas götürülür.



Şəkil 1. Elektroenergetika bazarının əsas modelləri

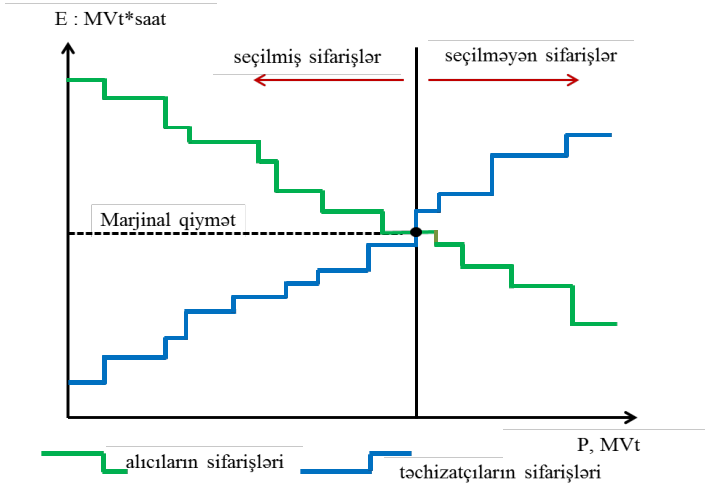
Sərbəst ikitərəfli müqavilələr (SİM) bazarında bazar iştirakçıları qiymətləri və enerjinin çatdırılması qrafikini razılaşdırır, düyünlərdə EE-nin qiymətləri arasında fərqi ödəyirlər.

Bir sutka əvvəlcədən qısa müddətli spot-bazar çərçovəsində vahid hərracda bazar iştirakçılarının təqdim etdikləri qiymət bildirişlərinə əsasən növbəti sutka üçün EE-nin saatbasaat istehsal/istehlak qiymət və həcmi müəyyən olunur. Bundan əlavə bir sutka əvvəlcədən bazarda itkilər və sistem məhdudiyyətləri nəzərə alınmaqla düyünlərdə EE-nin marjinal qiymətləri hesablanır. Spot-bazarın qiymətləri EE-nin bazar qiymətinin əsas indikatorudur.

Bir sutka əvvəlcədən bazar çərçovəsində elektrik enerjisinin təchizatçıları və alıcıları kommersiya operatoruna təqdim etdikləri qiymət bildirişlərində hansı saatda və hansı miqdarda EE-ni hansı qiymətə almaq və ya satmaq istədikləri haqqında məlumat verirlər.

Bu bildirişlər təchizatçılar üçün qiymətin artması sırası ilə, alıcılar üçün qiymətin azalması sırası ilə düzülür. Beləliklə, təklif əyrisi və tələbat əyrisi formalaşır ki, bu əyrilərin kəsişmə nöqtəsində marjinal qiymət müəyyən olunur.

Qrafik olaraq marjinal qiymətin formalaşması Şəkil 2-də olduğu kimidir. İstehlakçıların tələbatı təsiri imkanı effektiv işləyən istənilən bazarın, o cümlədən elektroenergetika bazarının əsas xüsusiyyətidir.



Şəkil 2. Marjinal qiymətin formalaşması

Beləliklə, elektroenergetika bazarı bir sıra xüsusiyyətləri ilə səciyyələnir. Belə ki, tələbatın azlığı həddi xərclərə yaxın tarazlaşmış qiymətə, tələbatın artması isə daha böyük qiymətlərə gətirir.

Texnoloji nöqteyi-nəzərdən rejim generator avadanlığının və şəbəkənin ötürmə qabiliyyətinə qoyulan məhdudiyyətlərə cavab verməlidir. Bu zaman bəzi generatorlar (onları sistem generatorları adlandırırlar) etibarlılıq, elektrik təchizatının keyfiyyəti, ümumi səmərə, təhlükəsizlik, ekoloji normalar nöqteyi-nəzərindən xüsusi rol oynayırlar.

Satılan EE-nin həcmnin qiyməti aşağıdakı amillərdən asılıdır:

- Satılan (alınan) EE-nin miqdarı (tələbat artdıqca daha “bahalı” generatorlar yüklənir ki, bu da qiymətin artmasına səbəb olur);
- Şəbəkənin ötürmə qabiliyyətinə məhdudiyyətlərin mövcudluğu;
- Bazar iştirakçılarının ərazi aidiyyəti və təchizatın hesabat qiyməti;
- İstehsal və istehlak rejimlərindən kənara çıxmaların səbəbi.

Balanslaşdırıcı bazar real zaman kəsiyində elektrik şəbəkəsinin balanslaşdırma ehtiyaclarını ödəmək üçün yaradılmış topdansatış bazarı olaraq plana nəzərən artıq istehlak edilən və ya istehlak edilməyən EE-nin alqı-satqısını yerinə yetirir.

Elektroenergetika sisteminin düyünü üçün texnoloji-maliyyə modelinin təklif olunmuş tənlikləri aşağıdakı kimidir [35-37]:

$$\begin{aligned}
 -P_{gi} + P_{yi} + \sum P_{ij}(U, \delta) &= 0 \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m \\
 P_{gimin} &\leq P_{gi} \leq P_{gimax} \\
 P_{ijmin} &\leq P_{ij} \leq P_{ijmax} \\
 \sum d_{ik} &= B_i(P_{gi}) \\
 L_i &= \sum_{k=1}^n (d_{ik} b_{ik} - \varphi_{ik}) + C_i P_{yi} \\
 &+ \left(\sum_{j \in \omega_i} a_{ij} C_j P_{gj} - \psi_{ij} \right) + N_i > 0
 \end{aligned}$$

Burada, d_{ik} – yanacağın qiyməti,
 b_{ik} – yanacağın həcmi,

L_i – i sayılı düyünün məqsəd funksiyası,

$(d_{ik}b_{ik} - \varphi_{ik})$ - yanacağa görə ödəniş,

$C_iP_{Y_i}$ - i -ci düyündə satış,

α_{ij} – ünvanlılıq matrisi,

C_j – j -ci düyün tərəfindən alış qiyməti,

ψ_{ij} – j -ci düyünün i -ci düyünə borcu,

N_i – hesabda olan pul vəsaitidir.

Elektrik enerjisi bazarında rəqabət münasibətlərinin tətbiqi bir sıra yeni məsələlərin həllini aktuallaşdırır, məsələn, hər bir istehsalçının konkret tələbatçının təchizatında payının təyin edilməsi, müxtəlif tələbatçıların hansı stansiyalar tərəfindən və nə dərəcədə təchiz olunması və sair.

Tələbatçılara verilən EE müxtəlif stansiyalarda istehsal edildiyi üçün və bazar münasibətləri şəraitində müxtəlif təchizatçılarda elektrik enerjisinin qiyməti müxtəlif olduğundan bazar iştirakçıları arasında güc və enerji axınlarının paylanması aktual məsələlərdən biridir.

