AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

ELEKTRİK VERİLİŞİ XƏTTİNİN QƏRARLAŞMIŞ REJİMLƏRİNİN YÜKLƏNMƏ VƏ METEOROLOJİ AMİLLƏRİ NƏZƏRƏ ALMAQLA MODELLƏŞDİRİLMƏSİ METODLARININ İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3340.01- Elektrotexniki sistemlər və komplekslər

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: Kəmalə Abış qızı Ağaxanova

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin Energetika kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:	texnika elmləri doktoru, professor **Əşrəf Balamət oğlu Balamətov**
Rəsmi opponentlər:	texnika üzrə elmlər doktoru, dosent **Elçin Cəlal oğlu Qurbanov**
	texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **Gülayə Veysəl qızı Məmmədova**
	texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **Naib İsmixan oğlu Hacıyev**

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 **Nurəli Adil oğlu Yusifbəyli**
Dissertasiya şurasının elmi katibi:	texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent **Vahid Qara oğlu Fərhadov**
Elmi seminarın sədri:	texnika elmləri doktoru, professor **Rasim Əzim oğlu Səidov**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir dövrdə elektrik enerjisinə olan tələbatın artması və ətraf mühitin iqlim şəraitinin nəzərəçarpacaq dərəcədə dəyişkənliyi hava elektrik veriliş xətlərinin (HEVX) buraxıla bilən yük cərəyanları ilə yüklənməsinin hesabatının aparılmasına marağın artımı ilə müşahidə olunur. Belə ki, elektrik veriliş xətlərinin ötürmə qabiliyyətindən maksimal şəkildə fasiləsiz, təhlükəsiz və iqtisadi cəhətdən əlverişli formada istifadə olunması onların iş rejiminə verilən əsas tələblərdən biridir. Bu cür tələbin ödənilməsinin əsas şərti HEVX haqqında dəqiq məlumatların olması və operativ idarəetmə vasitələrinə informasiyanın real zaman anında ötürülməsindən ibarətdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, elektrik enerjisinin ötürülməsi, paylanması və tələbatı prosesi qeyri-müəyyənliklərlə xarakterizə olunan bir prosesdir. Yəni, bu proses HEVX iş rejiminin və ötürmə qabiliyyətinin hesablanması zamanı nəzərə alınmalı olan parametrlərinin sayının çoxluğu ilə:

- xətt naqillərinin markası və gərginliyi;
- elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəriciləri;
- xətlərin trasının keçdiyi ərazinin xüsusiyyəti və istismar şərtləri;
- xətt naqillərinin və ətraf mühitin temperaturu;
- ötürülən yük və ya yük cərəyanları;
- xətt naqillərinin müqaviməti;
- xətt naqillərinin temperaturunun aktiv müqavimətdən asılılığı;
- günəş radiasiyasının naqilə etdiyi təsir gücü;
- naqilin səthinin vəziyyəti;
- günəş şüalarının sıxlığı, istiqaməti və düşmə bucağı;
- küləyin sürəti və istiqaməti;
- ölçmə sistemlərinin xətaları və s. xarakterizə olunur.

Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, HEVX-nin qərarlaşmış yük rejimlərinin modelləşdirilməsi üçün mövcud olan proqram vasitələri göstərilən parametrlər çoxluğunu bütövlükdə nəzərə ala bilmir. Belə olan halda müxtəlif rejim və hava şəraitində xətt

naqillərinin temperaturuna fasiləsiz nəzarətin aparılması, onun qiymətləndirilməsi üçün xüsusi alqoritm əsasında işlənmiş proqram təminatının olması böyük əhəmiyyət kəsb edir. Həmçinin də, xətt naqillərinin temperaturu, ondan keçən yük cərəyanlarının və günəş şüalarının təsiri nəticəsində ətraf mühitin temperaturundan əhəmiyyətli dərəcədə çox ola bilər ki, bu da nəticə etibarı ilə itkilərin artmasına, xətt naqilərinin uzanmasına, yer səthi ilə ilə xətt naqilləri, təbii maneələr, mühəndis tikililəri və bir-birinin üzərindən keçən naqillər arasındakı məsafənin qısalmasına, induktiv rabitəlik nəticəsində müəyyən aşırımlar arasında yaranan əlavə cərəyanların naqillərin bağlanma yerlərində yaratdığı keçid müqavimətinin artmasına və naqilin qırılmasına gətirib çıxara bilər ki, bu da fasiləsizlik tələbinin pozulması ilə nəticələ bilər. Elə bu səbəbdən də xətt naqillərinin temperaturunun buraxılabilən hədlərdən çox olmasına xəttin ötürmə qabiliyyətini və ya yük cərəyanlarını məhdudlaşdıran əsas faktor kimi baxılması çox böyük əhəmiyyət daşıyır.

Göstərilən hallar aktiv güc və enerji itkilərinin hesablanma dəqiqliyinin artırılması və naqilin temperaturunun avtomatik qeyd edilməsi üçün mövcud modellərinin çatışmazlığının aradan qaldıra bilən təkmilləşdirilmiş alqoritm və proqram vasitələrinin işlənməsi məsələsinin aktuallığını özündə ehtiva edir.

HEVX-də dəyişən elektrik enerjisi itkilərinin hesablanma dəqiqliyinin artırılması istiqamətlərindən biri də xətt naqillərindən axan işçi cərəyanın, ətraf mühitin temperaturunun, küləyin sürətinin və günəş şüalarının yaratdığı istiliyin nəzərə alınması ilə aktiv müqavimətin təyin olunması adlanır.

Elektrik şəbəkələrinin xətt naqillərinin aktiv müqavimətinin təyin olunmasının dəqiqliyinin artırılması üçün hökmən naqillərin bu müqavimətin qiymətinə təsir edə bilən temperaturu da nəzərə alınmalıdır.

Nəzərə alınsa ki, HEVX-nin trası düzxətli deyil, küləyin sürəti və istiqaməti dəyişməz qalmır, onda xəttin ən pis istilik ötürmə şərtlərinə malik hissəsini müəyyən etmək mümkün görünməyə bilər.

Əgər naqillərin temperaturunun və cərəyanın buraxılabilən

qiymətinin hesabatla təyin olunması zamanı ətraf mühitin nəzarət oluna bilməyən parametrləri onların ən ağır iş rejimindəki qiymətlərinə bərabər qəbul edilərsə, onda HEVX-nin ötürmə imkanından əhəmiyyətli dərəcədə istifadə olunması qənaətinə gəlinə bilər.

HEVX məftilinin müasir nəzəriyyəsi və temperatur şəraitinin hesablanması praktikasının əsası, mövcud normativ sənədlər, hava xətlərinin məhdudlaşdırıcı cari yükləri XX əsrin 20-30-cu illərində V.V. Burgsdorf, V.S.Ravdonik, V.G. McAdams, C.W. Frick, O.R. Schurig və başqaları tərəfindən qoyulmuşdur.

HEVX-nin qərarlaşmış rejmin və xəttin ötürmə qabiliyyətinin tədqiqi ilə əlaqəli nəzəri və praktik metod və vasitələri ölkəmizdən xaricdə: P.I.Bartolomey, A.S Berdina, V.E.Vorotnitskiy, A.A.Gerasimenko, S.S.Girshin, Yu.S.Jelezko, Yu.İ.Zharkova, G.K. Zarudskiy, L.E. Zinner, İ.İ. Levçenko, V.D.Lordkipanidze, A.S.Merzlyakova, İ.A.Nazarova, E.P. Nikiforova, L.G. Nikitina, T.E. Petrova, E.İ. Satsuk, S.Yu. Syromyatnikova, M. Zima, L.V. Timaşova, V.A. Faibisoviç, E.P. Fiqurnova, N.M. Çeremisina, V.V. Çerkaşina, Daniel J.Tylavsky, V. Lovrencic, P.Korba, S.Peulic, M.Kristian, M.Larsson, M.Polak, A.Rodriguer, Xiaomeing Bian, Di Shi, R.Tomazic, R.L. Yinger, Zamora Cardenas A. və həmçinin də ölkəmizin daxilində olan alimlərin O.S.Məmmədyarov, R.İ. Mustafayev, A.M. Kərimov, Ə.B. Balametov və digər alimlərin elmi işlərində öz geniş həllini tapmışdır.

Göstərilir ki, elektroenergetika sisteminin əsas problemlərindən biri enerji resurslarına qənaətin olunması, onlardan səmərəli istifadə və elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması məsələsidir. Bu isə öz növbəsində elektroenergetika sistemində yaranan itkilərin təhlilini, onların azaldılması yollarının müəyyənləşdirilməsini və itkilərin hesablanmasında çoxsaylı faktorların nəzərə alınması ilə dəqiqliyin artırılmasına imkan verən yeni alqoritm və proqram təminatının işlənməsi vacibliyinin aktuallığını göstərir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Tədqiqatın obyekti elektrik şəbəkələri və elektik veriliş xətləridir. Tədqiqatın predmeti elektrik veriliş xətlərinin müqavimətinin məftilin temperaturu və atmosfer

amillərindən asılılığıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi HEVX-nin qərarlaşmış rejiminin hesablanmasında mövcud modellərin çatışmazlıqlarını aradan qaldıra bilən, yüklənmə və meteoroloji amilləri nəzərə almaqla təkmilləşdirilmiş alqoritm və proqram təminatının işlənməsindən ibarətdir.

Qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işində yerinə yetirilmiş tədqiqatın əsas istiqamətləri aşağıdakılardır:

1. HEVX-nin naqillərinin temperatur rejiminin hesablanması üsullarının müasir vəziyyəti;
2. HEVX-nin naqillərinin temperaturunun və aktiv müqavimətlərinin hesablanmasında rejim və atmosfer amillərinin nəzərə alınması metodikasının işlənməsi;
3. Rejim və meteoroloji amilləri nəzərə almaqla HEVX-nin aktiv güc itkilərinin hesablanmasının modelləşdirilməsi;
4. HEVX-nin yük ötürmə qabiliyyətinin xətt naqillərinin temperaturu əsasında monitorinqi.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlərin həllində elektrotexnikanın nəzərə əsasları; riyazi modelləşməsinin ədədi üsulları; ardıcıl yaxınlaşma metodları; elektrik dövrələrinin analizlərinin matris metodları; elektrik enerjisinin ötürülməsi, paylanmasının nəzəri və praktiki əsaslarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işində aşağıdakı müddəalar müdafiəyə çıxarılmışdır:

1. Hava elektrik veriliş xətlərinin parametrlərini və ətraf mühitin xətt naqillərinin temperaturunun artmasına təsir edən rejim və atmosfer faktorlarını nəzərə ala bilən hesabat metodikası;

2. Baxılan HEVX-nin təbii maneələrinin mühəndis tikililərinin və digər obyektlər üzərindən keçməsi zamanı yaranan buraxılabilən temperaturun qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri və blok sxemi;

3. Xəttin çəkildiyi ərazinin dəniz səviyyəsindən olan ekvivalent hündürlüklərində günəş radiasiyasının intensivliyini və şüalanması sıxılığını nəzərə almaqla HEVX-nin parametrlərinin və temperaturunun daha dəqiq modelləşdirilməsi alqoritmi;

4. Delphi və AzET və LA Eİ proqram paketlərinində aparılan modelləşdirilmənin nəticələri;

5. Yük cərəyanlarından və atmosfer faktorlarından asılı olmaqla HEVX-nin naqillərinin temperaturunun və aktiv müqavimətinin modelləşdirilməsinin blok sxemi və proqramı;

6. Havanın temperaturunu, xəttin işçi cərəyanını, küləyin sürətini, günəş şüalarının radiasiyasını, sıxlığını, istiqaməti və düşmə bucağını nəzərə almaqla HEVX-nin naqillərinin xüsusi aktiv müqavimətinin hesabat metodikası və proqramı;

7. Günəş radiasiyasının səviyyəsindən asılı olaraq mövcud metodikaların xətaları;

8. Xətt naqillərinin temperaturunun hesabatının nəticələrinin İEEE və CİGRE standartları və digər hesabat üsullarının nəticələri ilə müqayisəli təhlili;

9. HEVX-də itkilərin monitorinqi sistemi və alınan nəticələr;

10. Xətt naqillərinin temperaturuna əsaslanmaqla hava xətlərinin ötürmə qabiliyyətinin monitorinqinin effektivliyi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işinin əsas elmi yenilikləri aşağıdakılardır:

1. Hava elektrik verilişi xətlərinin parametrləri, cərəyanın qiyməti, atmosfer faktorları: havanın temperaturu, günəş radiasiyasının intensivliyi, küləyin sürəti və istiqaməti nəzərə alınmaqla, çoxdəyişənli asılılığın alınması ilə məftilin temperaturunun hesablanılması metodikası işlənmişdir.

2. Məftilin temperaturunun təyini üçün iterativ dəqiqləşdirməyə əsaslanan riyazi model və blok sxem təklif olunmuşdur. Bu riyazi model məftilin temperaturunu onun parametrlərindən və yük cərəyanından, havanın temperaturundan, günəş radiasiyasından asılı olaraq bilavasitə təyin etməyə imkan verir.

3. Təklif olunan metodika İEEE, CİGRE standartları ilə və digər metodikalarla test nümunələrində müqayisə olunmuşdur.

4. Hava xəttinin keçdiyi ərazi boyunca coğrafi və atmosfer faktorlarını nəzərə almaqla məftilin temperaturunun sahələr üzrə təyin olunması metodikası və alqoritmi təklif olunmuşdur.

5. Atmosfer faktorlarını nəzərə alaraq güc itkilərinin

qiymətləndirilməsi üçün çoxfaktorlu qeyri-xətti reqressiya modelləri qurulmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Müasir istismar şərtləri daxilində HEVX-nin trası boyunca rejim və meteoroloji faktorları nəzərə almaqla xətt naqillərinin temperaturunun monitorinqinin aparılması, itkiləri azaltmaq, ötürmə qabiliyyətini artırmaq və xəttin artıq yüklənməməsi üçün müvafiq tədbirlərin görülməsi məqsədi ilə proqram təminatının olması həm nəzəri, həm iqtisadi, həm də praktiki baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Yük cərəyanının, ətraf mühitin temperaturunun, günəş radiasiyasının və küləyin sürətinin HEVX-nin naqillərinin aktiv müqavimətinə təsirinin qiymətləndirilməsi istiqamətində aparılmış nəzəri hesabatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, elektrik enerjisin itkilərinin hesablanması zamanı aktiv müqavimətin naqilin temperaturundan asılılığı nəzərə alınmadıqda yaranan nisbi xəta 26% və daha artıq ola bilər ki, bu da yol verilməzdir.

Nəzəri olaraq cərəyanın naqilin temperaturundan, küləyin sürətindən və havanın temperaturundan asılılığının approksimasiya edici funksiyasının üç dərəcəli olması praktika üçün kifayət qədər dəqiqliyə malikdir.

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

1. Федоровские чтения XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. МЭИ, 15-17 ноября 2017 г., с.135-137.
2. Международная научная конференция Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики (24-25 мая 2018), СГУ, с.250-252.
3. İnformasiya sistemləri və texnologiyalar, nailiyyətlər və perspektivlər. Beynəlxalq elmi konfransı. SDU, 15-16 noyabr 2018, s. 46-48.
4. Федоровские чтения XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. МЭИ, 14-16 ноября 2018 г., с. 138-140.
5. Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri

respublika elmi konfransının materialları. SDU, 20-31 may 2019, s.180-183

6. İCTPE-2019 Conference proceedings The15th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering 14-15 October 2019 Istanbul, Turkey. p.194-198.
7. Федоровские чтения 2019, XLIX международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. Москва 20-22 ноября, с.100-103
8. İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər II Beynəlxalq Elmi Konfransın materialları. SDU, 09-10 iyul 2020-ci il. s.88-90.
9. Beynəlxalq Elmi konfransın materialları. SDU, 2020, №7, s.237-242.

İşlənmiş metodika və alqoritmlər əsasında elektrik verilişi xətlərinin müqavimətinin məftilin temperaturu və atmosfer amillərindən asılılığının nəzərə alınması ilə işlənib hazırlanmış proqram təminatından, «Azərenerji» ASC-nin tədqiqi, texniki itkilərin hesablanması üçün istifadə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin nəticələri "Azərenerji" ASC üçün elmi-tədqiqat işi üzrə yerinə yetirilmiş hesabatlarda istifadə olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetində yerinə yetirilmişdir. Tədqiqatların və işləmələrin nəticələri "Azərenerji" enerjisisteminin təsdiq etdiyi və "Enerjisistemin rejimləri" şöbəsinin hesabatlarına 2012-2021-ci illərdə daxil edilmiş planlar əsasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin həcmi və strukturu. Dissertasiya işi giriş, 4 fəsil, əsas nətisələr və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi və struktur bölmələrinin işarə ilə həcmi təqribi olaraq aşağıdakı qaydada paylanmışdır: ümumi-167813 işarə, giriş-23904 işarə, birinci fəsil-65392 işarə, ikinci fəsil -20138 işarə, üçüncü fəsil - 23791 işarə, dördüncü fəsil-32139 işarə, nəticə-2449 işarə.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, tədqiqat metodları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqatın elmi yeniliyi, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, fəsillərin qısa xülasəsi öz əksini tapmışdır.

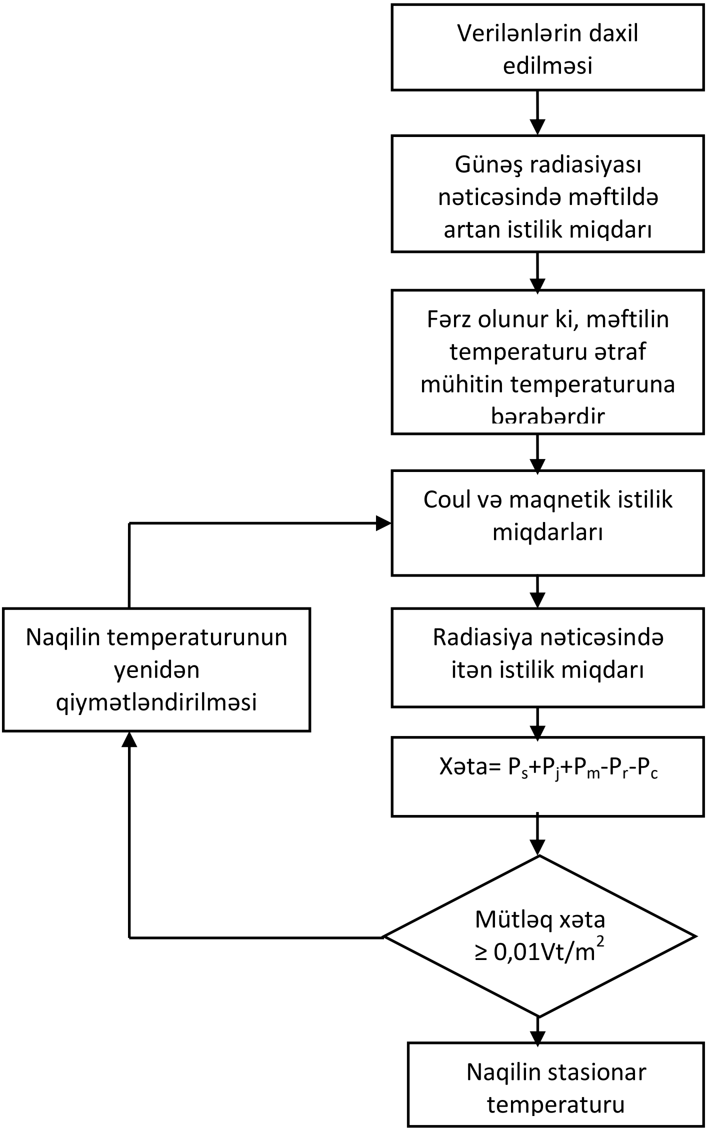
Birinci fəsildə hava EVX-nin naqillərinin temperatur rejiminin hesablanmasına aid mövcud işlərin müasir vəziyyətinin qısa icmalı, xətt naqillərinin buraxılabilən yük cərəyanları, statik və dinamik yüklənmə qabiliyyəti, naqilin temperaturunun differensial tənliyi, müxtəlif standartlar əsasında aparılan hesabatlar, xəttin qərarlaşmış və keçid rejimləri, qəza zamanı yaranan cərəyanın hesabi və iqlim dəyişkənliyi haqqında nəzəri məlumatlar araşdırılmış və digər tədqiqatların qısa icmalı verilmişdir [1]. Müəyyən edilmişdir ki;

- Enerji sisteminin rejimlərinin müasir hesabat proqramlarına hava xətlərinin istilik balans tənlikləri daxil olmur;
- Xətt naqillərinin aktiv müqaviməti onların temperatur rejiminə uyğun gəlmir;
- Elektrik şəbəkələri üzrə texnoloji itkilərin təyin olunması zamanı naqilin aktiv müqavimətinin qiymətinə təsir edən temperaturu nəzərə alınmır;
- Elektrik enerjisinin ötürülməsi, paylanması və tələbatı prosesi zamanı xəttin rejim və meteoroloji faktorları arasında qarşılıqlı əlaqə və asılılıqlar temperaturun və aktiv müqavimətin hesablanmasında nəzərə alınmır.