Elektroenergetika bazarının bir sıra xassə və xüsusiyyətləri bu bazarın qeyri mükəmməl olmasına və digər bazarlardan fərqli olmasına gətirir. Məlum xassələrdən əlavə aşağıda sadalanan digər xassələri də qeyd etmək olar¹:

- Bazara yeni istehsalçıların daxil olmasının qarşısını almaq üçün fiziki baryer yaradan EE-nin xüsusişdirilmiş ötürmə sistemi;

- Sutka, həftə, mövsüm ərzində tələbatçıların yükünün dəyişkənliyi və bu səbəbdən istehsalçılar üçün qısamüddətli xərclərin qeyri-müəyyənliyi və nəticədə normal spot bazarlarının yaradılmasının qeyri mümkünlüyü;

- Böyük kapital tutumu, elektrik stansiyalarının uzun tikilmə müddətləri; enerji sistemin obyektlər üzrə inkişafı. Bu iki xassə güc defisitinin tez aradan qaldırılmasına mane olur. Qeyd etmək lazımdır ki, elektroenergetika bazarının növündən asılı olaraq elektrik stansiyalarının maliyyələşdirmə mexanizmləri də dəyişir.

¹ Айзенберг Н.И. Модели рынков несовершенной конкуренции: приложения в энергетике- Иркутск: ИСЭМ СО РАН. -2015. - с. 286.

Elektrik enerjisi bazarının digər məhsul bazarlarından başlıca fərqi:

- Onun ərazi məhdudiyyəti, dünya bazarının və dünya elektrik enerjisi qiymətlərinin olmaması;

- Rejimlərin operativ-dispetçer idarə olunmasının və EES-nin inkişafının mərkəzləşdirilmiş planlaşdırılmasının zəruriliyi;

EES-nin generasiya sferasında məsrəflərin qeyri-müəyyənliyi və sairidir.

Elektroenergetika bazarının qeyri-mükəmməlliyi birinci növbədə bazara yeni istehsalçıların daxil olması üçün texnoloji maneə və rəqabət bazarına keçdikdə qiymət baryeri yaradır. EE istehsalçılarının monopoliyası bazarın təşkilinin “Vahid alıcı” modelindən başqa bütün modellərdə qalır.

Azərbaycan Respublikasında 2025-ci ilədək topdansaş bazarı və özəl sektor subyektlərinin iştirak etdiyi investisiya mühitinin yaradılması, əsasən, bərpa olunan enerjiden istifadənin təmin edilməsi yolu ilə elektrik enerjisi sektorunda səmərəliliyə nail olmaq məqsədi müəyyən edilmiş və elektrik enerjisi üzrə topdansaş bazarı yaradılmaqla, bu sahəyə daha böyük həcmdə investisiyaların cəlb edilməsi təmin olunacaqdır.

Dünyanın müxtəlif ölkələrinin elektrik enerjisi bazarında rəqabət münasibətlərinin icmalı, stansiyaaların konkret tələbatçıların təchizatında payının müəyyən edilməsi, konkret tələbatçının hansı generatorlar tərəfindən təchiz olunması kimi məsələlərin həllini aktuallaşdırır.

Elektrik enerjisi bazarında düyün qiymətlərinin hesablanması metodlarının icmalı aparılmışdır. Generasiya, yük axınları və yükün ünvanlılığı haqqında məlumatlardan istifadə edərək düyünlərdə EE-nin qiymətinin riyazi modelləri əsasında metodika və proqram təminatı işlənməlidir.

Güc axınlarının izlənməsi üçün ilkin məlumatlar qismində qərarlaşmış rejimlərin hesablarından, ölçmələrdən və həmçinin sistemin halının qiymətləndirilməsindən alınan məlumatlar istifadə oluna bilər.

I Fəslin nəticələri müəllif tərəfindən [1, 11] işlərdə öz əksini tapmışdır.

İkinci fəsildə elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında güc axınlarının ünvanlı paylanması məsələsinin həllində istifadə olunan matrislər təhlil edilmişdir. Həmin matrislərin xassələri test sxemi üzərində sınaq edilmişdir. Hesabatlar Mathcad riyazi paketindən istifadə edilməklə yerinə yetirilmişdir.

Elektroenergetika sistemində yükün qənaətcil paylanması üçün istifadə olunan, işləyən aqreqların tərkibinin seçilməsi kimi klassik məsələlər də ünvanlı xarakterə malikdir. Övvəllər ünvanlılıq prinsipinə bir sıra ölkələrdə ciddi fikir verilmirdi. Lakin tədqiqatlar göstərir ki, bu prinsip müasir idarəetmə üsulu kimi böyük iqtisadi effekt verə bilər. Xarici ədəbiyyatda buna ciddi diqqət yetirilir. Elektroenergetika bazarının fəaliyyət göstərdiyi ölkələrdə aşağıda sadalanan məsələlər ünvanlı xarakterə malikdir:

- Elektroenergetika bazarında enerji sistemlərinin qarşılıqlı münasibətləri;
- Regional, şəbəkə və generasiya müəssisələrinin qarşılıqlı münasibətləri;
- Enerji satış müəssisələri və tələbatçılar üçün ünvanlı qiymətləndirmələr;
- Ünvanlı qiymətləndirmələrin tariflərdə nəzərə alınması.

Güc axınlarının ünvanlı paylanması yüklərin generasiyada, eyni zamanda generatorların yüklərdə payını müəyyən edir, itkiləri generatorlar və yüklər arasında bölür, xətlərdəki güc axınlarının generatorlar və yüklər arasında dekompozisiyasını yerinə yetirir. Güc axınlarının ünvanlı paylanmasını matris və qraf metodları ilə yerinə yetirmək olar.

Güc və enerji axınlarının paylanma əmsallarının hesablanması üçün işlənmiş alqoritmlər aşağıdakı məqsədlər üçün istifadə oluna bilər:

- Hər bir generasiya düyünündən yük düyünlərinə ötürülən gücün payını müəyyən etmək;
- Hər bir yük düyününün müxtəlif generasiya düyünlərindən aldığı gücün payını müəyyən etmək;
- Elektrik şəbəkəsinin xətləri ilə ötürülən gücdə hər bir generasiya düyününün payını müəyyən etmək;

- Hər bir generasiya düyünündən yük düyünlərinə doğru güc itkilərinin paylanmasının müəyyən olunması;
- Konkret generatordan ötürülən gücün xətlər arasında paylanmasını təyin etmək;
- Kompensatorların qoyulmasının effektivliyinin təhlili;
- Konkret düyündə gərginliyin tənzim olunması üçün reaktiv gücün payını təyin etmək;
- Cərəyan və güclərin harmonikalarının izlənməsi və nəticədə onların mənbəyinin müəyyən olunması.

Qeyd etmək lazımdır ki, paylanma əmsallarının hesablanması problemini həm aktiv, həm də reaktiv güclər üçün həll etmək olar.