Məftildə buraxıla bilən temperaturun hesablanması alqoritmi şəkil 1-də verilmişdir.

---

[1] Г.Александров. Режимы работы воздушных линий электропередачи / Г. Александров– Санкт-Петербург: - Второе издание Центра подготовки кадров энергетики, - 2006 г. - с. 139.



Şəkil 1. Naqilin temperaturunun hesablanmasının blok sxemi

Bu fəsildə həmçinin elektrik verilişi xətlərinin məftilinin temperaturunun hesablanması üçün atmosfer-rejim faktorlarının nəzərə alınması üçün mövcud standartlar – İEEE, CİGRE standartları və onlar arasında arasında fərq, Rusiyada və digər MDB ölkələrində istifadə olunan standartlar tədqiq olunmuş, bu standartların qərarlaşmış, keçid, qəza hallarında tətbiqi nəzərdən keçirilmişdir.

Yüksək külək sürətlərinə uyğun CİGRE metodikası aşağıda göstərilmiş alqoritmə əsaslanır:

$$P_C + P_M + P_S + P_i = P_K + P_r + P_W \quad (1)$$

burada P_J - yük cərəyanı istiliyi (Coul istiliyi), P_M - maqnit istiliyi, P_S - günəş şüalanmasından yaranan istilik, P_i - tac hadisəsi ilə əlaqədar yaranan istilik; P_K - konveksiya nəticəsində verilən istilik miqdarı; P_r - radiasiya itkisi; P_W - buxarlanma itkisidir.

Hava xətti məftillərinin xüsusi aktiv müqaviməti aşağıdakı ifadədən tapılır :

$$R = R_{20} \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(t_{mef} - 20\right)\right] \quad (2)$$

burada R_{20}–20°C temperaturda məftilin müqaviməti, Om/км; α=0,004003–müqavimətin temperatur əmsalı, 1/dərəcə; $t_{məf}$ - məftilin temperaturudur, °C.

Məftilin temperaturu, ondan axan elektrik cərəyanı, ətraf mühitin temperaturu, küləyin sürətindən asılıdır.

İstilik balansı tənliyindən istifadə edərək məftilin temperaturunu hesablamaq olar:

$$0{,}95 \cdot R_{20} \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(t_{mef} - 20\right)\right] \cdot I^2 - Q_{rad} = Q_ş + Q_к \quad (3)$$

burada I – məftildən axan cərəyan, $Q_Ş$, Q_k – şüalanma və konveksiya yolu ilə istilikvermə zamanı güc itkiləridir, Vt/m.

Stefan-Bolsman qanunundan şüalanma yolu ilə güc itkiləri aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$Q_S = \varepsilon C_0 \left(273 + t_{mef}\right)^4 S \quad (4)$$

burada ε – oksidləşmiş alüminium üçün məftilin səthinin 0,13 nisbi vahidə bərabər qaralıq dərəcəsi; C_0– mütləq qara cismin şüalanma əmsalı, $5{,}67\cdot10^{-8}$ Vt/m^2; S-məftilin səthinin sahəsidir, m^2.

Konveksiya yolu ilə istilikvermə zamanı güc itkilərini aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunur:

$$Q_K = \varphi_k \left[\left(t_{mef} - t_{rad}\right) - \mathrm{t}_h\right] S \tag{5}$$

burada φ_K – konveksiya yolu ilə istilikvermə əmsalı, Vt/(m^2·°C); t_{rad} – günəş radiasiyası vasitəsilə qızma temperaturu,°C, t_h –ətraf mühitin temperaturudur.

Konveksiya yolu ilə istilikvermə əmsalı aşağıdakı ifadədən təyin edilir:

$$\varphi_K = 0{,}13057 \cdot \left(\frac{k_v v d}{a}\right)^{0.71719} \frac{\lambda_h}{d} \tag{6}$$

burada $\kappa_v = 0{,}5$ – küləyin yayılma bucağının hava xətti oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağı nəzərə alan əmsal; v–küləyin sürəti, m/san; d–məftilin diametri, m; a=$18{,}8\cdot10^{-6}$m^2/san–havanın temperatur keçirmə əmsalı; λ_h=0,0244Vt/(m·°C)- havanın istilik keçirməsidir.

(1-5) tənliklər sisteminin həllindən cərəyan üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon C_0 \left(273 + t_m\right)^4 \pi d + \ _k \left[\left(t_m - t_{rad}\right) - \mathrm{t}_h\right] \pi d}{0{,}95 \cdot R_{20} \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(t_m - 20\right)\right]}} \tag{7}$$

Naqilin temperaturunun yük cərəyanından, havanın temperaturundan və küləyin sürətindən asılılığını (7) tənliyindən aşkar şəkildə almaq mümkün deyildir. Bu tənliyi naqilin temperaturuna görə həll etmək və yük cərəyanı, havanın temperaturu,

küləyin sürəti ilə əlaqədar analitik asılılıqlar əldə etmək üçün aşağıdakı alqoritmdən istifadə olunur.

1. Verilmiş naqil üçün (7) düsturuna görə t_h, t_{rad}, v-nin konkret qiymətlərində cərəyanın naqilin temperaturundan, küləyin sürətindən və havanın temperaturundan asılılığının cədvəl şəklində alınması.

2. Alınan asılılıqların –40°C ÷ +40°C temperatur diapazonunda üçüncü dərəcəli polinomla aproksimasiya edilməsi:

$$t_m = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 I^3 \tag{8}$$

İstilikvermə əmsalının naqilin temperaturundan asılı olması ilə əlaqədar olaraq, izolyasiya edilməmiş naqillərin temperaturu (8) düsturu və

$$t_m^{[k+1]} = \frac{P_s + \alpha_k (t_m^{[k]}[(t_m - t_{rad})]\pi d - \alpha_ş (t_m^{[k]} + \Delta P_{20}(1 - 20\cdot\alpha)}{(\alpha_k (t_m^{[k]}))\cdot \pi d - \alpha \Delta P_{20}(1 - 20\cdot\alpha)} \tag{9}$$

tənliyi əsasında ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə hesablana bilər.

burada k - iterasiyanın sayı; ΔP_{20} - isə 20°C temperaturda aktiv güc itkiləridir.

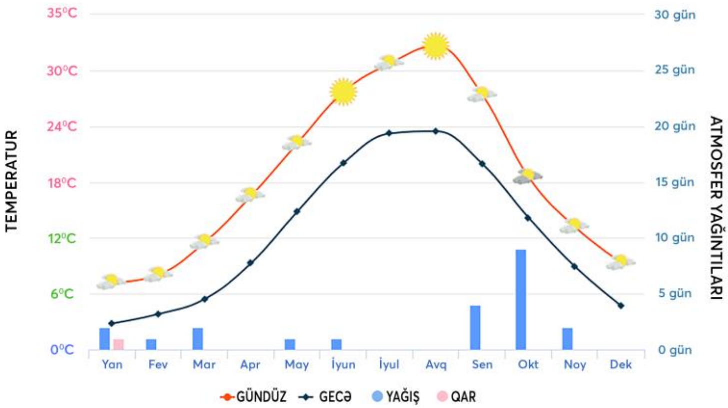
Havanın temperaturu, işçi cərəyan, küləyin sürəti və günəş şüalanması nəzərə alınmaqla hava xətləri məftillərinin xüsusi aktiv müqavimətini hesablama alqoritmi və proqramı işlənilmişdir.

Yük cərəyanının, ətraf mühitin temperaturunun, günəş şüalanmasının və küləyin sürətinin hava xətləri məftillərinin aktiv müqavimətinə təsirinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi aparılmışdır.

Göstərilmişdir ki, hava xətlərinin texniki vəziyyətinin, məftillərin cərəyanının, temperaturunun və günəş şüalanmasının intensivliyinin, küləyin sürətinin monitorinqi hava xətlərinin ötürmə qabiliyyətini yüksəltməyə imkan verir. Hava xətlərinin istifadə səmərəliliyinin onların vəziyyətinin monitorinqi əsasında yüksəldilməsinin müasir texnologiyaları elektrik enerjisinin ötürülməsi səmərəliliyini və etibarlılığını artıra bilər.

Azərbaycanda aylar üzrə iqlimin dəyişməsi haqqında məlumatlar tədqiq olunmuşdur. İl ərzində Azərbayanda iqlimin dəyişməsi qraf. 1-də təqdim olunmuşdur.

Bu fəslin əsas nəticələri müəllif tərəfindən [5, 6, 7, 12] işlərində öz əksini tapmışdır.



Qraf. 1. Azərbaycanda aylar üzrə iqlim dəyişməsi

İkinci fəsildə HEVX-nin naqillərinin temperaturu, aktiv müqavimətinin hesablanmasında rejim və atmosfer faktorlarının nəzərə alınması metodikasının işlənməsi məsələsinə baxılmışdır. Qeyd olunmuşdur ki, mövcud proqram təminatlarında xətt naqillərinin istilik balans tənliklərindən istifadə edilməməsi, rejim və atmosfer faktorları arasındakı qarşılıqlı əlaqə və asılılığın nəzərə alınmaması, xəttin trası boyunca relyef və günəş şüalarının təsirinin qeyri-stabil olmasının qeyd olunmaması nəticəsində xətt naqillərinin temperaturunun və aktiv müqavimətinin hesabatlarında nəticələr xətalarla əldə olunur ki, bu da sonda itkilərin çoxalması, xətt naqillərinin qızması, sallanmanın artması, təbii maneələrin və mühəndis tikililərin üzərindən keçmə zamanı təhlükəsizlik qaydalarının pozulması, kəsişən xətlər arasında məsafələrin azalması ilə özünü büruzə verir. Göstərilən halların aradan qaldırılması üçün

küləyin sürətinin müxtəlif qiymətlərində istilik balans tənlikləri işlənmiş və onları nəzərə almaqla temperaturun və aktiv müqavimətin hsablanmasının iki alqoritminə baxılmışdır.

Birinci alqoritm. Normal rejimdə naqilin qızma temperaturu, ətraf mühitin, yəni havanın temperaturu ilə havanın temperaturunun təsirindən naqilin temperatur artımının cəminə bərabərdir[2].

$$t_m^{(k+1)} = t_h + \Delta t^{(k)}.$$

İkinci alqoritm. Məftilin temperaturu ətraf mühitin (havanın) temperaturu, günəşin naqili qızdırması və əlavə olaraq naqildən axan yük cərəyanı nəticəsində naqilin qızmasının-$\Delta t^{(k)}$ cəminə bərabərdir:

$$t_m^{(k+1)} = t_H + t_R + \Delta t^{(k)}$$

HEVX məftilinin temperaturu və aktiv müqavimətinin hesablanmasında atmosfer-rejim faktorlarının nəzərə alınması ilə istilik balansı tənliyi nəzərdən keçirilmişdir. HEVX məftilinin mexaniki gərginliyinin dəyişməsini və digər obyektlərlə kəsişməsini nəzərə alaraq, qızmaya görə buraxıla bilən temperaturunun qiymətləndirilməsi yerinə yetirilmiş və göstərilmişdir ki, praktikada istifadə olunan metodikanın çatışmazlığı məftilin temperaturunun seçmə metodu ilə təyin olunmasıdır.

Qeyd edilmişdir ki, ümumi tənliklər sisteminin qeyri-xətti olması ilə əlaqədar qarşılıqlı əlaqənin nəzərə alınması üçün həllin ardıcıl mərhələlərə bölünüb iterasiya üsulu ilə dəqiqləşdirilməsi tələb olunur.

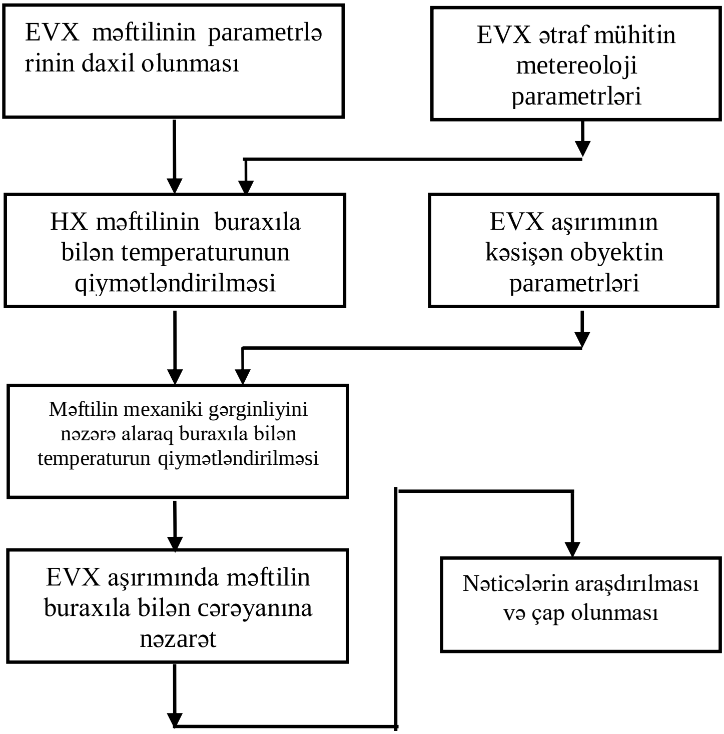
110 kV-luq HEVX nümunəsində hesabatlar yerinə yetirilmiş və məlum metodikanın təklif olunan metodika ilə müqayisədə 13,5%-dən böyük sistematik xətaya malik olduğu müəyyən olunmuşdur.

Şəkil 2-də HEVX-nin buraxıla bilən temperaturunun qiymətləndirilməsi proqramının blok-sxemi verilmişdir.

---

[2] Герасименко Алексей Алексеевич. Статистическое моделирование электрических нагрузок в задаче определения интегральных характеристик систем распределения электрической энергии. - Красноярск: монография / А. А. Герасименко, И. В. Шульгин. – Омск: Сиб. федер. ун-т, Политехн. ин-т. - 2014. - 207 с.

İkinci fəsildə nominal gərginliyi 110 kV-dan yuxarı olan hava xətləri məftilləri üçün buraxıla bilən temperatur +70°C və havanın temperaturunun 25°C halında uzunmüddətli buraxıla bilən yük cərəyanı və gücləri hesablanmışdır.



Şəkil 2. EVX-nin buraxıla bilən temperaturunun qiymətləndirilməsi proqramının blok-sxemi

AC95/16 markalı məftil üçün kuləyin sürəti 3,0 m/san olduqda, 0,5 m/san sürətlə müqayisədə hava xətləri məftilləri üçün buraxıla bilən yükü 256A-dən 453A-ya qədər artır.

Gücün buraxıla bilən qiymətləri aşağıdakı kimi olmuşdur:

$$P_{bb0,5} = \sqrt{3} \cdot 1{,}05 \cdot U_n \cdot I_{bb} = \sqrt{3} \cdot 1{,}05 \cdot 110 \cdot 256 \cdot 10^{-3} = 51{,}15 \text{ MVt}$$

$$P_{bb3} = \sqrt{3} \cdot 1{,}05 \cdot U_n \cdot I_{bb} = \sqrt{3} \cdot 1{,}05 \cdot 110 \cdot 453 \cdot 10^{-3} = 90{,}52 \text{ MVt}$$

Yəni, (90,52-51,15)·100/51,15=76,97 % artmışdır.

Beləliklə, küləyin sürətinin monitorinqinə əsasən hava xəttinin yük buraxma qabiliyyətinin müvafiq qaydada hesablanması, idarə olunması və gücünün artırılması hesabına elektrik şəbəkəsinin ötürmə effektivliyini yüksəltmək mümkündür.

AC95/16 markalı hava xətləri məftilləri üçün buraxıla bilən temperatur +70°C və havanın temperaturunun 40°C, küləyin sürətinin v=0,5 m/s və günəş radiasiyasının T_{rad}=15,8°C səviyyəsi üçün uzunmüddətli buraxıla bilən yük cərəyanı 219,5 A-dən 171 A-ya, yəni 219,5-171= 48,5 A-ya qədər azalır.

Bu, (171-219,5)·100/171=28,36 %-ni təşkil edir, yəni azalır.

Günəş radiasiyasının T_{rad}=15,8°C səviyyəsi üçün uzun müddətli buraxıla bilən gücün buraxıla bilən qiymətləri aşağıdakı kimi olmuşdur:

$$P_{bb15} = \sqrt{3} \cdot 1{,}05 \cdot U_n \cdot I_{bb} = \sqrt{3} \cdot 1{,}05 \cdot 110 \cdot 171 \cdot 10^{-3} = 34{,}17 \text{ MVt}$$

Odur ki, günəş radiasiyasının monitorinqinə əsasən hava xəttinin yük buraxma qabiliyyətinin müvafiq hesablanması və idarə olunması, HX qabariti normalarını gözləmək üçün onun gücünün azaldılmasını tələb edir.

Bu fəslin əsas nəticələri müəllifin [8], [9], [14] elmi əsərlərində öz əksini tapmışdır.

Üçüncü fəsildə rejim və atmosfer faktorlarının nəzərə alınması əsasında xətt naqillərinin temperaturunun və güc itkilərinin modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmış, mövcud proqramlar təhlil olunmuşdur. Müasir dövrdə elektrik enerjisinə olan təlabatın artması və iqlim şəraitinin nəzərəçarpacaq dərəcədə dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq hava xətlərinin buraxılabilən mexaniki və cərəyan yüklərinin hesablanmasına da maraq artır. Qeyd etmək lazımdır ki, xəttin ötürmə qabiliyyətindən maksimal dərəcədə istifadə olunması yalnız və yalnız onun vəziyyəti haqqında kifayət qədər dəqiq məlumatların olması zamanı əldə oluna bilər. Həmçinin də hava xətlərinin elektrik enerjisi itkilərinin hesablanma dəqiqliyinin artırılmasını, naqillərin aktiv müqavimətini, xəttin işçi cərəyanını, ətraf mühitin

temperaturunu, küləyin sürətini və günəş şüalarının yaratdığı istiliyi nəzərə almaqla təyin etmək olar.

RateKit, istifadə edilə bilən hava şəraiti üçün HX cərəyanını (və ya əldə edilən maksimum temperatur) hesablayır. İstifadəçi iki hesablama üsulun birindən istifadə edə bilər: İEEE 738-2012 üsulu və ya ən son CİGRE Texniki Broşuru 207-yə əsaslanan üsul[3].

Yüksək gərginlikli xəttin istilik rejiminin qiymətləndirilməsi Az ET və LA Eİ metodikası əsasında işlənmiş proqram təminatı paketində həyata keçirilmişdir. Proqram kompleksi, rejimin müxtəlif dəyişiklikləri və atmosfer faktorları ilə MDB ölkələrində tətbiqini tapmış metodikaya əsaslanır.

Hesablamalar 429-AL1/56-ST1A naqil nümunəsində aparılmışdır. Temperaturun CİGRE, İEEE və SEM üsullarına uyğun alınmış qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1.