Bu fəsilə gücün ünvanlı ötürülməsinin hesablanması üçün müxtəlif üsullar təhlil olunmuş və təsvir edilmişdir. Bu təhlilə və müəyyən edilmiş çatışmazlıqları nəzərə alaraq qeyd etmək olar ki, gücün ötürülməsinin hədəflənməsinin alqoritmi aşağıdakı keyfiyyətlərə malik olmalıdır:

- Hesablama alqoritminin və proqramlaşdırmanın sadəliyi;
- Ünvanlı paylanmanın nəzəri elektrotexnika qanunlarına əsaslanaraq obyektiv müəyyənləşdirilməsi;
- Alqoritmın mürəkkəbliyi və mümkünlüyü;
- Ünvanlı paylanmanın bütün göstəricilərinin təsdiqinin mümkünlüyü.

Mövcud metodun çatışmazlıqlarını aradan qaldırmaq üçün, ünvanlı paylanma probleminin həlli üçün yeni bir alqoritm təqdim edilməsi məsələsi qoyulur. Aktiv gücün ünvanlı paylanması alqoritmi aşağıdakı mərhələlərə bölünür:

1. i-düyünün təchizatında j-stansiyasının iştirakının müəyyən edilməsi;
2. k-yükünün tədarükündə j-stansiyasının iştirakının müəyyən edilməsi;
3. j stansiyasından alınan i-ci gücün başlanğıc və sonunun müəyyən edilməsi;
4. k-yükünün təchizatında i-düyünün iştirakının müəyyən edilməsi;
5. j-stansiyasından k-yükə göndərilən gücün müəyyən edilməsi;

6. k-yükü səbəbiylə ikinci xəttin başlanğıcının və sonunun gücünün müəyyən edilməsi.

Sxemin bütün düyünləri üçün tərtib olunan M matrisi elektrik şəbəkəsinin konfiqurasiyasını müəyyən edir². M matrisinin sətirələrinin sayı xətlərin sayına, sütunlarının sayı isə düyünlərin sayına bərabərdir. Bu matrisin elementləri xətlərdən axan aktiv güclərin hansı düyündən çıxdığını və hansı düyünə axdığını təyin edir. Həmin matris aşağıdakı iki matrisin cəminə bərabərdir:

$$M = M_{ir} + M_{geri}$$

Burada, M_{ir} matrisinin elementləri aktiv güc axınının hansı düyündən çıxdığını göstərir və bu matrisin elementləri 1 və ya 0-a bərabərdir. Məsələn, Şəkil 3-də 2-ci xətdə aktiv güc axını 1-ci düyündən çıxdığı üçün M_{ir} matrisində $(M_{ir})_{21} = 1$,

M_{geri} matrisinin elementləri isə aktiv güc axınının hansı düyünə axdığını göstərir və bu matrisin elementləri -1 və ya 0-a bərabərdir. Məsələn, Şəkil 3-də 2-ci xətdən axan aktiv güc 4-cü düyünə daxil olduğu üçün $(M_{geri})_{24} = -1$.

M_{ir} və M_{geri} matrislərinin Mathcad sistemində proqramlaşdırılması aşağıdakı alqoritm əsasında yerinə yetirilir:

```

Mir :=
  for i ∈ 1.. n
    for k ∈ 1.. m
      Aui,k ← 1 if i = k
      Aui,k ←  $\frac{-P_{vetveyN_{k,i}}}{P_{uzlovaya_k}}$  if  $P_{vetveyN_{k,i}} \neq 0$ 
    (Au)

```

² Bialek J.: Tracing the flow of electricity. IEE Proc Gen. Transm. Distrib., vol. 143, July 1996.

```

Mgeri := for i ∈ 1..n
        for l ∈ 1..m
            Adi,l ← 1 if i = 1
            Adi,l ←  $\frac{-P_{vetveyN_{i,l}}}{P_{uzlovaya_l}}$  if PvetveyNi,l ≠ 0
        (Ad)

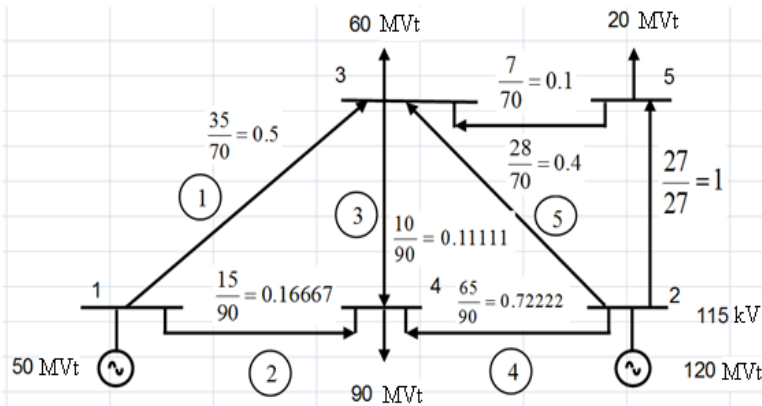
```

Burada, n və m müvafiq olaraq düyün və budaqların sayı,

$P_{uzlovaya}$ – düyündə qarışıq generasiya,

P_{vetvey} budaqlardan axan güclərdir.

Şəkil 3-də güc axınlarının ünvanlı paylanması məsələsinin həlində istifadə olunan matrislərin xassələrini təhlil etmək üçün istifadə olunan test sxemi təsvir olunmuşdur. Sxemdə 1 və 2 generator düyünləri, 3, 4, 5 isə yük düyünləridir.



Şəkil 3. Test sxemi

Cədvəl 1-də müvafiq olaraq generatorların, düyünlərdə digər düyünlərin, yüklərdə stansiyaların payı verilmişdir.

Cədvəl 1. Düyünlərdə generatorların payı

Düyünlər		Generatorlar				
		1	2	3	4	5
	1	0	0	30	20	0
	2	0	0	30	70	20
	3	0	60	10	0	0
	4	0	0	90	0	0
	5	0	6	1	20	0

$D_d = I - A_{ir}$ ifadəsindən təyin edilən D_{ir} matrisinin $[D_{ir}]_{ij}$ elementi j -ci düyündə i -ci düyünün payını (i - j xətti ilə) müəyyən edir (Cədvəl 2).

Cədvəl 2. D_{ir} matrisinin elementləri

Düyünlər	D_{ir} matrisi				
	Düyünlər				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0.5	0.16667	0
2	0	0	0.4	0.72222	1
3	0	0	0	0.11111	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0.1	0	0

D_{ir}^2 matrisinin elementləri konkret düyünün dolayı yolla hansı düyünlər tərəfindən təchiz edildiyini göstərir. Məsələn, 4-cü düyünə güc dolayı yolla 1, 2 və 5-ci düyünlərdən, 3-cü düyünə isə 2 və 5-ci düyünlərdən axır.