Məftilin müxtəlif hesabat metodları ilə temperaturunun müqayisəsi

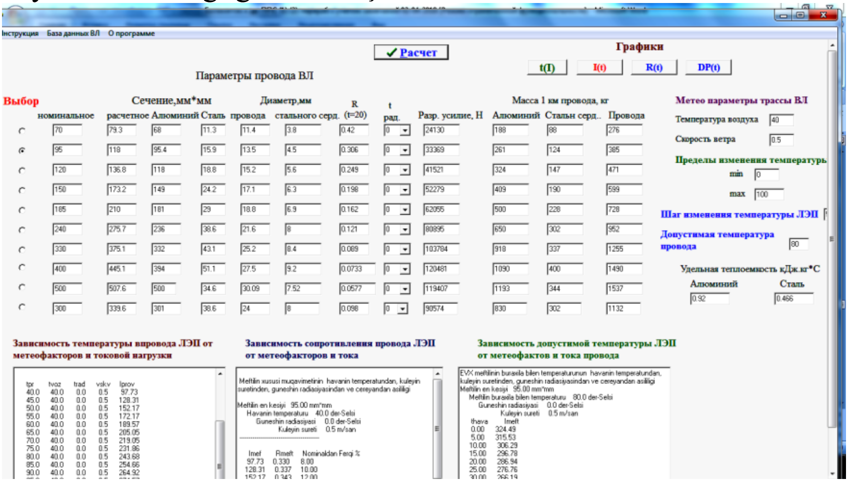
Hesabat metodu	Hesabat üsulları			
	Günəş radiasiyasının təsiri nəzərə alınmır		Günəş radiasiyasının təsiri nəzərə alınır	
	$T_{məf}$, °C	$\Pi_{i,\%}$	$T_{məf}$, °C	$\Pi_{i,\%}$
CİGRE	-	-	55,7	0
İEEE	-	-	55,3	4,3
SEM	-	-	54	3,1
AzET və LA Eİ	48	13,8	52	6,5

Yük cərəyanının, ətraf mühitin temperaturunun, günəş şüalanmasının və küləyin sürətinin hava xətləri naqillərinin aktiv müqavimətinə təsirini qiymətləndirmək üçün yerinə yetirilən hesablamalar əsasında müəyyən edilmişdir ki, naqillər üçün elektrik enerjisi itkilərinin müqavimətin temperaturdan asılılığı nəzərə alınmadan hesablanması zamanı nisbi xətalar 26% və ya daha çox

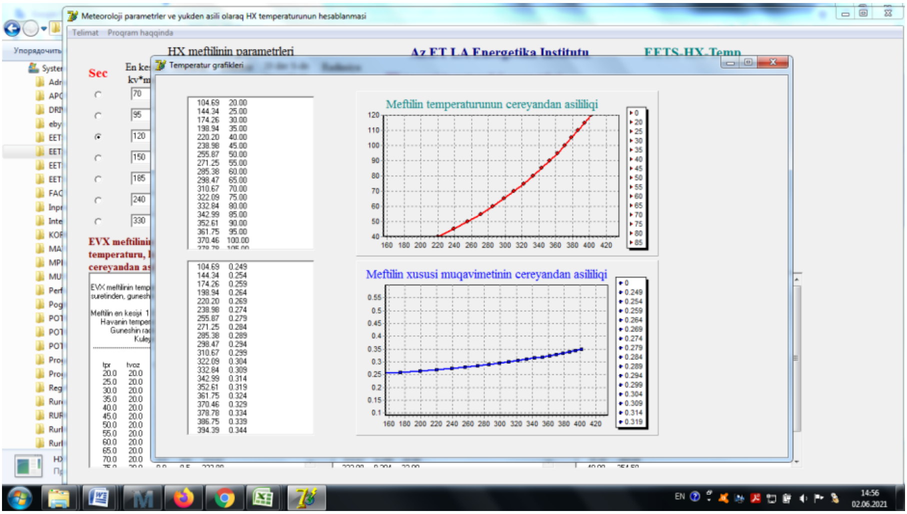
[3] L.Staszewski, W.Rebizant. The differences between IEEE and CIGRE heat balance concepts for line ampacity considerations // Modern Electric Power Systems, - Wroclaw: IEEE, - 20-22 Sept., -2010, - pp. 1-4.

ola bilər ki, bu da məqbul deyildir.

Şəkil 3-də məftilin temperaturunun modelləşdirilməsi proqramının ekran formaları, qraf. 2-də məftilin temperaturu və müqavimətinin cərəyandan asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 3. Məftilin temperaturunu modelləşdirmə proqramı



Qraf. 2. Məftilin temperaturu və müqavimətinin cərəyandan asılılığı

Qeyri-xətti parça aproksimasiyası qrafikinin $t_h \leq 0$ və $t_h > 0$ iki hissəyə bölünməklə təqdim edilməsi və aproksimasiya üçün ikinci dərəcəli polinomun tətbiqi, ikinci dərəcədən yuxarı dərəcəli polinomların tətbiqi nəticələri ilə müqayisədə müəyyən üstünlüyə və praktiki olaraq məqbul dəqiqliyə malikdir.
Məsələn, t_h = –40÷0°C,

$$I_{n(-40\div0)} = -0{,}164x^2 + 2{,}3118x + 490{,}58$$

və t_h = 0÷90°C,

$$I_{n\ (0\div90)} = -\ 0{,}0149x^2 + 4{,}1767x + 498{,}45.$$

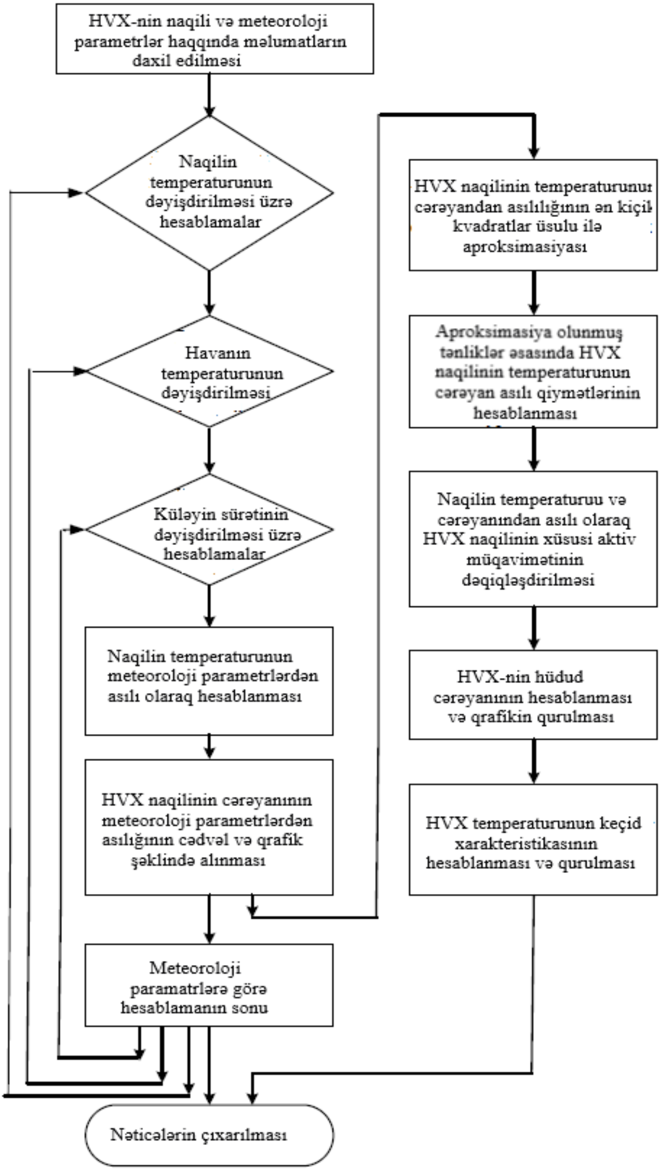
Üçüncü dərəcəli polinom ilə müqayisə göstərir ki, orta kvadratik meyletmənin qiyməti 4,35% təşkil etdiyi zaman, iki hissəyə bölməklə ikinci dərəcəli polinomun qeyri-xətti parça aproksimasiyası daha yaxşı dəqiqliyə malikdir: birinci hissənin orta kvadratik meyletməsi 3%, ikincinin isə 0,21% təşkil edir.

Aktiv güc və enerji itkilərinin hesablanma dəqiqliyini yüksəltmək üçün naqilin temperaturunun avtomatik qeydiyyatı tələb olunur.

Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış İnstitutunda hava xəttinin yük cərəyanı və atmosfer amillərinin təsiri nəzərə alınmaqla naqilin temperaturunun modelləşdirilməsi proqramı şəklində realizə edilən alqoritm işlənilmişdir (şəkil 4).

Proqram Azərbaycan EES-də elektrik enerjisinin texniki itkilərini modelləşdirmək və 110 kV-luq hava xətlərinin monitorinqi üçün praktik tətbiq tapmışdır. Göstərilmişdir ki, cərəyanın naqilin temperaturundan, küləyin sürətindən və hava temperaturundan asılılığının üçüncü dərəcəli polinomla aproksimasiyasının dəqiqliyi praktika üçün əhəmiyyət daşıyır.

Bu fəslin əsas nəticələri müəllifin [13], [15], [16] elmi əsərlərində öz əksini tapmışdır.



Şəkil 4. HEVX naqilinin temperaturu və aktiv müqavimətinin cərəyandan və atmosfer amillərindən asılı olaraq modelləşdirilməsinin blok-sxemi

Dördüncü fəsildə HEVX–nin yükötürmə qabiliyyətinin, xətt naqillərinin temperaturuna əsasən təklif olunan metodikaya uyğun işlənib hazırlanmış alqoritm və proqram təminatından istifadə etməklə monitorinqinin aparılmasının effektivliyinin yoxlanılması məsələsinə baxılır. Bu məqsədlə tədqiqat obyekti kimi uzunluğu 250 km və gərginliyi 500 kV olan 2-ci Abşeron xətti götürülmüşdür.

Yay aylarında havanın temperaturu və günəş şüalanması yüksək olduğu təqdirdə nəzarət cihazlarının istifadə edilməsi, elektrik hava veriliş xətlərinin yük cərəyanları böyük olduğu zaman istehlakçını fasiləsiz elektrik enerjisi ilə təmin etmək məqsədi ilə məftilin temperaturuna nəzarət edilməsi və konkret iqlim şəraiti üçün buraxıla bilən yük cərəyanlarının təyin edilməsi sayəsində hava xətlərinin yüklənmə qabiliyyətindən daha tam istifadə etməyə imkan verə bilər. Bunun üçün iki əsas yol var: bilavasitə və dolayı (hesablanan).