D_{ir}^3 matrisinin $[D_{ir}^3]_{ij}$ elementi j -ci düyünə gücün i -ci düyündən hansı iki aralıq düyün vasitəsilə ötürüldüyünü göstərir.

Dünyanın qabaqcıl ölkələrinin enerji sistemlərinin işinin təhlili göstərir ki, güc axınlarının idarə olunması probleminin optimal həlli üçün güc elektronikaı bazasında çevik idarə olunan dəyişən cərəyan sistemləri texnologiyalarından istifadə olunmalıdır.

Elektrik veriliş xəttindən axan güc axınını idarə etməyə imkan verən tiristorla idarə olunan uzununa kompensator qurğusunun qərarlaşmış rejimlərdə modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir.

Azərbaycan elektroenergetika sisteminin 220-330-500 kV-luq gərginlikli ekvivalent sxemi üzərində qeyri-bircins şəbəkədə aktiv gücün idarə edilməsi məqsədi ilə tiristorla idarə olunan ardıcıl kompensatorun kompüter modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir.

Güc axınlarını bilavasitə idarə etmək mümkün deyil. Qızma şərtinə görə naqilin yük buraxma qabiliyyəti aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$P_{\max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{b.b.} \cdot \cos \varphi$$

Burada, U – xəttin gərginliyi,

$I_{bb.}$ - qızma şərtinə görə buraxılabilən cərəyan,

$\cos \varphi$ - güc əmsalıdır.

Güc axınlarının istiqamətini dəyişmək üçün xəttin impedansını, gərginliyini və ya gərginlik vektorunun bucaqlar fərqi dəyişməliyik.

Hava xəttinin impedansını dəyişməklə EVX-dən axan güc axınını idarə etməyə imkan verən tiristorla idarə olunan uzununa kompensator qurğusunun qərarlaşmış rejimlərdə modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir.

Güclərin ötürülməsinin paylanması matrisi (PTDF matrisi) hər bir düyünün güc inyeksiyasının fərdi xəttəki güc axınına təsirini göstərir:

$$\vec{PX} = PTDF \cdot \vec{P}_{inj} \cdot \left(\vec{P}_{gen} - \vec{P}_{yük} \right)$$

Burada, PX -xətlərdəki güc axınları,

PTDF - güc ötürməsinin paylanması matrisi,

P_{inj} – düyünlərdə güc inyeksiyası vektoru,

P_{gen} və $P_{\text{yük}}$ – müvafiq olaraq düyünlərdə generasiya və yük vektorlarıdır.

Test sxemləri üzərində hər bir düyünün güc inyeksiyasının fərdi xəttəki güc axınına təsirini göstərən güc ötürməsinin paylanması matrisi alınmışdır.

II Fəslin nəticələri müəllif tərəfindən [1, 2, 6, 7, 8, 9, 15] işlərində öz əksini tapmışdır.

Dissertasiya işinin **üçüncü fəslində** elektroenergetika sisteminin enerji mübadiləsi iştirakçıları arasında güc itkilərinin paylanması metodu işlənmişdir.

Elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması aşağıdakı məsələlərin həllinə imkan verir:

- Normativdən artıq itkilərin ödənilməsi hesabına enerji təchizat təşkilatlarına dəyən zərərin azaldılması və itkilərin sonrakı azaldılması üçün əlavə vəsaitlərin yığılması;

- Elektrik şəbəkələrinin əlavə güc axınlarından azad edilməsi və nəticədə elektrik şəbəkələrinə əlavə gücün qoşulması imkanı;

- İtkilərin kompensasiyası üçün stansiyalarda elektrik enerjisinin hasilatına tələb olunan yanacaq sərfinin və atmosfərə zərərli tullantıların azaldılması;

- Tələbatçıların elektrik enerjisi ilə etibarlı təchizatı üçün tikilən generasiya güclərinin həcmnin azaldılması;

- Elektrik enerjisinin elektrik şəbəkələri ilə ötürülməsi üçün göstərilən xidmətlərin və sonda tələbatçılar üçün elektrik enerjisi tariflərinin azaldılması.

Elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması aşağıdakı məsələlərin həllinə imkan verir. “Azərenerji” ASC-nin elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin səviyyəsi hazırda optimal səviyyəsinə çatmışdır. 2009-cu ildən başlayaraq Azərbaycan EES-nin elektrik şəbəkələrində itkilərin dayanıqlı azalması müşahidə olunur³.

Bazar münasibətlərinin elektrik enerjisi bazarında tətbiqi bir sıra yeni məsələlərin həllini tələb edir ki, onlardan biri də güc itkilərində hər generatorun payının nə qədər olmasıdır.

³ Azərbaycanın Energetikası, Statistik məcmuə - Bakı 2018.

Hal-hazırda müxtəlif sinif gərginlikli elektrik şəbəkələrində gücün tranzitindən itkilərin qiymətləndirilməsi, itkilərin alıcı və satıcılar arasında ünvanlı paylanması kimi məsələlər də prioritet kəsb etmişdir.

Belə ki, elektrik şəbəkəsinin istehlakçıları və elektrik stansiyalarının elektrik bazarının iştirakçıları arasında enerji itkilərinin paylanmasında iştirak payı haqqında suallar meydana gəlir. Bu suallar həm müqavilələrin bağlanması mərhələsində, həm də operativ planlaşdırılma zamanı və elektrik enerjisi və gücün topdansaş bazarında yaranır.

Elektrik enerjisi və güc itkiləri şəbəkə tariflərinin əsas hissəsini təşkil etmir. Sistem təşkiledici şəbəkələrdə bu təşkiledici ümumi xərclərin 10%-i hədlərində dəyişir. Paylayıcı şəbəkələrdə isə onun qiyməti daha çoxdur ki, bunun da səbəbi kommersiya itkiləridir.

Konkret tələbatçı üçün ünvanlı paylanmada onun qiyməti şəbəkə tarifinin 15%-nə qədər ola bilər. Bazar iqtisadiyyatı şəraitində bu mühüm amildir və generator düyünlərində EE-nin qiymətinə, yük düyünlərində isə tariflərə və tələbatçı tərəfindən satıcının seçilməsinə təsir edir.

Bazar münasibətlərində elektrik enerjisi və güc alqı-satqı predmeti olduğundan çoxtarifli hallarda iki məlum və iki yeni məsələnin həlli tələb olunur. Bu məsələlər aşağıdakılardır:

- Güc itkilərinin təyini;
- EE itkilərinin təyini;
- Güc itkilərinin ünvanlı paylanması;
- Enerji itkilərinin ünvanlı paylanması.

Ünvanlı paylanmada itkilər nəinki əsaslandırılmış şəkildə paylanmalı, həm də onların qiyməti nəzərə alınmalıdır. Bundan əlavə itkilərin paylanması əsasında şəbəkələrin istismar xərclərinə də, yəni xərclərin sabit hissəsinə də yenidən baxmaq olar.

Müasir bazar münasibətləri şəraitində elektrik enerjisi və gücünün ünvanlı paylanmasını tələb edən bir sıra məsələlər meydana gəlir. Bu məsələlərə bir şəbəkə müəssisəsi sərhədləri daxilində EE tranzitindən yaranan itkilərin paylanmasını, EE-nin tranzitinə həyata keçirildiyi bir neçə şəbəkə arasında itkilərin ünvanlı paylanmasını, yük düyünləri və generator düyünləri arasında müqavilələrin

formalaşdırıldığı mərhələdə itkilərin ünvənli paylanmasını və onların təchizatın müqavilə şərtlərindən kənara çıxdığı hallarda korreksiya edilməsini, EE və güc itkilərinin qiymətinin təyin edilməsini göstərmək olar.

Tranzit şəbəkələrin sahibləri və elektrik enerjisini alanlar arasındakı qarşılıqlı hesablaşmanın əsaslanması üçün şəbəkədə tranzit itkilərinin ümümü həcmi tapmaq və onu enerji mübadiləsi iştirakçıları arasında paylamaq lazımdır.

Hər hansı xətdən axan gücün tranzit itkilərini hesablamaq üçün düyünlərdə orta güclərə görə tranzit gücü axdıqda və axmadıqda qərarlaşmış rejimi hesablamaq lazımdır. Bu rejimlərdə orta güc itkilərinə görə hesabat dövründə tranzit itkilərini hesablayırlar. Lakin itkilər güc axınlarından qeyri-xətli asılı olduğundan xüsusilə reversiv axınlarda orta axınlara görə itkilərin hesablanması faktiki axınların qeydiyyatını çətinləşdirir və itkilərin əsaslandırılmış hesabatını çətinləşdirir.

Standart qərarlaşmış rejim proqramlarından istifadə etməklə belə hesabatların aparılması xüsusilə kütləvi hesabatlarda, məsələn düyünlərdə EE-nin qiymətini təyin edəndə mümkün olmur, çünki bu hesabatlar bazar şəraitində hər saat üçün operativ olaraq aparılmalıdır.

Bu məqsədlə hətta dəqiqliyi az da olsa operativ üsullar daha yararlıdır. Bu məqsədlə şəbəkə əmsalları, cərəyanın paylanması əmsalları əsasında alqoritmlərdən istifadə etmək olar. Həmin alqoritmlərdən istifadə etməklə operativ olaraq düyünlər üzrə tənliklər sistemini həll etmədən güc axınlarını və itkilərin dəyişməsinə hesablamaq olar.

Fəsilə elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında güc itkisinin ünvənli paylanmasına baxılır. Güc itkisinin ünvənliyi haqqında məsələnin həlli üçün alqoritm və proqram təminatı hazırlanmışdır. Proqramın işi müxtəlif test nümunələrində yoxlanılmışdır.

Standart qərarlaşmış rejim proqramlarından istifadə etməklə itkilərin hesabatlarının aparılması xüsusilə kütləvi hesabatlarda, məsələn düyünlərdə EE-nin qiymətini təyin edəndə mümkün olmur,

çünkü bu hesablar bazar şəraitində hər saat üçün operativ olaraq aparılmalıdır.

Məsələnin həlli üçün şəbəkə əmsalları, cərəyanın paylanması əmsalları əsasında alqoritmlərdən istifadə etməklə operativ olaraq düyünlər üzrə tənliklər sistemini həll etmədən güc axınları və itkilərin dəyişməsi hesablanır.

Aktiv gücün ΔP ümumi itkilərini generator və yük düyünlərinin arasında aşağıdakı kimi bölmək olar⁴:

$$\Delta P = \Delta P_g + \Delta P_Y = \sum_{i=1}^{N_g} \Delta P_{gi} + \sum_{j=1}^{N_y} \Delta P_{Yj},$$

Burada, ΔP_g və ΔP_Y – N_g generator və N_y yük düyünlərinə aid olan aktiv güc itkiləridir.

İtkilərin paylanmasının modelləşdirilməsi məqsədi ilə ötürülmə zamanı itkilərin lokallaşdırması üçün real və sınaq elektrik enerjisi sistemləri üzərində yoxlanılan proqram şəklində reallaşdırılmış alqoritm hazırlanmışdır.

İtkilərin mütənasib paylanmasının Mathcad riyazi sistemində proqramlaşdırılması aşağıdakı alqoritm əsasında yerinə yetirilir:

Mütənasib paylanmada:

```

ΔPlines Uzel :=
  for i ∈ 1..n
    ΔPlines Uzel1 ← 0
    for j ∈ 1..rows(Matris a1)
      Kv,j ← Kones Vet vij
      ΔPlines Uzel1 ← ΔPlines Uzel1 + ΔPlinej if Kv,j = i
    (ΔPlines Uzel)

```

Burada, K_v və $KonesVetv_i$ – xəttin sonunun nömrəsi,

$Matrisa1$ şəbəkənin topooloji matrisi,

$\Delta PlinesUzel$ düyünü qidalandıran xətlərdəki cəmi itkilərdir.

⁴ Голуб И.И., Аверкин А.В. Анализ методов разделения потерь активной мощности в электрической сети. Энергосбережение: технологии, приборы, оборудование: сб. научн.Э 65 трудов / под ред. А.В. Крюкова. - Иркутск: ИрГУПС, 2009. - 132 с. ISBN 978-5-98710-087-5, стр. 44-53.

İtkilərin ayrı-ayrı düyünlər arasında paylanması aşağıdakı düsturla yerinə yetirilir:

$$\Delta P_{poUzlam} := A_u^{-1} \cdot \Delta P_{linesUzel}$$

İtkilərin xətdən axan güc axınlarından qeyri-xətti asılılığına uyğun olan paylanmasının algoritmi:

$\gamma=1$ olduqda

```

Au := for i ∈ 1..5
      for k ∈ 1..5
        Aui,k ← 1 if i = k
        Aui,k ←  $\frac{-P_{vetveyN_{k,i}}}{(P_{nagruzka_k})^1 + \sum_{i=1}^5 (P_{vetveyN_{k,i}})^1}$  if PvetveyNk,i ≠ 0
      (Au)

```

$\gamma \neq 1$ olduqda

```

Auγ := for i ∈ 1..5
       for k ∈ 1..5
        Kvk ← KonesVetvki
        Auγi,k ←  $\frac{-(P_{vetveyN_{k,i}})^\gamma}{(P_{nagruzka_k})^\gamma + \sum_{i=1}^5 (P_{vetveyN_{k,i}})^\gamma}$  if PvetveyNk,i ≠ 0
        Auγi,k ← 1 if i = k
      (Auγ)

```

şəklindədir.

Burada, i - düyünün, j - xəttin nömrələri,

γ - qüvvətin üstü,

P_{nagruzka} - düyünün yükü,

P_{vetveyNi,j} - i-ci düyündən j-ci düyünə axan gücdür,

Ayγ - irəli izləmə matrisidir.