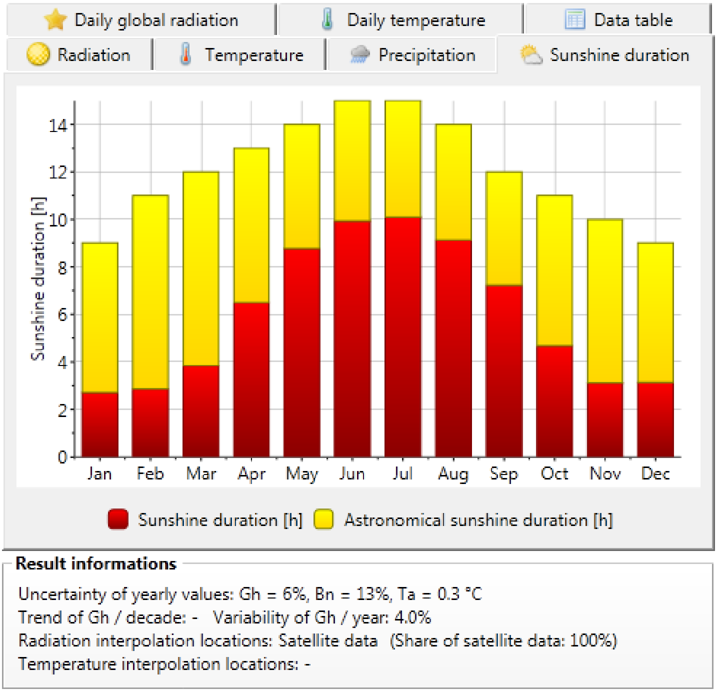
Elektrik verilişi xətlərində məftilin omik müqaviməti səbəbindən qaçılmaz itkilər; elektromaqnit şüalanması nəticəsində yaranan itkilər; məftillərdə və izolyatorlarda tac boşalması halında itkilər; yüklə uyğunsuzluq halında məftildə rezonans hadisələri zamanı yaranan itkilər; izolyasiya çatışmazlığı səbəbindən cərəyan sızması; və s. itki növlərini fərqləndrirlər[4].

Hava şəraitinin monitorinqini yerinə yetirmək üçün Meteonorm proqramından istifadə olunmuşdur. Proqramda işləmək üçün günəş radiasiyasını tapmaq istədiyimiz nöqtənin koordinatları Bakının Binə Hava Limanı zonasının elektrik xətti üçün–40,5°N / 50,1°E, 1м qəbul olunmuşdur. Bakının Binə Hava Limanı zonası üçün ildə orta hesabla günəş radiasiyası qraf.3-də verilmişdir.

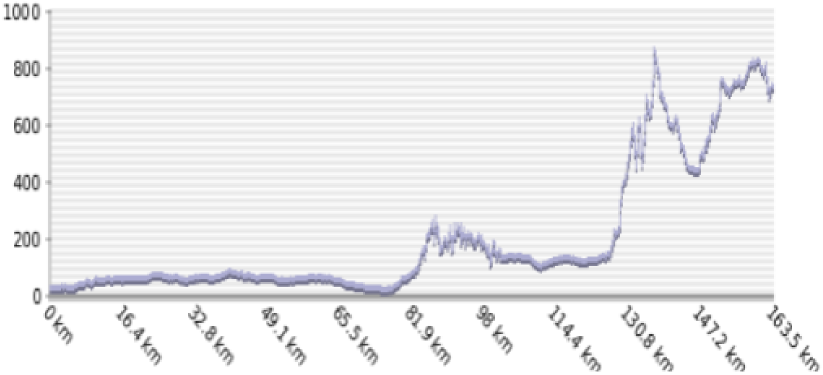
Dəniz səviyyəsinə nəzərən Abşeron yarımstansiyasına qədər olan məsafədə elektrik veriliş xətlərinin hündürlüyü qraf. 4-də verilmişdir.

---

[4] Ə.B.Balametov, E.D.Xəlilov Enerji sistemin elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin hesablanması, təhlili və normalaşdırılması. - Bakı: -Elm, - 2015. – 234 s.

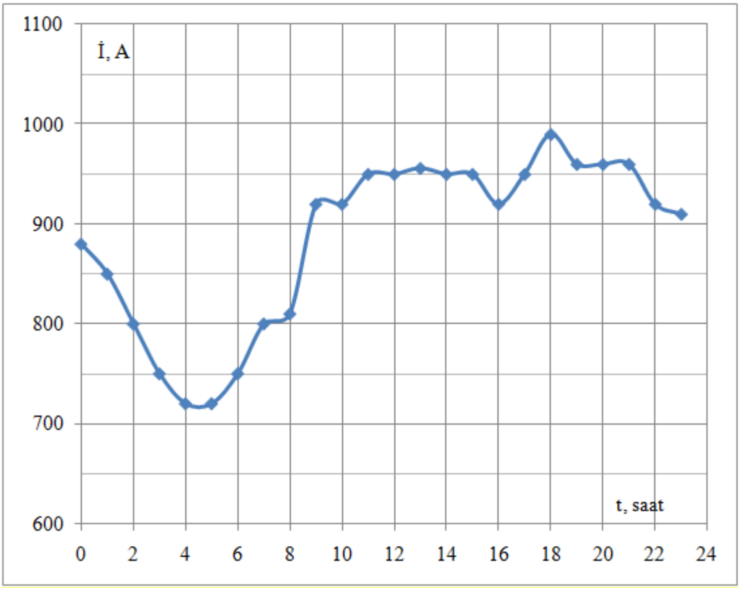


Qraf. 3. Bakının Binə Hava Limanı zonası üçün günəş radiasiyası



Qraf. 4. Abşeron yarımstansiyasına qədər olan məsafədə elektrik veriliş xətlərinin dəniz səviyyəsinə nəzərən hündürlüyü

17 dekabr 2008-ci ilin nəzarət ölçü günündə Azərbaycan EES-nin SCADA sistemindən alınmış sutkalıq yük qrafiki qraf.5-də verilmişdir.



Qraf.5. 500 kv-luq Abşeron HX-nin sutkalıq yük qrafiki

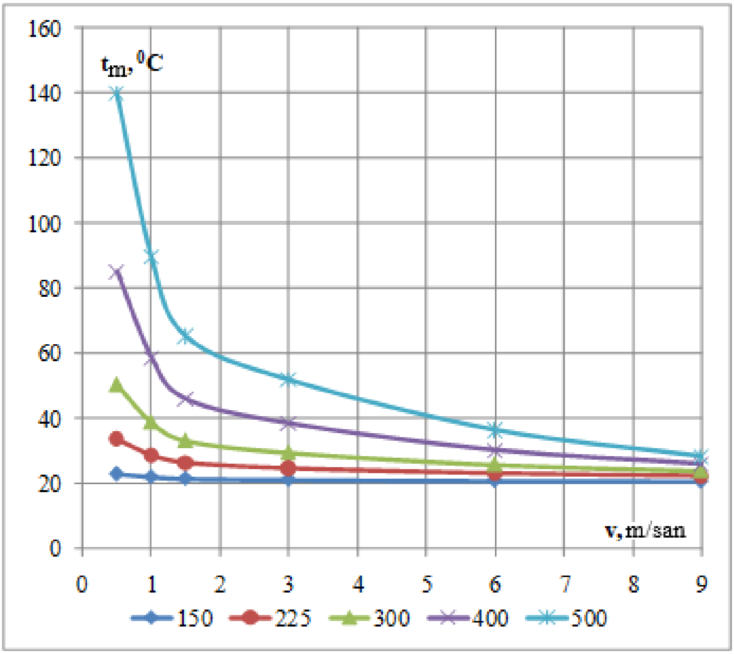
Cədvəl 2-də HX-dəki cərəyanın məftilin temperaturundan, günəş radiasiyasından və küləyin sürətindən yaranan əlavə temperaturdan asılılığı verilmişdir.

Ekstremal hava şəraitində elektrik hava veriliş xətlərinin monitorinqi və yüklənmə qabiliyyəti, EVX məftilinin monitorinq sistemi göstərilmiş, məftilin temperaturunun küləyin sürəti və cərəyandan asılılığı (qraf. 6), AC185/24 məftilinin buraxıla bilən yük cərəyanının küləyin sürətindən asılılığı (qraf.7), havanın temperaturu -40°C, 0°C və 40°C və küləyin sürəti v=0,5 m/san olduqda AC240/39 məftilinin buraxıla bilən cərəyanının asılılıq qrafiki verilmişdir (qraf. 8).

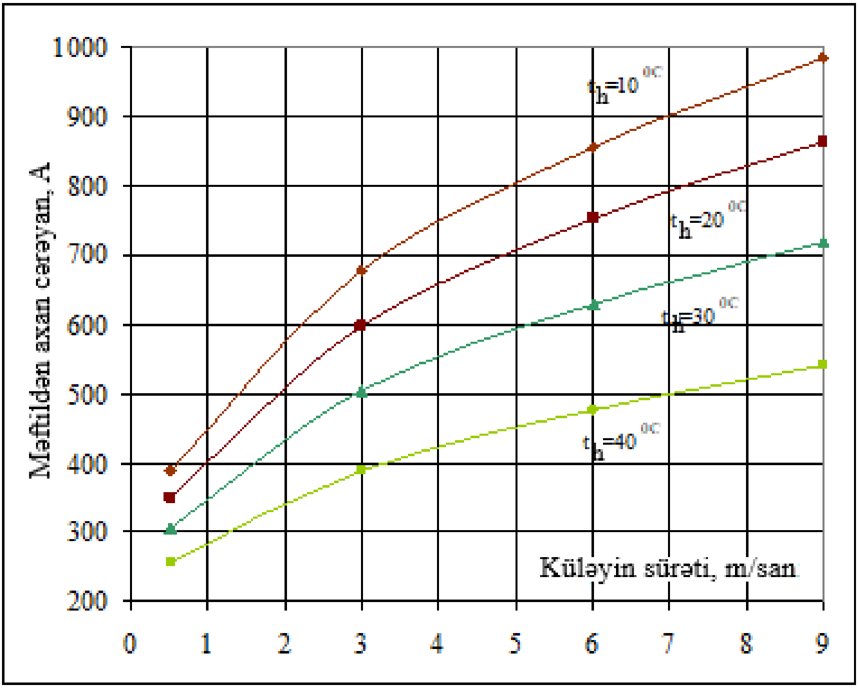
Cədvəl 2.