İtkilərin ayrı-ayrı düyünlər arasında paylanması aşağıdakı düsturla yerinə yetirilir:

$$\Delta P_{\text{poUzlam}} := (A_{\text{y}\gamma})^{-1} \cdot \Delta P_{\text{linesUzel}}$$

Aktiv güc itkilərinin ünvanlı bölünməsinin test və Azərbaycan Respublikasının elektroenergetika sisteminin ekvivalent sxemləri üzərində qiymətləndirilməsi işlənilib hazırlanmış proqram təminatının istifadəsi ilə həyata keçirilmişdir.

III Fəslin nəticələri müəllif tərəfindən [5, 8, 11, 15] işlərində öz əksini tapmışdır.

Dissertasiyanın **dördüncü fəslində** enerjisi sistemin düyünlərində elektrik enerjisinin qiymətinin modernləşdirilməsi məqsədilə alqoritm və proqram təminatı işlənilib hazırlanmışdır.

Elektrik enerjisi bazarında rəqabət münasibətlərinin tətbiqi elektrik enerjisinin qiyməti məsələsinin həllini aktuallaşdırır. Bu fəsildə elektrik enerjisinin müxtəlif düyün nöqtələrində qiymətlərinin müəyyən edilməsi üçün mövcud yanaşmalar təhlil olunmuşdur. Matlab riyazi paketində işlənmiş proqramdan istifadə edilməklə test sxemi üzərində hesablar aparılmışdır. Modelləşdirmənin nəticələri göstərir ki, elektroenergetika sisteminin müxtəlif düyünlərində elektrik enerjisinin qiymətləri fərqlənir ki, onlardan bazar münasibətləri şəraitində qiymət bildirişləri kimi istifadə oluna bilər.

Test sxemləri üzərində təmiz və qarışıq generasiya hallarında düyünlərdə EE-nin qiymətləri hesablanmış və təhlil edilmişdir.

Düyünlərdə EE-nin qiymətləri EE-nin ödənişinin adekvat paylanmasını və istehlak edilən EE-nin ödənişinin onun istehsalına çəkilən xərclərə mütənəsb yerinə yetirilməsini təmin edir.

Tələbatçılara verilən EE, qiyməti bir-birindən fərqlənən müxtəlif stansiyalarda istehsal oluna bildiyindən bazar münasibətləri şəraitində elektrik stansiyalarında və digər təchizatçılarda elektrik enerjisinin qiyməti müxtəlif olduğundan bazar iştirakçıları arasında güc və enerji axınlarının paylanması aktual məsələlərdən biridir.

EE-nin qiymətinə enerji itkiləri, elektrik şəbəkəsinin ayrı-ayrı kəsiklərində yük buraxma qabiliyyəti, generatorların gücünə olan mövcud məhdudiyyətlər də təsir edir:

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

Burada, q_1 -generasiyanın marjinal qiyməti,

q_2 - itkilərin marjinal qiyməti,

q_3 - isə EE-nin nəqli zamanı xətlərin yüklənməsinin qiymətidir.

Göstərilən problemin həlli üçün ən sadə yanaşma istənilən zaman anında ixtiyari tələbatçı üçün aşağıdakı düsturdan tapılan vahid tarifin tətbiq olunmasıdır:

$$q = \frac{\sum_{j \in I_G} P_{Gj} \cdot C_j}{\sum_{k \in I_C} P_{Ck}}$$

Burada, P_{Gj} - vahid zamanda j -ci düyündə istehsal olunan elektrik enerjisi,

C_j - elektrik enerjisinin istehsalçının elan etdiyi və sabit qəbul edilən qiyməti,

P_{Ck} - vahid zamanda k -cı düyündə istehlak olunan elektrik enerjisi,

I_G və I_C müvafiq olaraq EE mənbələrinin və tələbatçıların olduğu düyünlərin çoxluğudur.

EE bazarının məqsəd funksiyası (sosial rifahı) aşağıdakı kimidir:

- birtərəfli auksionda:

$$\min \sum_{j=1}^n c_{g_j} P_{g_j}$$

və ya

$$\max \sum_{i=1}^m c_{d_i} P_{d_i}$$

- ikitərəfli auksionda:

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^m c_{d_i} P_{d_i} - \sum_{j=1}^n c_{g_j} P_{g_j} \right\}$$

Bu zaman düyünlərdə aktiv və reaktiv güclərin balans məhdudiyyətləri, şəbəkə məhdudiyyətləri, yəni nəzarət olunan

kəsiklərdə aktiv gücə olan məhdudiyyətlər, həmçinin optimallaşdırılan dəyişənlərin dəyişmə diapazonuna olan məhdudiyyətlər nəzərə alınır⁵.

$$\sum_i P_{ij} + \sum_g P_g - \sum_c P_c = 0;$$

$$\sum_i Q_{ij} + \sum_g Q_g - \sum_c Q_c = 0;$$

$$P_s^{\min} \leq \sum_{ij \in s} P_{ij} \leq P_s^{\max}$$

$$0 \leq P_g \leq P_g^{\max}; \quad 0 \leq Q_g \leq Q_g^{\max};$$

$$0 \leq P_c \leq P_c^{\max}; \quad U_j^{\min} \leq U_j \leq U_j^{\max}$$

Burada, d - düyündəki istehlak,

g - generasiya,

c_{d_i} - aktiv gücün düyündə alışı qiyməti,

c_{g_j} - aktiv gücün düyündə satış qiyməti,

P_{di} - düyündə aktiv gücün istehlakı,

P_{gi} - düyündə aktiv gücün generasiyası,

n, m - aktiv gücün generasiyasına və istehlakına olan bildirişlər,

U_j - düyündə gərginlik,

P_{ij} və Q_{ig} - i-ci düyündən j-ci düyünə aktiv və reaktiv güc axınları,

s - yəni nəzarət olunan kəsiklərdir.

Lakin elektroenergetikada kommersiya münasibətləri bu sahənin inkişafı üçün maliyyə-texnoloji modellərin tətbiqini tələb edir. Bu modellərdə EES rejimini müəyyən edən texnoloji dəyişənlərlə yanaşı həm də maliyyə amilləri və maliyyə balansı tənlikləri iştirak etməlidir.

EES-nin düyünü üçün texnoloji-maliyyə modelinin texnoloji (fiziki) hissəsini düyünlərdə aktiv və reaktiv gücün balans məhdudiyyətləri; nəzarət olunan kəsiklərdə güc axınlarına olan

⁵ Гамм А. З., Голуб И. И., Батюнин А. В., Гамм А. А. Узловые средневзвешенные цены на электроэнергию // Электричество, № 10, г. Москва, 2005, с. 17- 25.

məhdudiyyətlər; optimallaşdırılan dəyişənlərin dəyişmə diapazonuna olan məhdudiyyətlər təşkil edir.

Təmiz və qarışıq generasiya hallarında Şəkil 4-də təsvir edilmiş və digər test sxemləri üçün hesabatlar yerinə yetirilmişdir. Cədvəl 3-də müvafiq nəticələr verilmişdir.

Cədvəl 3. Düyünlərdə EE-nin qiymətinin hesabatının nəticələri

Düy.lər	P_{g0}, MVt	P_{y0}, MVt	Düyün lərdə EE ilkin qiyməti	Düyün lərdə EE hesabat qiyməti	Gen.-ların xərcləri	İstehlak olunan EE ödənişi
1	50	0	3	3	150	0
2	120	0	2	2	240	0
3	0	60	0	2.5	0	150
4	0	90	0	2.22	0	200
5	0	20	0	2	0	40
Cəmi					390	390

Qarışıq generasiya halında düyünə həm generatorlardan, həm də HX vasitəsilə EE daxil olur. Qarışıq generasiya halında düyünlərdə EE-nin qiymətini modelləndirmək üçün 6 düyün və 7 budaqdan ibarət test sxemi istifadə edilmişdir.

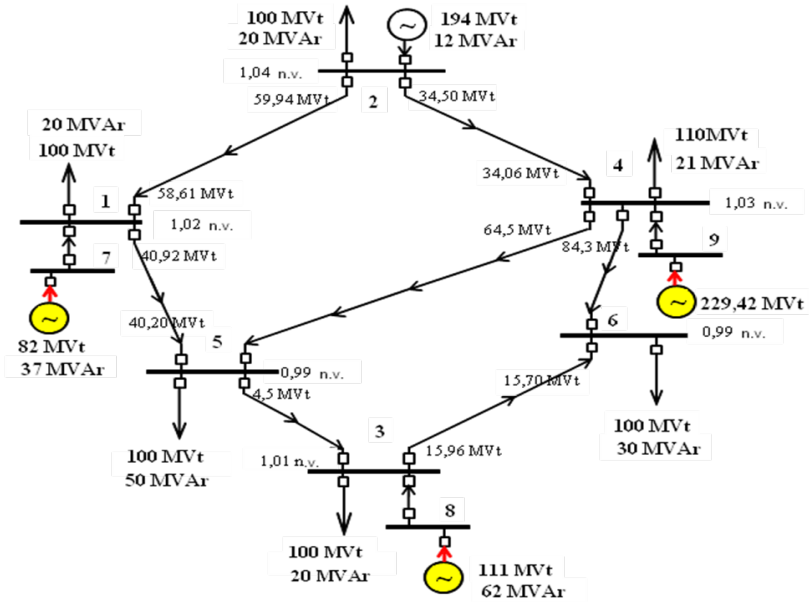
Şəkil 4-də əlavə düyünlər və budaqlar əlavə edildikdən sonra alınan test sxemi təsvir edilmişdir. Şəkildə 1, 3 və 4-cü düyünlərə əlavə budaqlar əlavə olunur. Belə dəyişiklikdən sonra 1, 3 və 4-cü düyünlərdəki generasiya 7, 8 və 9-cu düyünlərə köçürülmüşdür.

Cədvəl 4-də EE-nin düyünlərdə qiymətləri (şərti vahidlə) verilmişdir.

Cədvəldə tünd rəngli hissə müvafiq olaraq əlavə düyünlərə aiddir.

Düyündə EE-nin qiymətinin riyazi modelləri sistem operatoru, ticarət sisteminin administratoru tərəfindən informasiya dəstəyi qismində istifadə oluna bilər. Bazar iştirakçıları düyünlərdə bu riyazi modellərdən EE-nin alınmış qiymətlərindən istifadə etməklə bazarda

düzgün strategiya seçə bilərlər. Belə ki, düyünlərdə EE-nin qiymətləri EE-nin ödənişinin adekvat paylanmasını və istehlak edilən EE-nin ödənişinin onun istehsalına çəkilən xərclərə mütənasib yerinə yetirilməsini təmin edir.



Şəkil 4. 6 düyün və 7 budaqdan ibarət test sxemi

Cədvəl 4. EE-nin düyünlərdə qiymətləri

Nö	Pgen ₀ , MVt	Pgen, MVt	Düyün yüklərinin ilkin qiyməti	Hesablamadan sonra düyün yüklərinin qiyməti
1	82	0	3	2.59
2	194	194	2	2.01
3	111	0	2.5	2.49
4	229,42	0	1.8	1.86
5	0	0	0	2.16
6	0	0	0	1.97
7	-	82	-	3
8	-	229,42	-	2.5
9	-	111	-	1.8

Cədvəl 5. Düyünlərdə EE-nin qiymətlərinin dəyişməsi

Düyün- ün	Pgen ₀ ,	Pgen,	Düyün- də EE- nin	Hesab- lamadan sonra	Genera- torların	İstehlak olunan EE
Nö-si	MVt	MVt	ilkin qiymət	EE-nin qiyməti	xərcləri	ödənişi
1.00	1576.00	1576.00	42.00	43.46	66192.00	68491.38
2.00	180.00	0.00	13.60	29.07	2448.00	0.00
3.00	400.00	0.00	18.00	29.91	7200.00	0.00
3.00	660.00	660.00	23.20	23.22	15312.00	15323.88
5.00	200.00	0.00	13.00	15.69	2800.00	0.00
6.00	400.00	0.00	18.00	17.97	7200.00	0.00
7.00	380.00	380.00	17.60	17.60	6688.00	6688.00
8.00	0.00	0.00	0.00	36.55	0.00	0.00
9.00	0.00	0.00	0.00	30.26	0.00	0.00
10.00	0.00	0.00	0.00	29.53	0.00	0.00
11.00	0.00	0.00	0.00	33.60	0.00	0.00
12.00	0.00	0.00	0.00	13.72	0.00	0.00
13.00	0.00	0.00	0.00	21.28	0.00	0.00
13.00	50.00	0.00	11.00	13.21	550.00	0.00
15.00	0.00	0.00	0.00	16.93	0.00	0.00
16.00	0.00	0.00	0.00	29.95	0.00	0.00
17.00	180.00	180.00	15.00	13.99	2700.00	2698.56

Düyünlərdə EE-nin hesabatdan əvvəl və sonrakı şərti vahidlərlə qiymətləri cədvəl 5-də verilmişdir.

Hesablamaların korrekt olmasını yoxlamaq üçün optimallaşdırma əsaslı yanaşmanın tətbiqindən alınmış nəticələr düyünlərdə EE-nin ilkin qiymətləri qismində maliyyə-texnoloji yanaşma əsasında işlənmiş proqrama verilmişdir və müvafiq hesablamların nəticələri kifayət qədər üst-üstə düşür.

IV Fəslin nəticələri müəllif tərəfindən [10, 12, 13, 14] işlərində öz əksini tapmışdır.

İŞİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

1. Elektrik enerjisi bazarında rəqabət münasibətlərinin tətbiqi stansiyaların konkret tələbatçıların təchizatında payının müəyyən edilməsi, konkret tələbatçının hansı generatorlar tərəfindən təchiz olunması kimi məsələlərin həllini aktuallaşdırır.

2. Aktiv güc axınları və itkilərinin paylanmasının modelləşdirilməsi məqsədi ilə ötürülmə zamanı itkilərin lokallaşdırması üçün real və sınaq elektrik enerjisi sistemləri üzərində yoxlanılan proqram şəklində reallaşdırılmış metodika və alqoritmlər işlənib hazırlanmalıdır.

3. Generasiya, yük axınları və yükün ünvanlılığı haqqında məlumatlardan istifadə edərək düyünlərdə EE-nin qiymətinin riyazi modelləri əsasında metodika və proqram təminatı işlənməlidir.

4. Elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında güc axınlarının ünvanlı paylanması məsələsinin həllində istifadə olunan matrislər təhlil edilmişdir. Həmin matrislərin xassələri test sxemi üzərində sınaq edilmişdir. Hesabatlar Mathcad riyazi paketindən istifadə edilməklə yerinə yetirilmişdir.

5. Azərbaycan elektroenergetika sisteminin 220-330-500 kV gərginlikli ekvivalent sxemi üzərində qeyri-bircins şəbəkədə aktiv gücün idarə edilməsi məqsədi ilə tiristorla idarə olunan ardıcıl kompensatorun kompüter modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir.

6. Test sxemləri üzərində hər bir düyünün güc inyeksiyasının fərdi xəttəki güc axınına təsirini göstərən güc ötürməsinin paylanması matrisi alınmışdır.

7. EE-nin qiymətini hesablamaq üçün alqoritm və Matlab mühitində proqram təminatı işlənib hazırlanmışdır. Test sxemləri üzərində təmiz və qarışıq generasiya hallarında düyünlərdə EE-nin qiymətləri hesablanmış və təhlil edilmişdir.

8. İtkilərin ünvanlı paylanmasının modelləşdirilməsi üçün Mathcad riyazi proqramlaşdırma sistemində proqram şəklində reallaşdırılmış alqoritm işlənib hazırlanmışdır.

9. Aktiv güc itkilərinin ünvanlı bölünməsinin testi və Azərbaycanın EES-nin ekvivalent sxemləri müəyyən edilərək üzərində qiymətləndirilməsi işlənib hazırlanmış proqram təminatının istifadəsi ilə həyata keçirilmişdir.

**Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı dərc olunmuş
məqalələrdə əks olunmuşdur:**

1. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Искендеров Ф.Г. Анализ методов разделения потерь активной мощности в электрической сети/ Elektroenergetikanın müasir problemləri konfransının materialları. Sumqayıt Dövlət Universiteti - 2011, s. 89-92.

2. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Чугунова И.А., Искендеров Ф.Г. Декомпозиция потокораспределения в электроэнергетической системе для определения адресной передачи мощностей//“İqtisadiyyatın dayanıqlı inkişafı və yüksək texnoloji sistemlərin və avadanlıqların tətbiqi şəraitində Azərbaycan enerjisisteminin yaxın perspektivdə effektiv fəaliyyəti istiqamətində elmi əsasların və praktiki tövsiyələrin işlənilməsi”. AzET və LA Eİ-nin Elmi əsərlər toplusu, Bakı 2012, s. 120-136.

3. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Чугунова И.А., Нуриева Н.Д., Искендеров Ф.Г. О моделировании последовательного компенсатора с тиристорным управлением в установившихся режимах // AzET və LA Eİ-nin Elmi əsərlər toplusu, Bakı 2013, s. 88-103.

4. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Искендеров Ф.Г. О применении устройств FACTS для снижения неоднородности, повышения пропускной способности и экономичности эксплуатации энергосистемы // Проблемы энергетики 2013 № 3, с. 3-12.

5. Balametov Ə.B., Xəlilov E.D., Çugunova I.A., Nuriyeva N.C., İsgəndərov F.G. Azərbaycan EES elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması ehtiyatlarının təhlili // AzET və LA Eİ-nin Elmi əsərlər toplusu, Bakı 2014, s. 108-127.

6. İsgəndərov F.G. Güc axınlarının ünvanlı paylanması matrisləri haqqında // Energetikanın problemləri. Bakı 2015 №1, s. 35-40.

7. İsgəndərov F.G. Güc axınlarının ünvanlı paylanması / Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XIX Respublika elmi konfransının materialları. İqtisad Universiteti Bakı 2015, s. 7-8.

8. İsgəndərov F.G. Güc itkisinin ünvanlı paylanmasının proqram təminatı / Energetikanın müasir elmi-texniki və tətbiqi problemləri

haqqında beynəlxalq elmi konfransın materialları. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2015, s. 246-249.

9. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М., Искендеров Ф.Г.. Об адресном распределении мощностей в электрических сетях // Программные продукты и системы № 1 (113), (г. Москва, Россия) 2016 с. 126-133.

10. İsgəndərov F.G. Elektrik enerjisinin düyünlərdə qiymətləri haqqında / Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri haqqında beynəlxalq elmi konfransın materialları. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2018, s. 270-272.

11. İsgəndərov F.G., Muxtəsərov S.E., Xəlilov E.D. Elektrik şəbəkələrində aktiv güc itkilərinin ünvanlı paylanması üsullarının tətbiqi / Sumqayıt şəhərinin 70 illiyinə həsr olunmuş Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri haqqında respublika elmi konfransının materialları. Sumqayıt Dövlət Universiteti 2019, s. 205-207.

12. Balametov Ə.B., Xəlilov E.D., İslamov İ.Z., İsgəndərov F.G. Enerji sisteminin düyünlərində elektrik enerjisinin qiymətlərinin hesablanması iki mərhələli modeli // Sumqayıt Dövlət Universiteti, Elmi Xəbərlər, Cild 19, №1, Bakı 2019, s. 70-76.

13. Balametov A.B., Khalilov E.D., Salimova A.K., İsgenderov F.G. Algorithm and software for nodal prices simulation / ICTPE-2019 Conference Proceedings The 15th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering. 14 - 15 October 2019 Istanbul, Turkey, s. 5-9.

14. Balametov A.B., Khalilov E.D., Salimova A.K., İsgenderov F.G. Algorithm and matlab-based program for modeling the nodal electricity prices / IJTPE-2020 Technical and Physical Problems of Electrical Engineering. March 2020 International organization of İOTPE, s. 20-24.

15. İsgəndərov F.G. Elektroenergetika sistemlərində güc axınlarının ünvanlılığı haqqında // Energetikanın problemləri. Bakı 2021 № 3. s. 3-9.

Dissertasiyanın müdafiəsi 20 09 2024 il tarixində saat 15⁰⁰ Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1073, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti 25.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 03 08 2024 il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 10.07.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39883

Tiraj: 100