HEVX-də cərəyanın məftlin temperaturundan, günəş radiasiyasından və küləyin sürətindən yaranan əlavə temperaturdan asılılığı

Məftilin temperaturu °C	Günəş radiasiyasının temperaturu °C	Küləyin sürəti m/s	Məftildəki cərəyan A
Havanın temperaturu, 20°C			
80	0	0,5	675,95
80	0	1,0	833,97
80	16	0,5	598,41
80	16	1,0	730,12
Havanın temperaturu, 35°C			
80	0	0,5	603,55
80	0	1,0	737,04
80	16	0,5	515,24
80	16	1,0	617,09



Qraf. 6. Məftilin temperaturunun küləyin sürəti və cərəyandan asılılığı

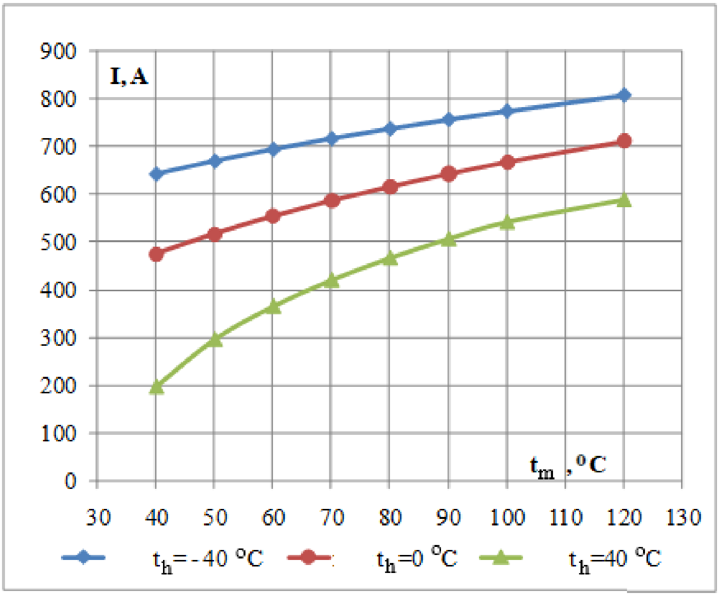


Qraf 7. AC185/24 məftilinin buraxıla bilən yük cərəyanının küləyin sürətindən asılılığı

SCADA ölçmələri əsasında elektrik veriliş xəttində güc itkilərinin monitorinqi sistemi yerinə yetirilmişdir.

EVX nümunəsində rejim parametrlərinin hava xəttinin əvvəlində (P_1, Q_1, U_1) və sonunda (P_2, Q_2, U_2) ölçülməsi və modelləşdirilməsinin (P_2, Q_2, U_2, ΔP_{Σ}) nəticələri ($\Delta P_{yük}$, ΔP_{kor}) güc itkilərinin qiymətləndirilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Bu fəsildə tam faktorlu eksperiment üsulu ilə məftilin temperaturunun çoxfunksiyalı reqressiya modeli alınmışdır. Çox funksiyalı analitik asılılıqların alınması üçün parametrin imitasiya modelleşdirilməsi üsulu ilə reqressiya modellərinin alınması məsələsinə baxılmışdır.



Qraf.8. AC 240/39 məftilinin buraxıla bilən cərəyanının qrafikləri

Bu məqsədlə aşağıdakı proqram təminatı əsasında imitasiya modelleşdirilməsinin aparılması nəticələrini emal edərək tam faktorlu modeli almaq üçün eksperimentin formalaşdırılması üçün planın qurulması və nəticələri statistik üsulla emal edərək reqressiya modellərinin alınması alqoritmlərinin tətbiqi ilə iki faktorlu nümunədə ikinci dərəcədən olan tam reqressiya modellərinin alınması, adekvatlığının yoxlanması yerinə yetirilmişdir.

Nəticələrin emal olunaraq modellərin alınması üsullarından biri də statistik ən kiçik kvadratlar üsuludur (ƏKKÜ).

Onun sadə və aydın olması polinom tipli reqressiya modellərinin əsas üstün cəhətidir. Çoxfunksiyalı reqressiya modellərinin əmsalları parametrlərin hər birinin tədqiq olunan prosesə birbaşa kəmiyyət təsirinin dərəcəsini göstərir.

Nümunə kimi AC330/43 markalı məftil üçün reqressiya modellərinin alınması yerinə yetirilmişdir. Məftilin xüsusi aktiv müqaviməti R_{20}=0,0869 Om/km təşkil edir.

Məftil üçün verilmiş ətraf mühitin temperaturu və naqilin işçi

cərəyanı qiymətləri əsasında proqram təminatını istifadə edərək imitasiya modelləşdirilməsi nəticəsində məftilin temperaturu hesablanır.

Müstəqil dəyişən faktorlar normallaşdırılmış formada aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$x_{in} = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}$$

Havanın temperaturu və məftilin cərəyanı faktorlarının variasiyası hədləri cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3.

Havanın temperaturu və məftilin cərəyanı faktorlarının variasiyası hədləri

Səviyyə	Faktor	
	T_{hava}, °C	$I_{məft}$, A
Faktorunun variasiyanın əsas səviyyəsi	20	450
Yuxarı səviyyəsi	40	700
Aşağı səviyyəsi	0	200

İki faktorlu eksperimentin planlaşdırma matrisi cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 4.

İki faktorlu eksperimentin planlaşdırma matrisi

Faktorların kodlaşdırılmış səviyyələri planı		Faktorların adlı vahidlərdə səviyyələri planı		Məftilin temperaturunun hesabat qiymətləri
T_{havaK}, n.v.	$I_{məftK}$, n.v.	T_{hava}, °C	$I_{məft}$, A	$T_{məft}$, °C
1	1	40	700	107
-1	1	0	700	65
1	-1	40	200	40
-1	-1	0	200	0
-1	0	20	450	20
1	0	40	450	58
0	-1	20	200	20
0	1	20	700	85
0	0	20	40	40

Tam faktorlu eksperiment metodu ilə reqressiya əmsallarını hesablamaq məqsədilə Excel-də proqram tərtib olunmuşdur və reqressiya asılılıqlarının əmsallarının qiymətləri cədvəl 5-də verilmişdir.

Cədvəl 5.

Reqressiya asılılıqlarının əmsallarının qiymətləri

№	Tam kvadratik model üçün	
	Əmsal	Qiyməti
1	B_0	39,333
2	K_{ThavaK}	20
3	$KI_{məftK}$	32,833
4	K_{12}	0,5
5	K^2_{ThavaK}	0
6	$K^2I_{məftK}$	13,5

Məftilin temperaturunun reqressiya modeli vasitəsilə hesablanması proqramının ekran forması şəkil 3-də göstərilmişdir. Reqressiya modeli aşağıdakı riyazi tənliklə ifadə olunur:

$$T_{məft}=39,333+20\cdot T_{havaK}+32.833\cdot I_{məftK}+0,5\cdot T_{havaK}\cdot I_{məftK}$$
$$+0\cdot(T_{havaK})^2+13,5\cdot(I_{məftK})^2$$

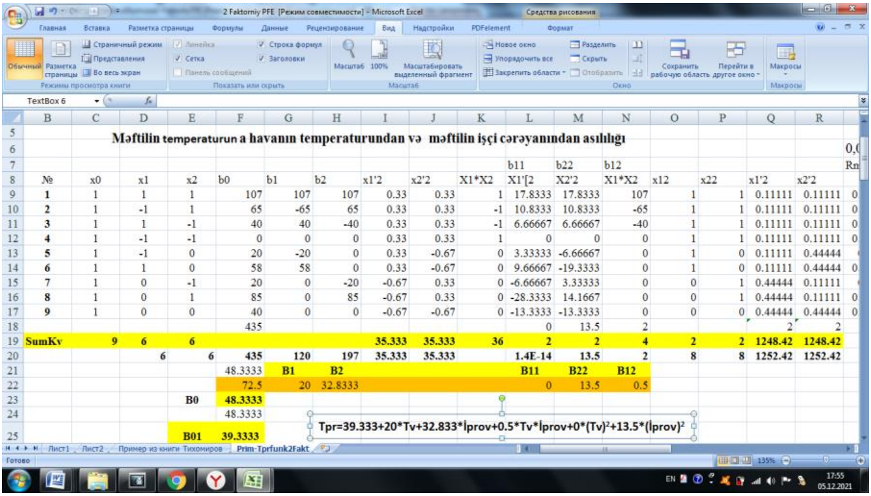
Havanın temperaturu faktorunun əmsalı sıfıra bərabər olub əmsalın əhəmiyyətsiz dərəcədə olduğunu göstərir. Aktiv müqavimətin temperaturadan asılılığı xətti olduğu üçün, reqressiya modelinin adekvatlığına dəlalət edir.

Faktorların adlı vahidləri qiymətləri üçün məqsəd funksiyasını kodlaşdırılmış asılılığında

$$T_{havaK}=\frac{T_{hava}-20}{20} \qquad I_{meftK}=\frac{I_{meftK}-450}{250}$$

qiymətləri yerinə qoyulduqda alarıq

$$T_{məft}=39,333+20\cdot\left(\frac{T_{hava}-20}{20}\right)+32,833\cdot\left(\frac{I_{meftK}-450}{250}\right)+$$
$$+0,5\cdot\left(\frac{T_{hava}-20}{20}\right)\cdot I_{məftK}+0\cdot\left(\frac{T_{hava}-20}{20}\right)^2+13,5\cdot\left(\frac{I_{meftK}-450}{250}\right)^2$$



Şəkil 3. Məftilin temperaturunun reqressiya modeli vasitəsilə hesablanması proqramının ekran forması

Tam və natamam reqressiya modellərinin nəticələri cədvəl 6-da verilmişdir.

Cədvəl 6.

Tam və natamam reqressiya modellərinin nəticələri

№	Faktorların kodlaşdırılmış səviyyələri planı		İmitasiya modelləşdirilməsinin nəticələri	Reqressiya modellərinin nəticələri	
	t_{havaK} n.v.	$t_{hava\ K}$ n.v.		natamam	tam
1	1	1	107	92,667	106,167
2	1	-1	65	51,667	65,167
3	1	1	40	25,999	39,499
4	1	-1	0	-13,001	0,499
5	1	-1	20	19,333	19,333
6	1	1	58	59,333	59,333
7	1	0	20	6,499	19,999
8	1	0	85	72,167	85,667
9	1	0	40	39,333	39,333

Natamam reqressiya modeli 10%-dən artıq xətaya gətirib çıxarır.

Məftilin aktiv müqavimətinin havanın temperaturundan və məftilin işçi cərəyanından asılılığı üçün reqressiya tənliyi alınmışdır:

$$R_{məft}=0,09362+0,006952\cdot T_{havaK}+0,011413\cdot I_{məftK}+$$
$$+0,000174\cdot T_{havaK}\cdot I_{məftK}+0\cdot(T_{havaK})^2+0,004693\cdot(I_{məftK})^2$$

Uzunluğu 250 km olan 500 kV hava xəttində güc itkiləri hiperbolik funksiyalı tənlik əsasında hesablanmışdır:

$$\Delta P_H=\left[0,9556\cdot\left(\frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2}\right)+5,5573\cdot 10^{-7}\cdot U_2^2+9,01\cdot 10^{-6}\cdot P_2-12,5227\cdot 10^{-4}\cdot Q_2\right]\cdot r_{0t}\cdot L$$

Hava xəttinin aktiv güc itkilərinin havanın temperaturundan və məftilin işçi cərəyanından reqressiya asılılıqları aşağıdakı kimi alınmışdır:

$$\Delta P_{məft}=18935,9+1730,76\cdot T_{havaK}+25144,8\cdot I_{məftK}+$$
$$+1649,36\cdot T_{havaK}\cdot I_{məftK}+33,312\cdot(T_{havaK})^2+9662,7\cdot(I_{məftK})^2$$

AC330/43 naqili üçün 20°C-də xüsusi aktiv müqavimətə münasibətdə havanın temperaturu nəzərə alınmaqla xüsusi aktiv müqavimətin hesablanmasında nisbi xətalar hesablanmışdır.

Nisbi xətalar 0°C-dən +40°C-ə qədər hava temperaturu diapazonunda 34% və buraxıla bilən məftil temperaturları +107°C-dir.

Bu fəslin əsas nəticələri müəllifin [1-4], [10], [11] elmi əsərlərinsə öz əksini tapmışdır.

ÜMUMİ NƏTİCƏLƏR

1. Havanın temperaturu, işçi cərəyan, küləyin sürəti və günəş şüalanması nəzərə alınmaqla hava xətləri məftillərinin xüsusi aktiv müqavimətini hesablama alqoritmi və proqramı işlənilmişdir. Yük cərəyanının, ətraf mühitin temperaturunun, günəş şüalanmasının və küləyin sürətinin hava xətləri məftillərinin aktiv müqavimətinə təsirinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi yerinə yetirilmişdir.

2. Nominal gərginliyi 110 kV-dan yuxarı olan hava xətləri məftilləri üçün buraxıla bilən temperatur +70°C və havanın temperaturunun 25°C halında uzunmüddətli buraxıla bilən yük cərəyanı və gücləri hesablanmışdır.

3. AC95/16 markalı məftil üçün küləyin sürətinin 0,5 m/san qiymətində 3,0 m/san sürətlə müqayisədə hava xətləri məftilləri üçün buraxıla bilən yükü 256 A-dən 453A-ə qədər artması müəyyən edilmişdir. Küləyin sürətinin monitorinqinə əsasən hava xəttinin yük buraxma qabiliyyətinin müvafiq hesablanması və idarə olunması və gücünün artırılması hesabına elektrik şəbəkəsinin ötürmə effektivliyini yüksəltmək mümkündür. Günəş radiasiyasının monitorinqinə əsasən hava xəttinin yük buraxma qabiliyyətinin müvafiq hesablanması və idarə olunması, HX qabariti normalarını gözləmək üçün onun gücünün azaldılmasını tələb edir

4. Məftillərdə elektrik itkiləri müqavimətin temperaturdan asılılığı nəzərə alınmadan hesablanması zamanı nisbi xətalar 26% və ya daha çox ola bilər.

5. HX-nin texniki vəziyyətinin, məftillərin cərəyanının və temperaturunun, günəş şüalanması intensivliyinin, küləyin sürətinin monitorinqi hava xətlərinin buraxma qabiliyyətini yüksəltməyə imkan verir. Müəyyən edilmişdir ki, rejim, atmosfer amilləri və günəş şüalanması nəzərə alınmaqla hava xəttinin yüklənmə qabiliyyəti 20%-dən çox artırıla bilər.

6. HX-nin məftilinin temperaturu və aktiv müqavimətinin hesablanmasında atmosfer-rejim faktorlarının nəzərə alınması ilə istilik balansı tənliyi nəzərdən keçirilmişdir.

7. Naqilin temperaturunu və güc itkilərini hesablamaq üçün atmosfer-rejim amillərini və temperaturu nəzərə alan metodika Delphi proqramlaşdırma sistemində proqram şəklində realizasiya olunmuşdur.

8. Yük cərəyanı, havanın temperaturu və küləyin sürəti ilə əlaqədar alınmış reqressiya asılılıqları işlənib hazırlanmışdır. Reqressiya modellərindən istifadə edərək EVX naqilinin temperaturu və aktiv müqavimətinin cərəyandan və atmosfer amillərindən asılı olaraq modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir.

9. Tam faktorlu reqressiya modellərinin məftilin işçi cərəyanından, atmosfer faktorlardan asılı olaraq çox funksiyalı analitik polinomla aproksimasiyası təklif olunmuşdur.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı məqalə və tezislərdə öz əksini tapmışdır:

1. Ağaxanova K.A. Analysis parameters of power transmission line considering influence of solar radiation and temperature by sections of the route // ISTRE-2019 Conference proceedings The15th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, Istanbul. Turkey. 14-15 October, 2019. s.194-198.
2. Ağaxanova K.A. Hava xəttinin yük buraxma qabiliyyətinin məftillərin temperaturuna əsasən monitorinqi // Sumqayıt: Elmi xəbərlər jurnalı. 2021. №2. s. 89-96.
3. Balametov A.B., Agahanova K.A., Balametov E.A. Analysis of OHL parameters taking into account the influence of solar radiation and temperature on the sectors of the route // - Tabriz: International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), June 2021. Issue 47, Volume 13, Number 2, pp.118-123.
4. Balametov Ə.B., İsayeva T.M., Ağaxanova K.A. SCADA ölçmələri əsasında elektrik veriliş xəttində güc itkilərinin monitorinqi sistemi// İnformasiya sistemləri və texnologiyalar, nailiyyətlər və perspektivlər Beynəlxalq elmi konfransı, Sumqayıt: SDU, 15-16 noyabr, 2018, s. 46-48.
5. Balametov Ə.B., Bayramov M.P., Ağaxanova K.A. Elektrik verilişi xətti məftilinin buraxıla bilən yükünün hesabatı metodikası // Sumqayıt: “Elmi xəbərlər” jurnalı, 2018. Cild 18, №1, s. 80-86.
6. Balametov Ə.B., İslamov İ.Z., Ağaxanova K.A. Elektrik enerjisi itkilərinin qiymətləndirilməsi üçün CİGRE və İEEE standartlarının tətbiqi //Sumqayıt: “Elmi xəbərlər” jurnalı, 2018. Cild 18. №4, s. 89-94.
7. Balametov Ə.B., Səlimova A.K., Ağaxanova K.A. Hava xətti naqilinin istilik hesablanması nümunəsində temperatur artımının müqayisəli təhlili // Energetika ixtisasları üzrə kadr

hazırlığının aktual məsələləri respublika elmi konfransının materialları, Sumqayıt: SDU, 20-31 may, 2019. s. 180-183.
8. Balametov Ə.B., Səlimova A.K., Ağaxanova K.A., Abdullayeva G.K. Aktiv müqavimətlərin temperatur asılılığını nəzərə alaraq paylayıcı elektrik şəbəkədə güc itkilərinin hesablanması // İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər II Beynəlxalq Elmi Konfransın materialları, Sumqayıt: SDU, 09-10 iyul, 2020. s. 88-90.
9. Агаханова К.А. Анализ параметров воздушной линии с учетом атмосферных факторов и солнечного излучения по участкам трассы // - Сумгаит: Журнал «Научные новости», 2021. Том 21, №2, s. 89-96.
10. Баламетов А.Б., Агаханова К.А. Анализ параметров воздушной линии с учетом влияния солнечного излучения и температуры по участкам трассы // Федоровские чтения XXIX Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы,Москва: МЭИ. 20-22 ноября, 2019. с. 100-103.
11. Баламетов А.Б., Агаханова К.А. Анализ температурного режима электропередачи с учетом атмосферных факторов по трассе линии // Труды международной научной конференции, Сумгаит, СГУ, 2020. №7, с. 237-242.
12. Баламетов А.Б., Агаханова К.А. Применение совместной электрической и тепловой модели воздушной линии для расчета режимов//Федоровские чтения XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. Москва: МЭИ 14-16 ноября, 2018. с. 138-140.
13. Баламетов А.Б., Байрамов М.П., Исламов И.З., Агаханова К.А. Анализ результатов моделирования температуры проводов воздушных линий с учетом влияния солнечной радиации// Международная научная конференция Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики, Сумгаит: СГУ, 24-25 мая, 2018. с. 250-252.

14. Balaметов А.Б., Салимова А.К., Агаханова К.А. Сравнение методов оценки потерь электроэнергии с учетом температуры провода // Федоровские чтения XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. Москва: МЭИ, 15-17 ноября 2017. с. 135-137.
15. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Байрамов М.П., Агаханова К.А. Программа моделирования температуры провода и потерь мощности на основе учета режимных и атмосферных факторов. Программные продукты и системы / Software & Systems 2 (31) 2018. с. 396-402.
16. Баламетов А.Б. Оперативное моделирование температуры провода для максимального использования пропускной способности воздушных линии / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, М.П. Байрамов [и др.] // Журнал «Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации», Москва: 2019, №1 (76), с. 16-24.

Dərc edilmiş əsərlərdə iddiaçının şəxsi töhfəsi

[1,2,9] nömrəli işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[3,4,5,7,8,10,11,12,13,16] nömrəli işlərdə təcrübələrin yerinə yetirilməsi, nəticələrin təhlil edilməsi, müddəaların formalaşdırılıması müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. Digər hissələr həmin işlərin müəllifləri tərəfindən eyni həcmdə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 17.01.2025-ci il tarixində saat 15^{00}-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında /www.aztu.edu.az/ yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 11.12.2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 29.11.2024
Kağızın formatı: A5
Həcm: 36692
Tiraj: 100